



Le vieillissement de la voix : De la production à l'évaluation

Thèse

Catherine Lortie

**Doctorat en médecine expérimentale
Philosophiæ doctor (Ph. D.)**

Québec, Canada

© Catherine Lortie, 2017

Le vieillissement de la voix : De la production à l'évaluation

Thèse

Catherine Lortie

Sous la direction de :

Pascale Tremblay, directrice de recherche
Matthieu Guitton, codirecteur de recherche

Résumé

Le vieillissement normal entraîne de nombreux changements sur les plans cognitifs, moteurs et linguistiques. Toutefois, l'avancement en âge affecte également une autre facette moins connue de la communication, c'est-à-dire la phonation. Au vu de l'importance de la production de la voix dans la communication verbale humaine, l'objectif de cette thèse était d'examiner l'impact du vieillissement normal et son interaction avec d'autres facteurs sur la production et l'évaluation subjective de la voix. L'exercice du chant et le tabagisme ont été les principaux facteurs étudiés. Quatre études semi-expérimentales transversales de groupe ont été conduites, lors desquelles 267 participants ont produit ou ont évalué des échantillons de voix dans différents contextes. L'Étude 1 visait à examiner l'effet du vieillissement sur la production et l'autoévaluation de la voix. L'Étude 2 avait pour objectif d'étudier l'influence potentiellement positive d'une habitude de vie, l'exercice du chant, sur la relation entre le vieillissement et la voix. L'Étude 3 visait à étudier l'influence potentiellement négative d'une habitude de vie, le tabagisme, sur cette même relation. Finalement, l'Étude 4 avait pour but d'examiner l'effet des facteurs propres au locuteur et à l'évaluateur sur l'évaluation de la voix dans le vieillissement. Les résultats des études confirment que le vieillissement normal a un effet négatif sur la production de la voix tel que mesuré sur différents paramètres acoustiques. Les études démontrent toutefois que l'habileté à moduler l'amplitude et la fréquence de la voix est préservée dans le vieillissement, tant chez les fumeurs que chez les non-fumeurs, du moins jusqu'à 75 ans. De plus, les résultats de l'Étude 2 ont révélé que l'exercice du chant protégeait dans une certaine mesure la voix du déclin de stabilité associé au vieillissement normal. Les résultats de l'Étude 3 ont ensuite confirmé que le tabagisme a de nombreux effets négatifs sur la production de la voix, dont plusieurs sont dépendants de l'âge du locuteur. Les résultats de l'Étude 4 ont montré que l'âge de l'évaluateur a une influence sur l'évaluation de la voix, et que l'influence des facteurs propres au locuteur tels que son âge, son statut tabagique et son sexe est plus grande encore. Les résultats de l'Étude 4 démontrent également que le désir d'interagir avec un locuteur n'est pas associé à l'évaluation de la qualité acoustique de la voix, mais plutôt à son évaluation psychosociale. Ces résultats font échos à l'Étude 1, qui a révélé que l'autoévaluation de la voix est également grandement influencée par des facteurs psychosociaux et peu par la qualité acoustique de la voix. Ces études contribuent à accroître les connaissances sur l'impact du vieillissement normal sur la production de la voix ainsi que sur l'évaluation auditive-perceptuelle et psychosociale de la voix.

Abstract

Normal aging causes numerous cognitive, motor and linguistics changes, which have been extensively documented. Aging also affect the production of voice, an important aspect of human communication. Considering the key role voice production has in verbal human communication, the main objective of this thesis was to examine the impact of normal aging on voice production and subjective evaluation. In addition, the effects of singing and cigarette smoking on the aging voice were examined. Four quasi-experimental cross-sectional group studies were conducting, through which 267 participants produced or evaluated voice samples in different contexts. Study 1 aimed to examine the effects of aging on voice production and self-evaluation. The objective of Study 2 was to study the potentially positive influence of a life habit, singing practice, on the relationship between aging and voice. Study 3 aimed at studying the potentially negative influence of a life habit, singing practice, on this same relationship. Finally, the purpose of Study 4 was to examine the effects of talkers' and listeners' factors on voice evaluation in aging. Our results demonstrate that normal aging has a negative effect on voice production as measured by a large number of acoustical parameters. Our results also demonstrate that the ability to modulate voice amplitude and frequency was preserved in aging in both smoking and non-smoking adults, at least until 75 years old. Moreover, the results of the Study 2 revealed that singing practice has a protective effect on the decline in voice stability associated with aging. Study 3 confirmed that smoking has numerous negative effects on voice production, some of which being dependent on age, some of which independent. The results of Study 4 showed that listeners' age had an influence on voice evaluation, and that the influence of talkers' factors such as age, sex and smoking status was even more important. The results of Study 4 demonstrate that the desire to interact with a speaker is not associated with the acoustical quality of his voice but instead depends on its psychosocial evaluation. These results echo Study 1 that revealed that voice auto-evaluation is also greatly influenced by psychosocial factors and less by voice acoustic quality. Taken together, these studies contribute to increase the knowledge base on the impact of normal aging on voice production and evaluation.

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	iv
Table des matières	v
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
Liste des abréviations	ix
Remerciements.....	x
Avant-propos	xi
1 Introduction et problématique	1
1.1. Changements cognitifs et moteurs	2
1.2. Langage, parole et vieillissement	4
1.3. Résumé	5
2 Le vieillissement de la production de la voix	7
2.1. De la respiration à la phonation.....	7
2.2. Propriétés acoustiques de la voix.....	13
2.2.1. Fréquence fondamentale et contrôle de la fréquence	14
2.2.2. Amplitude et contrôle de l'amplitude.....	16
2.2.3. Mesures de perturbation de la voix	17
2.3. Mesures de la voix en laboratoire.....	20
2.3.1. Conditions d'enregistrement.....	20
2.3.2. Protocoles d'enregistrements.....	21
2.3.2.1. Voyelle soutenue	21
2.3.2.2. Discours continu	22
2.3.2.3. Contrôle de la voix	24
2.4. La production de la voix au cours du vieillissement.....	25
2.4.1. Changements physiologiques	25
2.4.2. Changements acoustiques.....	27
2.5. Habitudes de vie affectant la production vocale	30
2.5.1. Le chant.....	30
2.5.2. Le tabagisme.....	32
2.6. Synthèse	36
3 Évaluation subjective de la voix	37
3.1. L'audition	37
3.1.1. L'audition dans le vieillissement	39

3.2. Évaluation subjective de la voix.....	40
3.2.1. Évaluation auditive-perceptuelle de la voix	40
3.2.2. Lien entre l'évaluation objective et subjective de la voix	42
3.2.3. Évaluation psychosociale de la voix	43
3.3. Facteurs pouvant influencer l'évaluation subjective de la voix	44
3.3.1. Influence du type d'échantillon vocal utilisé.....	44
3.3.2. Influence du locuteur	45
3.3.3. Influence de l'évaluateur	46
3.4. Auto-évaluation vocale	47
3.4.1. Outils de mesure	48
3.5. Synthèse	49
4 Objectifs et hypothèses.....	51
4.1. Objectif général	51
4.2. Étude 1	51
4.3. Étude 2	51
4.4. Étude 3	52
4.5. Étude 4	52
5 Étude 1 : <i>Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice</i>	54
6 Étude 2 : <i>The moderating effect of frequent singing on voice aging</i>	90
7 Étude 3 : <i>Age differences in the voice of smoking and non-smoking adults: a cross-sectional study</i>	112
8 Étude 4 : <i>Age differences in voice evaluation: from auditory-perceptual evaluation to social interactions</i> . 140	
9 Discussion générale.....	169
9.1. Les habiletés de contrôle de l'amplitude et de la fréquence de la voix dans le vieillissement normal	170
9.2. L'effet modérateur des habitudes de vie sur la phonation	175
9.3. L'impact des facteurs intrinsèques et des facteurs extrinsèques sur l'évaluation de la voix.....	182
9.4. Conclusion	186
Bibliographie	188
Annexes.....	210

Liste des tableaux

Tableau 1. Associations entre les propriétés acoustiques de la voix et leurs corrélats perceptuels.....	15
Tableau 2. Mesures acoustiques communes des différentes propriétés de la voix.....	18
Tableau 3. Participants' characteristics, for each group and overall.....	58
Tableau 4. Acoustic measures extracted with Praat and their definition, along with the windowing and thresholds used to set internal Praat parameters in the scripts.....	62
Tableau 5. Results of the moderated mediation analyses with anxiety scores as the moderator (W) and VHI as the dependent (Y) measure.....	76
Tableau 6. Results of the moderated mediation analyses with depression scores as the moderator (W) and VHI as the dependent (Y) measure.....	77
Tableau 7. Results of the moderated mediation analyses with anxiety scores as the moderator (W) and modified CAPE-V as the dependent (Y) measure.....	78
Tableau 8. Results of the moderated mediation analyses with depression scores as the moderator (W) and modified CAPE-V as the dependent (Y) measure.....	79
Tableau 9. Participants' characteristics.....	94
Tableau 10. Singing frequency.....	95
Tableau 11. Acoustic measures extracted with Praat, along with the windowing and thresholds used to set internal Praat parameters in the scripts.....	97
Tableau 12. Results of the moderation analyses.....	102
Tableau 13. Participants' characteristics for each age group and smoking status.....	118
Tableau 14. Smoking adults' characteristics by age group and sex.....	122
Tableau 15. Participants' characteristics, for each age group and overall.....	145
Tableau 16. Talker's characteristics.....	147
Tableau 17. Voice evaluations (mean and SD) by listeners' age and talker categories.....	153
Tableau 18. Voice evaluations (mean and SD) by talker categories, collapsed across listeners age groups.....	156
Tableau 19. Spearman correlation matrix.....	157

Liste des figures

Figure 1. Modification du cycle respiratoire lors de la phonation.....	8
Figure 2. Le larynx en position antérieure, postérieure et latérale.....	9
Figure 3. Vue en plongée des plis vocaux.....	10
Figure 4. Cycle phonatoire en images.....	11
Figure 5. Positions laryngées pour diverses fonctions.....	12
Figure 6. Vue sagittale des articulateurs.....	13
Figure 7. Fréquence du son.....	15
Figure 8. Amplitude du son.....	16
Figure 9. Caractéristiques des sons et du signal vocal.....	18
Figure 10. Section transversale du larynx.....	26
Figure 11. Schéma d'une section frontale révélant les structures de l'oreille externe, moyenne et interne....	38
Figure 12. Courbe audiométrique de l'oreille humaine.....	39
Figure 13. Voice recording.....	61
Figure 14. Moderated mediation model.....	64
Figure 15. Main effect of age on voice stability.....	66
Figure 16. Main effect of amplitude across conditions.....	67
Figure 17. Main effect of voice frequency for each condition.....	68
Figure 18. Interaction between age and context on voice acoustic measures.....	71
Figure 19. Results of the moderated mediation analyses with anxiety scores as the moderator (W).....	73
Figure 20. Results of the moderated mediation analyses with depression scores as the moderator (W).....	74
Figure 21. Conceptual moderation model used to uncover the moderating effect of singing frequency on the relationship between age and voice acoustics.....	99
Figure 22. Age difference in voice stability.....	100
Figure 23. Age difference in mean voice amplitude in women.....	101
Figure 24. Age difference in mean f0 (A) and SFF (B) for women.....	101
Figure 25. Results of the moderation analyses.....	102
Figure 26. Conditional effects of singing frequency on the relationship between age (in years) and voice f0 SD.....	103
Figure 27. Conditional effects of singing frequency on the relationship between age (in years) and amplitude SD.....	104
Figure 28. Main effect of smoking on sustained vowels (A) and connected speech (B) mean amplitude, and two-way interaction between smoking status and age on mean amplitude in connected speech (C).....	123
Figure 29. Two-way interaction between smoking status and age on shimmer in sustained vowels.....	124
Figure 30. Two-way interaction between smoking status and voice amplitude on f0 SD in sustained vowels.....	124
Figure 31. Two-way interaction between smoking status and voice frequency on shimmer (A) and HNR (B) in sustained vowels.....	125
Figure 32. Three-way interaction between smoking status, age and sex on mean f0 in sustained vowels.....	126
Figure 33. Three-way interaction between smoking status, age and voice amplitude on shimmer of the young adults (A) and older adults (B) in sustained vowels.....	126
Figure 34. Three-way interaction between smoking status, age and voice frequency on mean f0 in younger adults (A) and older adults (B) in sustained vowels.....	127
Figure 35. Relationship between the number of cigarettes consumed per day and voice amplitude SD in smoking men and women.....	129
Figure 36. Relationship between years of active smoking and voice mean f0 (A) and between years of active smoking and voice f0 SD (B) in smoking men and women.....	130
Figure 37. Relationship between years of active smoking and voice amplitude SD in smoking men and women.....	131
Figure 38. Experimental design.....	149
Figure 39. Age differences in voice evaluation as a function of the listeners' age.....	154
Figure 40. Age differences in voice evaluation as a function of talker's age.....	155
Figure 41. Représentation des principaux résultats de la thèse.....	169

Liste des abréviations

ANOVA : Analyse of Variance
dB : Décibels
DSI : Dysphonia Severity Index
CAPE-V : Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice
ECVB : Échelle de Communication Verbale de Bordeaux
 f_0 : Fréquence fondamentale
FDR : False Discovery Rate
 F_{high} : Highest frequency
GDS : Geriatric Depression Scale
GRBAS : Grade Roughness Breathiness Asthenia and Strain
HAD : Hospital Anxiety and Depression scale
HL : Hearing Level
HNR : Harmonic-to-Noise Ratio
Hz : Hertz
 I_{low} : Lowest intensity
kHz : Kilohertz
kPa : Kilo Pascal
LPR : Laryngopharyngeal Reflux
MMSE : Mini-Mental State Examination
MoCA : Montreal Cognitive Assessment scale
MPT : Maximum Phonation Time
N : Nombre
NHR : Noise-to-Harmonic Ratio
PTA : Pure-Tone Average
S : Secondes
SD : Standard Deviation
SFF : Speech Fundamental Frequency
SPL : Sound Pressure Level
st : Semitone
TOT : Tip of the Tongue
VFE : Vocal Function Exercice
VHI : Voice Handicap Index
V-RQOL : Voice-Related Quality of Life

Remerciements

J'aimerais d'abord remercier ceux qui ont été mes mentors dans cette aventure qu'est le doctorat, Pascale et Matthieu. Pascale, merci pour ta rigueur scientifique et ton ardeur au travail. Tu m'as appris à toujours pousser plus loin la réflexion et mon travail, et à ne jamais me satisfaire de moins. Merci aussi pour ta folie caféinée, ce fut un plaisir de travailler tout comme de rigoler avec toi! Matthieu, merci de m'avoir fait découvrir et aimer la recherche il y a, il me semble, tant d'années déjà. Merci de tes idées qui sortent des sentiers battus, de tes cours d'histoire impromptus et de ta patience alors que j'apprivoisais toutes les étapes de la démarche scientifique.

Merci aux professeurs de renom qui ont gentiment accepté de faire partie de mon comité de thèse, Joël Macoir, Ingrid Verduyckt et Louis Bherer, et qui consentaient par le fait même à lire cette thèse aux innombrables pages. Je vous remercie de partager avec moi cette grande expertise qui est la vôtre et de rendre meilleure cette thèse par votre apport.

J'aimerais ensuite remercier toutes les personnes qui m'ont accompagnée dans cette aventure et qui ont partagé en même temps que moi les joies et les peines de la recherche universitaire. Merci à toi Christine (aka minichou) de me faire rire depuis le tout début de cette aventure, il y a sept ans, et d'être devenue une si bonne amie. Merci Cécile, pour ton ouverture sur le monde, ta tolérance et l'année tout simplement super qu'on a partagé. Anna, pour les heures incalculables passées à changer le monde (et la recherche), et tes précieux conseils. Maxime, pour nos discussions enflammées et m'avoir fait voir des perspectives inconnues, et Mireille, pour ton sourire et ta bonne humeur constante, même avant d'avoir pris un café.

Melody, merci pour tous nos discussions et nos échanges de solutions, souvent dans le corridor et souvent trop bruyants, et de ton rire inimitable. Isabelle, pour tes conseils et ton aide précieuse. Merci à Didier, d'avoir gentiment supporté de voir son bureau envahi de plantes et de trucs roses. Merci aux collègues temporaires, Avril et Daniel, vous avez été des personnes charmantes à côtoyer. Merci à Pascale, Marie-Hélène, Chloé, Mylène, Claudie et Anne-Marie pour tous ces pique-niques sous le soleil ou dans notre salle à manger privée, pour votre soutien, pour vos rires et nos partys de Noël en juin.

Je n'aurais assurément pas réussi ce doctorat (en conservant ma santé mentale!) sans les personnes les plus chères à mon cœur. Merci à mes parents de m'avoir enseigné toutes les valeurs qui me guident encore aujourd'hui tous les jours, et d'avoir soutenu cette jeune fille farouche et rebelle même dans les moments difficiles. Merci à ma sœur, l'autre moitié du mini-wheat, parce que tu sais déjà tout ce pour quoi je te remercie avant même que je le dise et tu penses à une réplique de film en guise de réponse ☺ Merci à mes frères qui me font rire, à Sonia et à mes beaux-parents qui me soutiennent, à mes amies Myriam et Katherine pour les discussions interminables autour d'un café, et à tous les autres qui étaient vraiment intéressés par ma réponse à la question : « il est sur quoi, ton doctorat, au juste? ». Le dernier merci, je le garde pour mon amoureux. Ma chère moitié qui a partagé tous les hauts et les bas de ces dernières années, qui a gardé une réserve constante de crème glacée et de câlins de survie, et avec qui je peux partager la réussite de ce doctorat. Merci de tout mon cœur, pour tout, et à l'infini plus plus.

Avant-propos

Cet ouvrage contient le résultat de mes travaux de recherche effectués sous la direction de Mme Pascale Tremblay et sous la codirection de M. Matthieu Guitton. Cette thèse sera présentée sous la forme de quatre manuscrits rédigés en anglais.

Il est à noter que les références incluses dans les articles scientifiques respectent le style du journal dans lequel ils ont été soumis ou publiés et que ces références sont exclues de la bibliographie finale de la thèse.

Étude 1 (Chapitre 5)

Titre : Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice.

Auteurs : Catherine L. Lortie^{1,2,3}, Mélanie Thibeault⁴, Matthieu J. Guitton^{2,3}, Pascale Tremblay^{1,3}

Affiliations : ¹Département de réadaptation, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ²Département d’Otorhinolaryngologie et d’Ophtalmologie, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ³Centre de Recherche de l’Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (CRIUSMQ); Québec, Québec Canada. ⁴Nuance communications Inc.; Montréal, Québec, Canada.

Cet article a été publié dans *Age*, 37(6), 117, 2015. DOI : 10.1007/s11357-015-9854-1. Inséré au Chapitre 5 tel que publié dans *Age*, sauf pour (1) des changements éditoriaux mineurs et (2) la numérotation des tableaux et figures qui a été modifiée.

Contributions de l’étudiante : Élaboration de la question de recherche et du protocole, coordination du recrutement et du suivi, collecte et analyse des données, analyse des résultats, et rédaction du manuscrit sous la supervision des codirecteurs.

Étude 2 (Chapitre 6)

Titre : The moderating effect of frequent singing on voice aging.

Auteurs : Catherine L. Lortie^{1,2}, Julie Rivard¹, Mélanie Thibeault³, Pascale Tremblay^{1,2}

Affiliations : ¹Département de réadaptation, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ²Centre de Recherche de l’Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (CRIUSMQ); Québec, Québec Canada. ³Nuance communications Inc.; Montréal, Québec, Canada.

Contributions de l'étudiante : Analyse des résultats et rédaction du manuscrit sous la supervision de P. Tremblay.

Cet article a été accepté dans *Journal of Voice* et est actuellement sous presse. Inséré au Chapitre 6 tel que sera publié dans *Journal of Voice*, sauf pour (1) des changements éditoriaux mineurs et (2) la numérotation des tableaux et figures qui a été modifiée.

Étude 3 (Chapitre 7)

Titre : Age differences in the voice of smoking and non-smoking adults: a cross-sectional study.

Auteurs : Catherine L. Lortie^{1,2,3}, Mélanie Thibeault⁴, Matthieu J. Guitton^{2,3} Pascale Tremblay^{1,3}

Affiliations : ¹Département de réadaptation, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ²Département d'Otorhinolaryngologie et d'Ophtalmologie, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ³Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (CRIUSMQ); Québec, Québec Canada. ⁴Nuance communications Inc.; Montréal, Québec, Canada.

Contributions de l'étudiante : Élaboration de la question de recherche et du protocole, coordination du recrutement et du suivi, collecte et analyse des données, analyse des résultats, et rédaction du manuscrit sous la supervision des coauteurs.

Ce manuscrit est en préparation. La numérotation des tableaux et figures a été modifiée.

Étude 4 (Chapitre 8)

Titre : Age differences in voice evaluation: from auditory-perceptual evaluation to social interactions.

Auteurs : Catherine L. Lortie^{1,2,3}, Isabelle Deschamps^{1,3}, Matthieu J. Guitton^{2,3}, Pascale Tremblay^{1,3}

Affiliations : ¹Département de réadaptation, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ²Département d'Otorhinolaryngologie et d'Ophtalmologie, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ³Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (CRIUSMQ); Québec, Québec Canada.

Contributions de l'étudiante : Élaboration de la question de recherche et du protocole, coordination du recrutement et du suivi, collecte et analyse des données, analyse des résultats, et rédaction du manuscrit sous la supervision des codirecteurs.

La version corrigée de cet article été soumise au *Journal of Speech, Language and Hearing Research* en décembre 2016. La numérotation des tableaux et figures a été modifiée.

1 Introduction et problématique

La population canadienne est en pleine transformation. En date du dernier recensement canadien de 2011, 4.8 millions de citoyens étaient âgés de 65 ans ou plus, dont 1.3 million âgés de 80 ans et plus (Statistiques Canada, 2011). Selon les plus récents scénarios de projections suivant une croissance modérée, ce sont 9.6 millions de citoyens qui seront âgés de 65 ans et plus en 2031 (Hudon & Milan, 2016). De plus, l'espérance de vie moyenne des Canadiens ne cesse d'augmenter. Selon les taux de mortalité observés en 2007, une personne née en 2007 peut s'attendre à vivre entre 78.5 ans pour un garçon et 83 ans pour une fille (Statistiques Canada, 2011).

Le vieillissement de la population fait l'objet d'une attention considérable et grandissante étant donné l'importance et la diversité des effets de l'âge sur tous les systèmes du corps humain. Ces transformations entraînent notamment des changements sur le plan de la cognition, de la motricité et de la communication, tant expressive que réceptive (Caplan & Waters, 2005; Drag & Bieliauskas, 2010; Harada, Natelson Love, & Triebel, 2013). Bien que les changements cognitifs soient plus connus, il est important d'étudier l'effet du vieillissement sur d'autres facteurs dont le vieillissement est moins connu, tels que la production de la voix. En effet, la voix permet d'exprimer nos pensées, nos émotions et nos opinions, et elle est une composante centrale de la communication verbale humaine. La communication verbale, pour être efficace, requiert un système de production de la voix en santé. Ainsi, les changements qui affectent le système phonatoire peuvent avoir un impact sur la qualité et l'efficacité de la communication, ce qui à terme pourrait nuire à la qualité de vie des aînés (Hollien, 1987; Plank, Schneider, Eysholdt, Schützenberger, & Rosanowski, 2011; Stathopoulos, Huber, & Sussman, 2011). Une étude longitudinale a par exemple mis en évidence que des altérations de la voix liées à l'âge ont des conséquences négatives sur le fonctionnement social d'adultes de plus de 50 ans, même lorsque ces altérations se situent à l'intérieur du spectre de la normalité (Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004). Plus encore, certaines personnes qui ressentent un inconfort physique et qui doivent déployer un effort supplémentaire pour produire la voix développent parfois une anxiété par rapport aux interactions sociales et en viennent à se retirer de certaines activités (Etter, Stemple, & Howell, 2013; Roy, Stemple, Merrill, & Thomas, 2007; Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004). La voix occupe donc une place importante à l'égard de la communication dans un cadre social; ainsi, toute altération de la voix, par exemple dans le vieillissement, pourrait avoir un effet négatif sur l'intégration sociale de la personne (Kendall, 2007; Plank et al., 2011). Il est donc important de mieux comprendre les changements affectant la phonation au cours du vieillissement normal afin de pouvoir éventuellement distinguer les changements normaux des changements pathologiques, et de déterminer les habitudes de vie pouvant avoir un effet positif sur la production de la voix dans le vieillissement. La présente thèse porte sur les effets du vieillissement normal sur la production et l'évaluation de la voix.

Afin de comprendre les effets du vieillissement sur la production et l'évaluation de la voix, le thème central de cette thèse, il est nécessaire d'envisager le vieillissement de la voix dans le cadre plus large du vieillissement normal. Un aperçu des changements cognitifs, moteurs et linguistiques associés au vieillissement est d'abord présenté dans ce chapitre.

1.1. Changements cognitifs et moteurs

Le vieillissement normal est associé à de nombreux changements cognitifs et moteurs. Plusieurs de ces changements ont des impacts directs ou indirects sur les habiletés de communication. Parmi ces changements cognitifs, les effets du vieillissement sur la mémoire sont certainement les plus connus. La mémoire procédurale, c'est-à-dire la forme de mémoire implicite des habiletés motrices et des gestes (par exemple, faire du vélo, se brosser les dents, etc.), est peu affectée par le vieillissement normal (Mitchell, Brown, & Murphy, 1990; Nilsson, 2003; Smith et al., 2005). Contrairement à la mémoire procédurale, la mémoire de travail, qui nous permet de retenir et de manipuler des informations à court terme afin de réaliser des opérations cognitives (par exemple, mémoriser un numéro de téléphone afin de le composer), décline avec l'âge (Bopp & Verhaeghen, 2009; Nyberg, Lovden, Riklund, Lindenberger, & Backman, 2012; Oberauer & Kliegl, 2001). Les deux types de mémoire déclarative, la mémoire épisodique et la mémoire sémantique, sont affectés différemment par le vieillissement normal. La mémoire sémantique, c'est-à-dire la mémoire des connaissances générales et du vocabulaire par exemple, est préservée (Anstey & Low, 2004; Nilsson, 2003; Spaniol, Madden, & Voss, 2006), alors que la mémoire épisodique, c'est-à-dire la mémoire des événements de notre vie et de leur contexte (par exemple, se souvenir d'un film visionné récemment) subit un déclin important dans le vieillissement (Harada et al., 2013; Mitchell et al., 1990; Nilsson, 2003; Nyberg et al., 2012; Spaniol et al., 2006). Ce déclin en mémoire épisodique est attribué à une réduction des fonctions exécutives et à une diminution générale de la vitesse de traitement de l'information (Lee et al., 2012).

Les habiletés langagières sont intimement liées aux différents types de mémoire et à leur maintien. La mémoire verbale à court terme est particulièrement impliquée dans le traitement de l'information verbale et du langage. Auparavant, la mémoire verbale à court terme était considérée comme une réserve phonologique (connue sous l'appellation « boucle phonologique »), pouvant retenir des traces auditives quelques secondes en mémoire et soutenant la répétition articulatoire (Baddeley, 2003; Bourassa & Besner, 1994). On sait maintenant que la mémoire verbale à court terme collabore avec le système de traitement du langage pour retenir et faire le rappel de l'information linguistique (Martin & Gupta, 2004; Martin, Lesch, & Bartha, 1999; Schweppe & Rummer, 2007), en plus de participer à l'acquisition de nouveaux mots (Côté, Rouleau, & Macoir, 2014). La mémoire déclarative est également associée à l'apprentissage de l'information verbale et aux habiletés lexicales chez les enfants (Lum, Conti-Ramsden, Page, & Ullman, 2012; Lum, Gelgic, & Conti-

Ramsden, 2010). Toujours selon le modèle déclaratif et procédural, la mémoire procédurale, laquelle soutient l'apprentissage et l'exécution de séquences motrices et cognitives, supporterait la grammaire mentale, c'est-à-dire les représentations complexes de l'ensemble des règles lexicales et de leur application (Ullman, 2001, 2004; Ullman et al., 1997). Une étude a d'ailleurs permis d'observer une association entre les capacités de mémoire procédurale et les habiletés grammaticales chez des enfants (Lum et al., 2012). En somme, il existe une association nette entre l'implication des différents types de mémoire et le langage, ainsi le vieillissement du premier aura des impacts sur le second.

Le vieillissement entraîne également une diminution des capacités attentionnelles, surtout lors de tâches difficiles ou de tâches en attention divisée (Kramer & Kray, 2006; Rogers, 2000). Par exemple, le contrôle attentionnel, c'est-à-dire la capacité à maintenir son attention vers un objectif en poursuivant ses activités malgré les distractions et à coordonner des activités simultanées, diminue dans le vieillissement normal (Coubard et al., 2011). La capacité à se concentrer sur un message verbal est essentielle à la communication, d'autant plus que celle-ci se produit fréquemment dans des environnements bruyants dans lesquels se déroulent de nombreuses conversations en parallèle. D'autres fonctions cognitives subissent aussi un déclin lié à l'âge (pour un portrait plus complet du vieillissement des facultés cognitives, voir par exemple Salthouse (2004), Hofer & Alwin (2008), et Drag & Bieliauskas (2010)). La vitesse de traitement de l'information et les capacités attentionnelles sont également associées au traitement normal du langage (Leech, Aydelott, Symons, Carnevale, & Dick, 2007; Leonard et al., 2007; Lum, Conti-Ramsden, & Lindell, 2007). En somme, le vieillissement normal est associé à de nombreux changements cognitifs qui peuvent influencer la capacité d'une personne à maintenir une communication efficace, puisque la communication est supportée par les processus attentionnels et mnésiques (Tun, Williams, Small, & Hafter, 2012).

En plus des changements cognitifs, le vieillissement normal est également associé à de nombreux changements moteurs qui sont bien décrits dans la littérature. Le vieillissement normal s'accompagne en effet d'un déclin marqué de la force, de la flexibilité et de l'équilibre lors de l'exécution de différentes tâches motrices telles que la marche et course à pied (Fukuchi, Stefanyshyn, Stirling, Duarte, & Ferber, 2014; Kang & Dingwell, 2008; Van Emmerik, McDermott, Haddad, & Van Wegen, 2005). Une autre compétence motrice, la déglutition, est peu affectée par le vieillissement normal, bien que les troubles de déglutition soient fréquents chez les personnes âgées atteintes de troubles neurologiques ou dégénératifs (Aslam & Vaezi, 2013; Henderson & Echave, 2006; Shaker & Lang, 1994). Diverses études ont également démontré que le vieillissement affecte certaines activités motrices fines. Le contrôle moteur fin est la capacité à planifier et à exécuter des mouvements précis et rapides, et utilise les rétroactions sensorielles afin de corriger rapidement les mouvements au besoin. Le langage est un acte moteur fin, puisqu'il nécessite de mouvoir rapidement et avec précision les articulateurs mobiles (lèvres, langue, mandibule) afin de produire les sons du langage. En

étudiant la production de séquences de mouvements de doigts, des études ont démontré que les personnes âgées sont plus lentes et moins performantes que les adultes plus jeunes, reflétant un ralentissement du contrôle moteur fin dans le vieillissement (Caçola, Roberson, & Gabbard, 2013; Jimenez-Jimenez et al., 2011; Ruiz, Bernardos, Bartolomé, & Torres, 2007). Certains facteurs physiologiques pourraient expliquer ce déclin, parmi lesquels on retrouve une diminution de la masse musculaire (Aoyagi & Shephard, 1992; Carmeli, Coleman, & Reznick, 2002; Roos, Rice, & Vandervoort, 1997) et un ralentissement des réponses neuromusculaires (Chung et al., 2005; Dalton, Harwood, Davidson, & Rice, 2009). Des changements du système nerveux central associés au vieillissement normal pourraient également contribuer au déclin des performances motrices observé chez les personnes plus âgées; toutefois, ces hypothèses vont au-delà des thèmes abordés dans cette thèse. En somme, de nombreux changements cognitifs et moteurs surviennent dans le vieillissement normal, dont plusieurs ont une incidence directe ou indirecte sur les habiletés de communication.

1.2. Langage, parole et vieillissement

La compréhension et le traitement du langage sont des fonctions complexes, et l'avancement en âge est associé à des changements linguistiques à plusieurs degrés (Benichov, Cox, Tun, & Wingfield, 2011; Tun et al., 2012). Le déclin cognitif est en partie responsable de certains changements linguistiques. En effet, le ralentissement général qui affecte les capacités cognitives et les fonctions exécutives des personnes âgées pourrait expliquer, du moins en partie, leur moins bonne performance à certaines tâches telles que la fluence verbale (Bryan, Luszcz, & Crawford, 1997; McDowd et al., 2011). Une étude a également démontré une altération du traitement syntaxique en lien avec le vieillissement et le déclin en mémoire de travail, lors de tâches de traitement et de compréhension de phrase (Caplan & Waters, 2005). Une étude longitudinale portant sur les changements linguistiques du discours oral chez des adultes âgés en santé a aussi mis en évidence un déclin de la complexité grammaticale et des constructions prépositionnelles avec l'âge (Kemper, Marquis, Thompson, & Marquis, 2001), suggérant un déclin sur le plan de la production. Le vieillissement semble également s'accompagner d'une altération du traitement phonologique. En effet, les adultes âgées font davantage de lapsus¹ et omettent plus de phonèmes lors de tâches de manipulation d'unités phonologiques (MacKay & James, 2004). Par contre, des auteurs n'ont pas observé de différence significative entre de jeunes adultes et des adultes plus âgées sur le traitement phonologique de mots lors d'une tâche de jugement de rimes et d'homophones (Geva et al., 2012). D'autres aspects du langage ne semblent également

¹ Le lapsus est une erreur qui survient lorsqu'un locuteur tente de produire un mot familier mais commet une erreur dans un son ou plus du mot par inadvertance (MacKay & James, 2004). Par exemple, dire « pateau » (mot produit) plutôt que « bateau » (mot prévu).

pas affectés par le vieillissement normal. En effet, lorsque la vitesse de traitement de l'information n'est pas impliquée, par exemple lors de tâches mesurant le vocabulaire, la performance décline peu avec l'âge (Alwin & McCammon, 2001; Verhaeghen, 2003). La compréhension de texte paraît également demeurer intacte (Caplan & Waters, 2005; Jeong & Kim, 2009; Radvansky & Curiel, 1998). Le vieillissement ne semble pas non plus affecter le traitement sémantique lors de tâches de dénomination et de jugement de phrases (Berlingeri, Danelli, Bottini, Sberna, & Paulesu, 2013), tant que la latence de réponse n'est pas considérée (Verhaegen et al., 2013).

La production de la parole, l'acte moteur du langage, est également affectée par le vieillissement normal. De façon générale, les études démontrent un ralentissement du débit de parole avec le vieillissement, en lien avec le ralentissement moteur généralisé (Ramig, 1983; Shipp, Qi, Huntley, & Hollien, 1992; Smith, Wasowicz, & Preston, 1987). Plusieurs auteurs ont observé un effet négatif de l'âge sur la vitesse de production de la parole lors de tâches de répétition, particulièrement lorsque les séquences sont complexes (Sadagopan & Smith, 2013; Tremblay & Deschamps, 2015). Une augmentation du nombre d'erreurs articulatoires (par exemple, substitution ou omission de sons) a également été démontrée avec l'âge (Bilodeau-Mercure & Tremblay (Accepté); Bilodeau-Mercure et al., 2015; Sadagopan & Smith, 2013; Searl, Gabel, & Fulks, 2002). En plus de la production de la parole, le vieillissement affecte également la production de la voix (Dehqan, Scherer, Dashti, Ansari-Moghaddam, & Fanaie, 2012; Goy, Fernandes, Pichora-Fuller, & van Lieshout, 2013; Stathopoulos et al., 2011). Les effets du vieillissement sur les mécanismes physiologiques spécifiques qui participent à la production de la voix seront détaillés dans le Chapitre 2. Finalement, le vieillissement est également associé à une altération de la perception de la parole et à une diminution des capacités auditives (Frisina & Frisina, 1997; Ohlemiller, 2004; Welsh, Welsh, & Healy, 1985), qui seront détaillées dans le Chapitre 3. En somme, il est clair que le langage, tant sur les plans réceptifs qu'expressifs, subit de nombreux changements avec l'âge dont l'ampleur varie selon l'habileté affectée.

1.3. Résumé

En conclusion, le vieillissement normal entraîne de nombreux changements sur les plans cognitifs, moteurs et linguistiques. Dans le cadre de cette thèse, nous avons choisi d'étudier les effets du vieillissement normal sur la phonation, c'est-à-dire la production de la voix. Au cours du prochain chapitre, nous abordons les mécanismes de production de la voix, les effets objectifs du vieillissement sur la voix (sur le plan acoustique) ainsi que les différents facteurs pouvant affecter la production de la voix dans le vieillissement normal (Chapitre 2). Au chapitre suivant, nous abordons les effets du vieillissement sur l'évaluation subjective de la voix ainsi que les différents facteurs pouvant affecter l'évaluation de la voix (Chapitre 3). Les objectifs et les

hypothèses spécifiques de cette thèse sont détaillés au Chapitre 4, et sont suivis des quatre articles qui forment le cœur de cette thèse doctorale.

2 Le vieillissement de la production de la voix

Dans ce chapitre, les mécanismes de la phonation, de la respiration à la parole, sont d'abord présentés. Sont ensuite abordées les propriétés acoustiques de la voix ainsi que les techniques de mesure de la voix en contexte expérimental. La production de la voix dans le contexte du vieillissement est enfin détaillée, puis sont discutées deux différentes habitudes de vie pouvant affecter le vieillissement de la voix, l'exercice du chant et le tabagisme.

2.1. De la respiration à la phonation

La parole est l'expression orale du langage. Il s'agit d'un acte moteur extrêmement complexe requérant l'usage des systèmes respiratoire (créant la source d'air nécessaire à la parole), phonatoire (assurant la vibration des plis vocaux) et articulatoire (responsable de la modulation des sons) pour produire les séquences de sons qui forment les mots du langage grâce auxquels l'être humain peut exprimer des émotions et des idées. Avant d'aborder la production de la voix en détail, nous introduirons d'abord le rôle du système respiratoire étant donné son importance pour la production de la voix.

La production de la voix nécessite en effet en tout premier lieu le système respiratoire, qui crée la source d'air nécessaire à la production des sons de la voix lesquels sont ultimement transformés en voyelles et en consonnes. La respiration se divise en deux phases, l'inspiration (gonflement des poumons permettant un apport d'oxygène) et l'expiration (évacuation du gaz carbonique du corps) (Baken, 1987; Bateman & Mason, 1984; Seikel, King, & Drumright, 2010). La parole est généralement produite lors de la phase expiratoire. L'air contenu dans les poumons est alors évacué par la zone de conduction, qui part des bronches et qui traverse successivement la trachée (tube de tissu mou entouré de cartilage), le larynx (organe qui permet de produire les sons), le pharynx (conduit qui fait la jonction entre le tube digestif et le système respiratoire) et finalement les cavités orale et nasale (Gosling, Harris, Humpherson, Whitmore, & Willan, 2008; Netter, 1989; Seikel et al., 2010). Un cycle normal de respiration au repos est de cinq secondes, dont 40 % sont en inspiration et 60 % en expiration (**Figure 1A**). Lors de la phonation, le cycle normal de respiration est modifié afin de ralentir l'expiration et donc maximiser le temps de parole. Ainsi, 10 % du temps est utilisé pour l'inspiration et 90 % pour l'expiration (**Figure 1B**) (Hixon, Goldman, & Mead, 1973; Hoit & Hixon, 1987; Seikel et al., 2010).

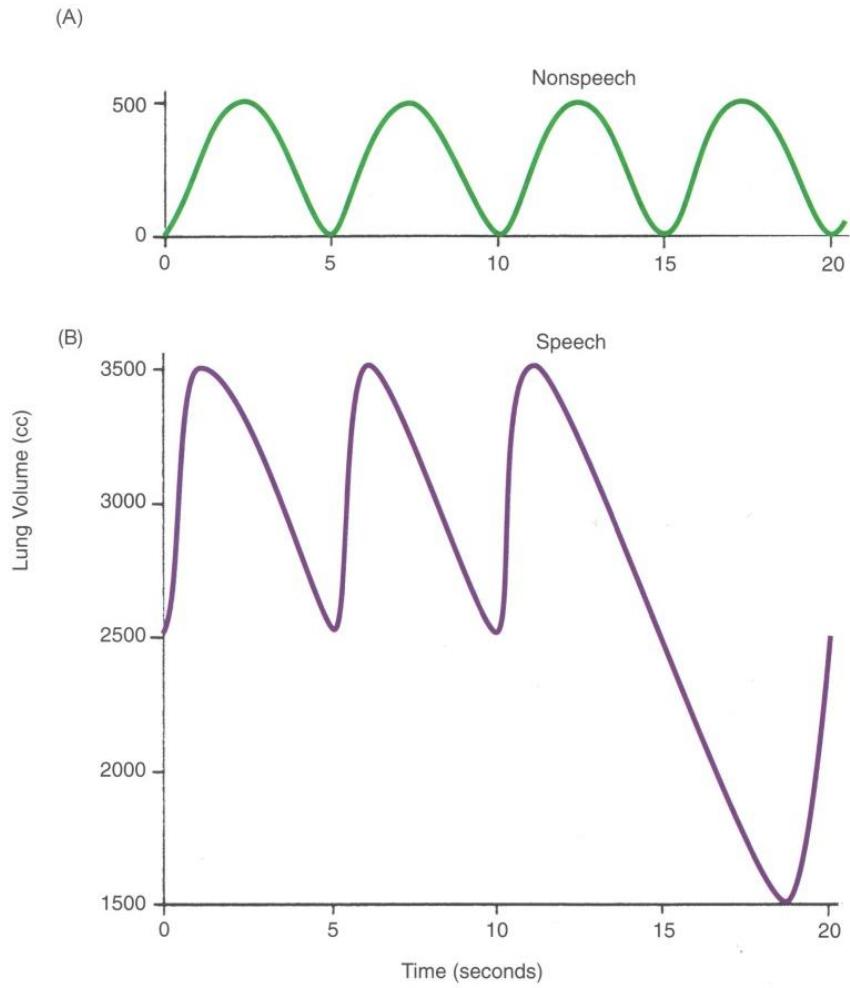


Figure 1. Modification du cycle respiratoire lors de la phonation. Le tracé supérieur représente la respiration normale, avec le volume associé au volume pulmonaire de repos (A). Le tracé inférieur représente la capacité pulmonaire totale (B). Le locuteur inhale rapidement un volume d'air largement plus grand que lors de la respiration calme, puis expire graduellement cet air lors de la phonation. L'inspiration est effectuée au même moment en cas de phonation ou non, mais la phase expiratoire est proportionnellement plus longue lors de la phonation. Dans la portion finale du tracé inférieur, le locuteur utilise son volume de réserve expiratoire afin de prolonger son temps de parole. Image de Seikel/King/Drumright, extraite d'« Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing, 4E ». © 2010 Delmar Learning, une partie de Cengage Learning, Inc. Reproduite avec permission. www.cengage.com/permissions

Une fois la source d'air établie par l'activité du système respiratoire, le système phonatoire entre en jeu afin d'assurer la vibration des plis vocaux et donc de produire la voix. La principale structure de ce système est le larynx, situé tout en haut de la trachée (Gosling et al., 2008; Netter, 1989; Seikel et al., 2010). Le larynx est un assemblage de quatre cartilages emboîtés les uns sur les autres (Figure 2). On retrouve, en partant du bas, le cartilage cricoïde (un anneau complet avec une portion plus élevée à l'arrière) puis le cartilage thyroïde (le plus imposant, en forme de bouclier et ouvert à l'arrière) qui possède deux lames qui se rejoignent à l'avant dans un angle qui crée la proéminence laryngée. À cheval sur le cricoïde, les cartilages arytenoïdes en forme

de triangle sont situés derrière le cartilage thyroïde. Ils ont deux excroissances nommées processus : un processus musculaire situé vers l'extérieur et un processus vocalisé vers l'intérieur. Enfin, l'épiglotte, en forme de feuille et très mobile, a un point d'attache derrière l'encoche de la proéminence laryngée du cartilage thyroïde. Au milieu du larynx, les tissus forment deux rétrécissements, créant les plis vestibulaires (faux plis vocaux) et vocaux (vrais plis vocaux²) (**Figure 3**). À l'extrémité des plis vocaux se situe le ligament vocal qui s'attache aux processus vocaux des arytenoïdes et, à l'avant, au cartilage thyroïde. L'ouverture entre les plis vocaux se nomme glotte. Au-dessus de celle-ci se trouve le vestibule du larynx et en dessous l'espace infraglottique. Des points d'articulation sur le cricoïde et de nombreux muscles permettent aux autres cartilages d'effectuer des mouvements : le thyroïde peut bouger de haut en bas et de l'avant vers l'arrière, alors que les arytenoïdes peuvent basculer de l'intérieur vers l'extérieur, glisser de l'avant vers l'arrière et effectuer une rotation (Gosling et al., 2008; Netter, 1989; Seikel et al., 2010).

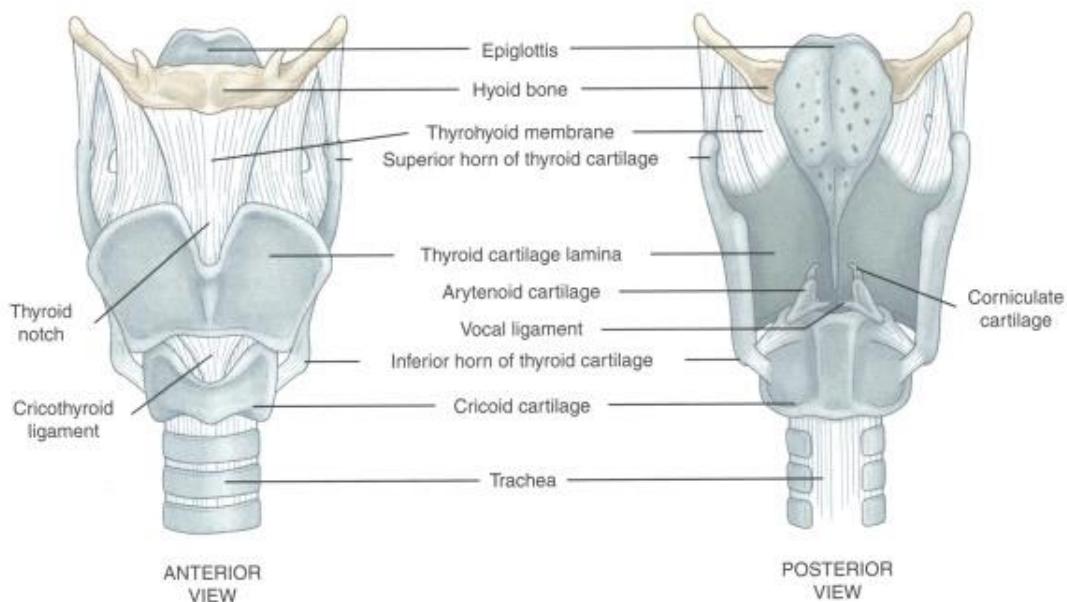


Figure 2. Le larynx en position antérieure, postérieure et latérale. Image de Seikel/King/Drumright, extraite d'« Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing, 4E ». © 2010 Delmar Learning, une partie de Cengage Learning, Inc. Reproduite avec permission. www.cengage.com/permissions

D'un point de vue physiologique, le larynx rempli trois fonctions, c'est-à-dire assurer la respiration par le contrôle du passage de l'air, assurer la protection du système respiratoire (par exemple, provoquer la toux) et produire la voix (Gosling et al., 2008; Netter, 1989; Seikel et al., 2010). La phonation, c'est-à-dire la production

² Un débat demeure concernant l'appellation correcte à utiliser pour nommer ces membranes, tant en français (plis vocaux et cordes vocales) qu'en anglais (« vocal folds » et « vocal cords »). Bien qu'elles soient communément connues sous le nom de cordes vocales, le terme médicalement et anatomiquement exact est plis vocaux.

de la voix, est le produit de la vibration des plis vocaux dans le larynx. Le mécanisme de vibration des plis vocaux est décrit à la section suivante.

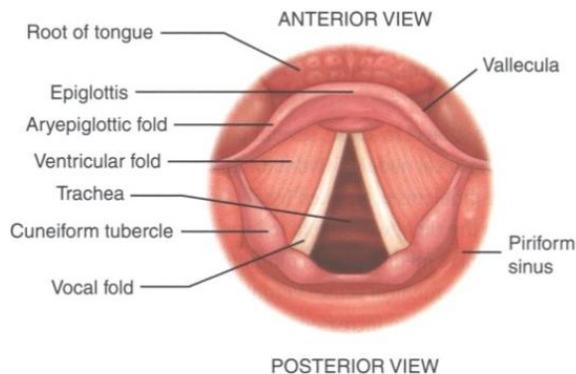


Figure 3. Vue en plongée des plis vocaux. Les plis vocaux apparaissent blancs lors de l'examen grâce aux couches superficielles d'épithélium qui lui donnent cette couleur. Immédiatement au-dessus des vrais plis vocaux apparaissent les plis vestibulaires (fausses cordes vocales). Image de Seikel/King/Drumright, extraite d'« Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing, 4E ». © 2010 Delmar Learning, une partie de Cengage Learning, Inc. Reproduite avec permission. www.cengage.com/permissions

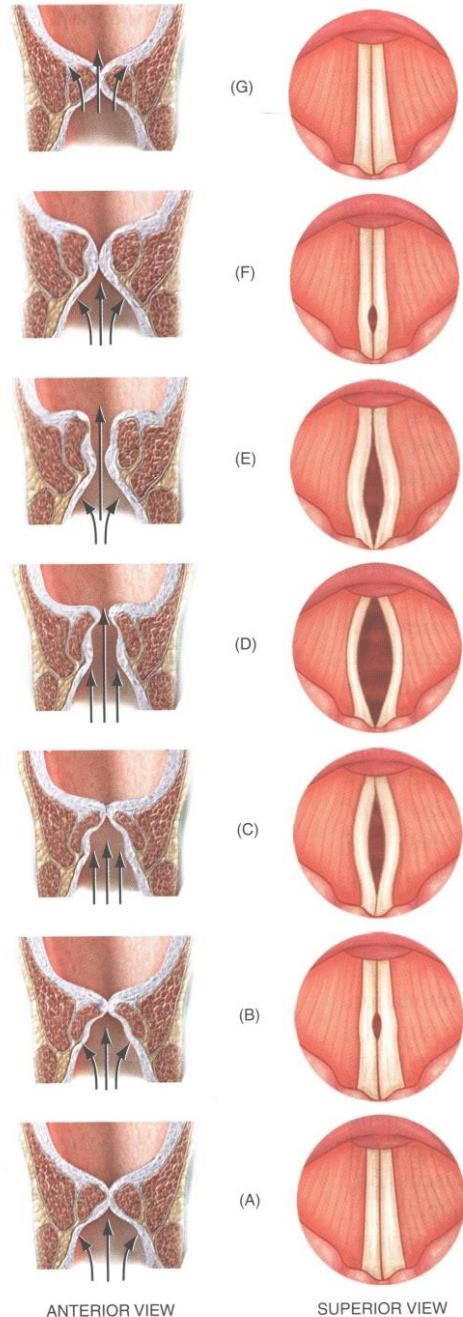
Au repos, les plis vocaux sont fermés (adduction) (**Figure 4A**) (Seikel et al., 2010). À l'expiration, la pression d'air provenant des voies respiratoires force l'ouverture des plis vocaux (abduction) (**Figure 4B-C-D**). Puisque les plis vocaux sont élastiques, ils tendent à retourner au point d'équilibre, c'est-à-dire à leur position de repos, ce qu'ils sont toutefois incapables de faire tant que la pression d'air exercée par les poumons est suffisamment importante (**Figure 4E-F**). La restriction des voies respiratoires causée par les plis vocaux augmente grandement la turbulence de l'air à cet endroit. Au point précis du rétrécissement, le flux d'air subit un phénomène physique connu sous le nom « d'effet Bernoulli ».

Décrit pour la première fois par le scientifique suisse Daniel Bernoulli en 1738, l'effet de Bernoulli stipule qu'un flux d'air ou de liquide constant, lorsque confronté à un point de constriction, subit une baisse de pression perpendiculaire au flux et une augmentation de sa vitesse

(“Bernoulli's theorem,” 2016). La pression négative au point de constriction aspire donc les plis vocaux vers la ligne médiane, qui sont aidés de leur élasticité. À la fin du cycle, les plis vocaux se rejoignent à nouveau et le flux d'air est interrompu (**Figure 4G**) (Seikel et al., 2010). La voix découle donc de l'ouverture et la fermeture répétée des plis vocaux. Nous reviendrons sur la fréquence de vibration des plis vocaux dans les sections subséquentes; notons pour l'instant que le cycle d'adduction et d'abduction des plis vocaux est extrêmement rapide et s'effectue environ une centaine de fois par seconde.

Figure 4. Cycle phonatoire en images. Représentation graphique des associations entre les points de vue verticaux et transverses lors d'un cycle glottique. Notez que la partie inférieure des plis vocaux s'ouvre avant la partie supérieure, et se referme également avant la partie supérieure. Simultanément, la partie postérieure de la glotte s'ouvre en premier, mais se referme avant la partie antérieure. Image de Seikel/King/Drumright, extraite d'« Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing, 4E ». © 2010 Delmar Learning, une partie de Cengage Learning, Inc. Reproduite avec permission. www.cengage.com/permissions

La vibration des plis vocaux n'est pas produite par l'abduction et l'adduction mécaniques et volontaires de celles-ci, puisque le cycle phonatoire est beaucoup trop rapide. Toutefois, l'être humain exerce un certain contrôle sur la position de ses plis vocaux. Lors de la respiration, les plis vocaux sont maintenus en position ouverte afin de faciliter le passage de l'air (**Figure 5A, D**). La glotte peut toutefois se refermer (adduction) par la contraction des divers muscles contrôlant les cartilages du larynx qui font en sorte de rapprocher les processus vocaux, d'étirer le ligament vocal et d'augmenter la tension des plis vocaux (**Figure 5C**). C'est le cas lors du commencement de la phonation; en effet, la phonation requiert de maintenir la position des plis vocaux de façon tonique par les muscles du larynx afin de leur permettre de



vibrer librement (**Figure 5C**). Nous reviendrons sur le contrôle fin de la tension et de la position des plis vocaux dans les sections subséquentes.

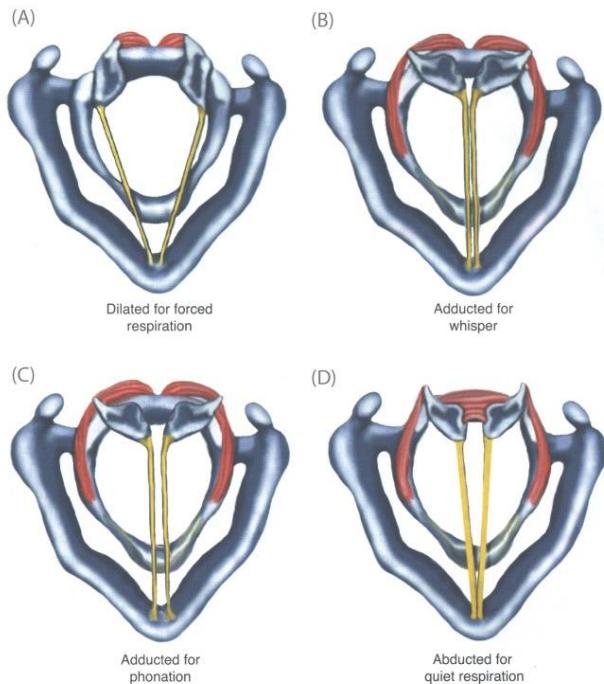


Figure 5. Positions laryngées pour diverses fonctions. Pendant l'adduction pour la phonation, les plis vocaux sont rapprochés (C). Pour la respiration calme, les plis vocaux soutiennent une abduction modérée (D), alors qu'ils sont grandement écartés lors d'une respiration forcée (A). L'adduction pour le chuchotement implique de rapprocher les plis vocaux tout en conservant un espace entre les cartilages arytenoïdes (B). Image de Seikel/King/Drumright, extraite d'« Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing, 4E ». © 2010 Delmar Learning, une partie de Cengage Learning, Inc. Reproduite avec permission. www.cengage.com/permissions

L'air expulsé des poumons, qu'il ait vibré ou non sous l'action des plis vocaux, atteint maintenant la cavité orale ou nasale. Le système articulatoire entre alors en jeu. Il est responsable de la modulation des sons, c'est-à-dire de la formation de sons distincts à partir du son indifférencié en provenance du larynx pour produire les différentes voyelles et les consonnes qui forment le langage (Baken, 1987; Bateman & Mason, 1984; Seikel et al., 2010). Le système articulatoire est responsable de changer la forme et la configuration de la cavité orale et nasale au moyen des articulateurs mobiles (lèvres, langue, mandibule) et du voile du palais afin de faire résonner différemment l'air dans les cavités, et donc de produire différents sons (**Figure 6**) (Gosling et al., 2008; Netter, 1989; Seikel et al., 2010).

Ainsi, le processus de production de la voix et du langage est un phénomène complexe sur le plan moteur, nécessitant la synchronisation des systèmes respiratoires, phonatoires et articulatoires. Les caractéristiques acoustiques de la voix sont décrites dans les prochaines sections.

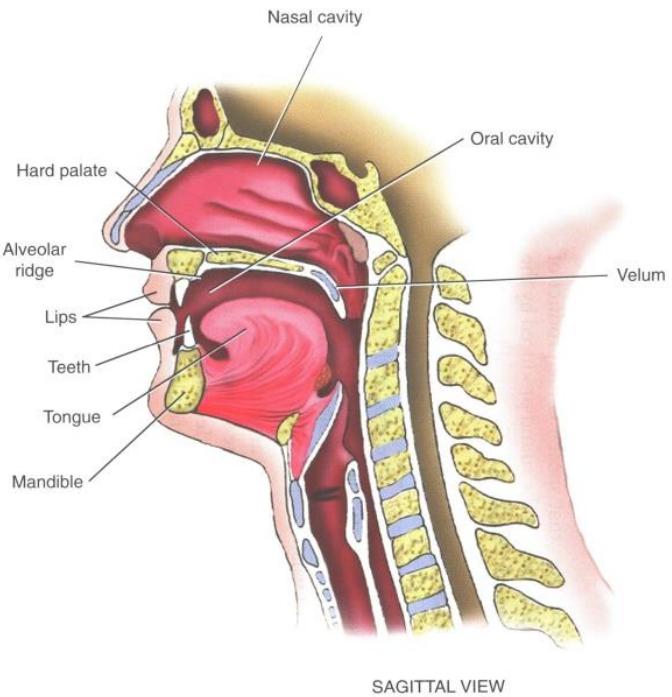


Figure 6. Vue sagittale des articulateurs. Image de Seikel/King/Drumright, extraite d'« Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing, 4E ». © 2010 Delmar Learning, une partie de Cengage Learning, Inc. Reproduite avec permission. www.cengage.com/permissions

2.2. Propriétés acoustiques de la voix

L'intérêt envers les propriétés acoustiques de la voix a une longue tradition. Durant l'antiquité, Aristote et les anciens croyaient que les sons aigus de tous les corps étaient produits par l'expiration rapide de l'air par la gorge et que les lèvres de la glotte (ancienne appellation des plis vocaux) étaient inutiles ("Aristote," 2016). Il faudra attendre en 1741 afin qu'Antoine Ferrein, célèbre anatomiste français, conteste l'idée que le larynx est un instrument à vent passif. Ferrein mena en effet de nombreuses expériences sur des cadavres pour démontrer sa théorie selon laquelle il est possible de modifier la tonalité du son produit par la gorge en modifiant la position et la tension des rubans de la glotte, qu'il nommera *cordes vocales* (Ferrein, 1741). Il observera également que ces *cordes vocales* vibrent comme des cordes de clavecin lorsqu'on les observe sous une loupe (Ferrein, 1741). Une fois cette théorie acceptée par le monde scientifique, le larynx sera considéré comme un organe actif de la production de la voix. L'invention du laryngoscope par un chanteur et professeur espagnol en 1855, Manuel Garcia, permettra de consolider ces observations. En effet, au cours de ses travaux, Garcia observe que le larynx s'élève et se rabaisse, et que la glotte s'ouvre et se ferme afin d'atteindre différents registres de voix (Garcia, 1855). Il découvre donc que la voix et le chant produisent différentes configurations laryngées, et que le larynx est tout sauf passif (Garcia, 1855). Au cours du siècle suivant, des auteurs poursuivront l'observation visuelle des plis vocaux et enregistreront également de courts

films des plis vocaux en vibration, image par image (Koike & Takahashi, 1972; Moore, 1938; Timcke, Von Leden, & Moore, 1958).

Les grandes avancées technologiques des 19^e et 20^e siècles ont permis le développement des techniques modernes de mesure de la voix. L'invention du spectrographe en 1876 par Henry Draper tel que rapporté par Barker (1888) permet d'effectuer les premières analyses quantitatives de la voix. Le spectrographe détecte et forme une représentation visuelle d'un signal qui varie dans le temps, comme c'est le cas des fréquences du spectre de la voix (Ball, 2006). De cette invention naît l'analyse spectrale au début du 20^e siècle, qui sera appliquée à la reconnaissance et à l'analyse vocale (Dudley, 1939). Dans les années 60 et 70, la popularité de l'analyse vocale analogique augmente alors que les scientifiques étudient de manière plus systématique le lien entre le comportement phonatoire laryngé et les mesures électroacoustiques de la voix (Arnold, 1955; Isshiki, Okamura, Tanabe, & Morimoto, 1969; Koike & Takahashi, 1972; Lieberman, 1961; Moore, 1968, 1971). Des indices tels que le facteur de perturbation de la fréquence (la différence entre les périodes adjacentes de vibrations de plis vocaux) de Lieberman (Lieberman, 1961, 1963) ou l'échelle de raucité de Yanagihara (Yanagihara, 1967) sont créés afin d'objectiver des troubles laryngés. La voix est toutefois enregistrée sous un signal analogique, c'est-à-dire une représentation en temps réel des variations du signal. Le signal analogique doit malheureusement être copié et recopié afin d'en extraire les constantes, ce qui dégrade sa qualité.

À la fin des années 70, l'invention par Kay Elemetrics du premier spectrographe numérique (DSP Sonograph) a grandement augmenté les possibilités d'analyses. En effet, le signal numérique peut être transmis, enregistré et analysé indéfiniment sans risque d'altération ni d'ajout de bruit au signal (Rao, 2010). Il peut également être traité directement par ordinateur. Les composantes clés du signal vocal peuvent donc être extraites rapidement (Forero Mendoza, Cataldo, Vellasco, Silva, & Apolinário, 2014), ce qui facilite grandement le traitement quantitatif de grandes quantités de données. Ces progrès ont entraîné une amélioration considérable de la compréhension des mécanismes phonatoires (Maryn, Corthals, De Bodt, Van Cauwenberge, & Deliyski, 2009; Read, Buder, & Kent, 1992). Les principales propriétés acoustiques de la voix – c'est-à-dire la fréquence fondamentale, l'amplitude de la voix et les mesures de perturbation et de bruit – sont décrites dans les sections suivantes.

2.2.1. Fréquence fondamentale et contrôle de la fréquence

Tel que décrit à la section 2.1., l'ouverture et la fermeture répétées des plis vocaux, que l'on appelle cycle de phonation, engendrent la voix. La fréquence de la voix correspond à la vitesse de ce processus, c'est-à-dire le nombre de cycles de phonation effectués par les plis vocaux chaque seconde, lequel se calcule en Hertz (Hz)

(Figure 7). La hauteur de la voix (grave – aigu) est le corrélat perceptuel de la fréquence (Tableau 1). Plus la fréquence de vibration des plis vocaux est élevée, plus la hauteur de la voix est élevée (aiguë).

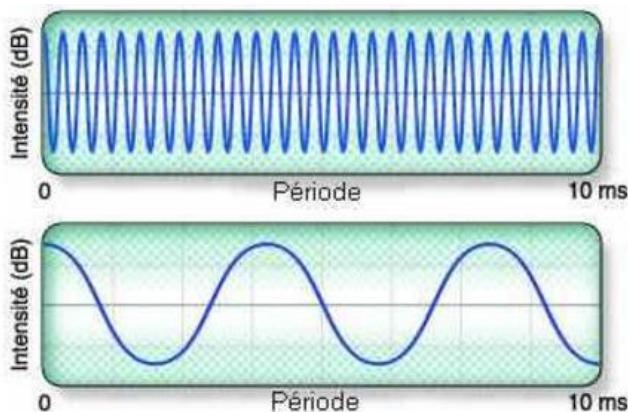


Figure 7. Fréquence du son. Ces sinusoïdes représentent un son à haute fréquence (3000 Hz; section supérieure) et un son à basse fréquence (300 Hz; section inférieure). Image par S. Blatrix, extraite de « Promenade autour de la cochlée » <http://www.neurooreille.com/promenade>, par R. Pujol et coll., NeurOreille © 1999/2007, Montpellier. Reproduite avec permission.

Les plis vocaux ont une fréquence de vibration primaire nommée fréquence fondamentale (f_0), laquelle est déterminée par leur masse totale et leur longueur (Titze, 1994, 2011). Du fait de différences anatomiques liées à la longueur et à la masse des plis vocaux, les hommes possèdent une fréquence fondamentale plus basse que les femmes (d'environ 80 à 120 Hz pour les hommes et de 200 à 250 Hz pour les femmes, la fréquence fondamentale des voix d'enfants se situant autour de 300 Hz) (Baken, 1987; Goy et al., 2013; Stathopoulos et al., 2011; Titze, 1994).

Propriétés acoustiques de la voix	Corrélates perceptuels (<i>la voix semble...</i>)
Fréquence Basse — Haute	Hauteur Grave — Aigu
Amplitude Basse — Haute	Intensité Faible — Forte

Tableau 1. Associations entre les propriétés acoustiques de la voix et leurs corrélats perceptuels. À noter que la relation entre les propriétés acoustiques et leurs contreparties perceptuelles n'est pas linéaire.

La fréquence fondamentale peut toutefois s'élever en étirant et en ajoutant de la tension volontairement aux plis vocaux en utilisant les muscles du larynx (Alipour, Jaiswal, & Finnegan, 2007; Hirano, Ohala, & Vennard, 1969; Ohala, 1972). L'étirement des plis vocaux permet une accélération des cycles glottiques puisque la

distance entre les plis vocaux est substantiellement réduite, entraînant la production de sons plus aigus (Finger, Cielo, & Schwarz, 2009). Donc, plus les plis vocaux sont tendus, plus la hauteur de la voix est élevée. Déjà au 18^e siècle, Ferrein rapportait qu'une modification de la tension appliquée sur les plis vocaux a pour conséquence un changement immédiat de la tonalité du son s'échappant de la gorge (Ferrein, 1741). Les techniques modernes permettent de mesurer qu'il est possible de modifier la fréquence fondamentale de la voix jusqu'à deux octaves entre la plus basse et la plus haute fréquence (Arnold, 1955; Baken, 1987; Titze, 1994). L'étendue de la fréquence fondamentale d'une personne représente la différence entre la fréquence la plus basse et la plus élevée que cette personne peut produire. La fréquence fondamentale de la voix ainsi que son étendue reflètent ainsi les caractéristiques physiologiques des plis vocaux et le contrôle de la musculature du larynx (Baken, 2005; Bloch & Behrman, 2001; Honjo & Isshiki, 1980). En situation expérimentale, les principales mesures de fréquence effectuées sont la fréquence fondamentale ainsi que son écart-type (Dehqan et al., 2012; Stathopoulos et al., 2011).

2.2.2. Amplitude et contrôle de l'amplitude

L'amplitude correspond au niveau de pression sonore (Sound Pressure Level, SPL) et est la mesure physique de la puissance du son (**Figure 8**). L'échelle des décibels en SPL réfère à la différence entre la pression causée par une onde sonore et la pression atmosphérique ambiante (environ 101 kPa), qui se mesure dans l'air grâce à un microphone (Beynon, 1993). Tout comme la hauteur (grave – aigu) est le corrélat perceptuel de la fréquence, l'intensité (fort-faible) est le corrélat perceptuel de l'amplitude (**Tableau 1**). Plus l'amplitude de l'onde sonore est élevée, plus l'intensité de la voix est élevée (forte).

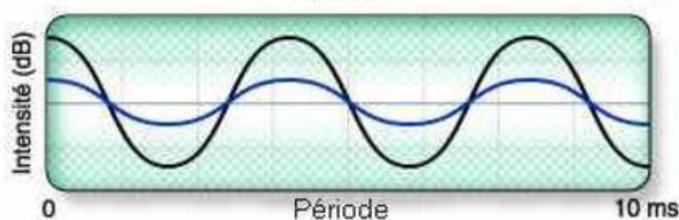


Figure 8. Amplitude du son. Ces sinusoïdes représentent des sons forts (noir) et faibles (bleu) de même fréquence. Image par S. Blatrix, extraite de « Promenade autour de la cochlée » <http://www.neurooreille.com/promenade>, par R. Pujol et coll., NeurOreille © 1999/2007, Montpellier. Reproduite avec permission.

Afin d'augmenter l'intensité de la voix, la vigueur de l'ouverture et de la fermeture des plis vocaux doit être augmentée (Baken, 1987; Seikel et al., 2010). Deux mécanismes indépendants sont utilisés : l'augmentation de la pression sous-glottique et l'augmentation de la compression médiane des plis vocaux (Isshiki, 1964; Plant & Younger, 2000; Stathopoulos & Sapienza, 1993). En effet, lorsque la compression médiane des plis

vocaux est plus grande, les plis vocaux sont étroitement fermés et plus de force est nécessaire pour les séparer. Il en résulte une ouverture vigoureuse des plis vocaux qui produit une sortie d'air explosive. Plus l'éruption d'air est intense, plus l'amplitude du cycle de vibration sera grande (Hixon et al., 1973; Isshiki, 1964; Plant & Younger, 2000; Stathopoulos & Sapienza, 1993). Chaque multiplication par deux de la pression sous-glottique se traduit par une augmentation de l'amplitude entre huit et neuf décibels (dB SPL) (Titze & Sundberg, 1992). L'intensité de la voix chuchotée se situe autour de 55-60 dB SPL, la voix normale conversationnelle autour de 65-70 dB SPL, et une voix forte à 75-80 dB SPL (Awan & Ensslen, 2010; Maruthy & Ravibabu, 2015; Wuyts et al., 2000). En situation expérimentale, les principales mesures d'intensité effectuées sont l'amplitude moyenne ainsi que son écart-type.

La fréquence fondamentale et l'amplitude de la voix sont liées. En effet, la compression médiane des plis vocaux a pour effet d'appliquer une tension sur les plis vocaux (Gramming, Sundberg, Ternström, Leanderson, & Perkins, 1988; Hirano et al., 1969). Les études montrent que l'amplitude de la voix augmente d'environ huit à neuf dB SPL à chaque octave lorsque la pression pulmonaire est augmentée proportionnellement (Sundberg, Titze, & Scherer, 1993; Titze & Sundberg, 1992).

2.2.3. Mesures de perturbation de la voix

La voix n'est pas un signal sonore simple ou « pur » (**Figure 9A**). Un son pur, c'est-à-dire un son simple, est caractérisé par une fréquence et une amplitude uniques qui demeurent constantes dans le temps (Fahy & Thompson, 2015). Par exemple, les diapasons et les appareils électroniques produisent des sons purs. Dans le cas de la voix humaine, le son émanant des plis vocaux est modifié selon la configuration des différents articulateurs de l'appareil phonatoire et sa possibilité de résonner dans les cavités orales ou nasales. En conséquence, le son de la voix acquiert une multitude de composantes dont les fréquences diffèrent de la fréquence fondamentale de départ. Ainsi, la voix est composée d'un ensemble riche d'harmoniques, c'est-à-dire des multiples entiers et plus aigus de la fréquence fondamentale (**Figure 9B**). Il est d'ailleurs possible d'observer la multiplicité des composantes sonores de la voix lorsque le signal vocal subit un grossissement important (**Figure 9D**). Une portion variable du signal vocal est également constituée de bruit, c'est-à-dire de sons qui dérangent et sont perçus négativement (**Figure 9C**). Les mesures de perturbation cycliques et la présence de bruit sont donc des caractéristiques importantes du signal vocal. En effet, ils révèlent l'instabilité de la vibration des plis vocaux, l'irrégularité de la fermeture glottique et l'adduction incomplète des plis vocaux (**Tableau 2**). Ces différents indices de stabilité permettent de quantifier la qualité de la voix et peuvent aider à la détection des troubles de la voix (Bocklet, Riedhammer, Nöth, Eysholdt, & Haderlein, 2012; Davis, 1978; Fonseca & Pereira, 2009; Kitajima, Tanabe, & Isshiki, 1975; Ludlow, Bassich, Connor, Coulter, & Lee, 1987;

Roy et al., 2013). Les mesures de perturbation de la voix les plus utilisées sont détaillées dans les sections suivantes.

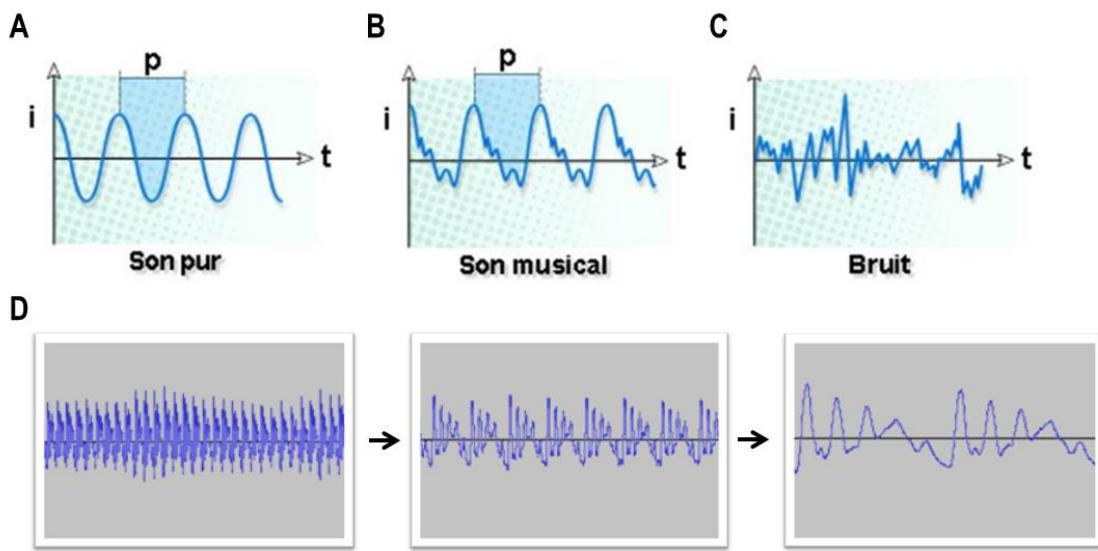


Figure 9. Caractéristiques des sons et du signal vocal. Différents signaux sonores selon l'intensité (*i*), leur période (*p*) et le temps (*t*). La vibration du son pur est caractérisée par une seule fréquence (A). À la même fréquence fondamentale que le son pur s'ajoutent des harmoniques (fréquences plus aiguës et multiples entiers de la fréquence fondamentale) (B). Le bruit est caractérisé par une absence de fréquence caractéristique (C). De gauche à droite, le signal vocal d'une même voyelle /a/ soutenue est grossi progressivement afin d'observer ses multiples composantes sonores (D). Figure adaptée à partir de l'image par S. Blatrix, extraite de « Promenade autour de la cochlée » <http://www.neurooreille.com/promenade>, par R. Pujol et coll., NeurOreille © 1999/2007, Montpellier. Reproduite avec permission.

Propriétés acoustiques de la voix	Corrélates perceptuels (<i>la voix semble...</i>)	Perturbation	Indice de perturbation
Fréquence Basse — Haute	Hauteur Grave — Aigu	Instabilité de la vibration des plis vocaux	Jitter
Amplitude Basse — Haute	Intensité Faible — Forte	Irrégularité de la fermeture glottique	Shimmer
Harmonicité Basse — Haute	Bruit Rauque — Mélodieuse	Adduction incomplète des plis vocaux	Harmonic-to-noise ratio (HNR)

Tableau 2. Mesures acoustiques communes des différentes propriétés de la voix.

La perturbation de la fréquence (connue sous le terme de *jitter*, qui signifie « fluctuation causée par de l'interférence ou un échec temporaire de la synchronisation ») est une mesure de la variabilité, cycle par cycle, de la fréquence fondamentale (Tableau 2). La perturbation de la fréquence fondamentale évalue les

irrégularités des mouvements de glotte. Elle est calculée à partir de la formule suivante : $jitter$ (secondes) = $\Sigma_{i=2^N} |T_i - T_{i-1}| / (N-1)$ (Boersma, 2009), où T représente le temps et N le nombre de cycles étudiés. La fréquence fondamentale de chaque cycle phonatoire est ainsi comparée à celle du prochain cycle. Puisque le jitter absolu extrait selon cette formule est influencé par la fréquence fondamentale de la personne (Orlikoff & Baken, 1990), un indice normalisé de jitter est généralement utilisé; par exemple, le « jitter local », calculé en tant que pourcentage de perturbation de la fréquence fondamentale selon la formule suivante : $jitter = jitter$ (secondes)/*période moyenne* (secondes) (Boersma, 2009). Il existe toutefois des variations dans les formules mathématiques utilisées selon les auteurs (Maryn et al., 2009; Oğuz, Kılıç, & Şafak, 2011). Une valeur de 1 % à 2 % de jitter est associée à une perception d'âpreté et de raucité de la voix (Nicastri, Chiarella, Gallo, Catalano, & Cassandro, 2004; Oğuz et al., 2011).

La perturbation de l'amplitude (connue sous le terme de *shimmer*, qui signifie « mouvement » ou « image qui tremble ou vibre ») est une mesure de la variabilité, cycle par cycle, de l'amplitude (**Tableau 2**). La perturbation de l'amplitude évalue les irrégularités du coefficient de contact des plis vocaux (Maryn et al., 2009; Nicastri et al., 2004). Plus la fermeture glottique est irrégulière, plus grande est la perturbation de l'amplitude (Moore, 1968, 1971; Timcke et al., 1958). L'amplitude de chaque cycle phonatoire est ainsi comparée à celle du cycle suivant, afin de calculer la moyenne absolue des différences d'amplitude entre des périodes consécutives sur une base logarithmique. Le niveau de perturbation qui en résulte (« local shimmer ») ne dépasse généralement pas 0.35 dB SPL, sans quoi la voix est perçue comme étant instable et enrouée (Nicastri et al., 2004; Oğuz et al., 2011). D'autres indices tels que le quotient de perturbation de l'amplitude, défini par Takahashi et Koike puis revu par Davis, sont le résultat d'une moyenne de l'amplitude sur des séquences de trois, cinq ou 11 cycles selon une logique semblable, (Davis, 1978; Takahashi & Koike, 1975) mais sont moins fréquemment utilisés.

L'amplitude de la voix a un effet important sur les mesures de jitter et de shimmer. Par exemple, une voix de forte amplitude est associée à une vibration plus régulière des plis vocaux, et donc à une mesure de jitter plus faible (Brockmann, Drinnan, Storck, & Carding, 2011; Brockmann, Storck, Carding, & Drinnan, 2008). La fréquence fondamentale de la voix a également une influence sur les mesures de perturbation, puisque le jitter tend à diminuer alors que la fréquence fondamentale s'élève (Orlikoff & Baken, 1990). Il est donc important de tenir compte de ce facteur lors de la mesure et de l'analyse de la voix (Hillenbrand, 1987).

Finalement, le taux de bruit présent dans le signal vocal est directement lié à la qualité de la voix et représente la perte de force d'adduction des plis vocaux (**Tableau 2**). L'harmonicité est obtenue grâce au rapport direct entre l'énergie du bruit et l'énergie des harmoniques du segment vocal d'intérêt, en ratio harmonique sur bruit (« HNR ») ou en ratio bruit sur harmonique (« NHR »). Ainsi, une harmonicité de zéro dB signifie qu'il y a

autant d'énergie venant du bruit que des harmoniques dans le signal vocal. Le taux de bruit présent dans la voix représente le résultat des perturbations combinées de l'amplitude et de la fréquence, et corrèle fortement avec l'évaluation globale de l'enrouement de la voix (Yanagihara, 1967; Yumoto, Gould, & Baer, 1982; Yumoto, Sasaki, & Okamura, 1984). Donc, plus le signal vocal contient du bruit, et plus la voix est perçue comme étant rauque ou enrouée.

2.3. Mesures de la voix en laboratoire

L'étude de la voix en contexte expérimental se fait en deux étapes : (1) la collecte de la voix, et (2) l'analyse de ses propriétés acoustiques. Ces deux étapes sont détaillées dans les sections suivantes.

2.3.1. Conditions d'enregistrement

Une mesure précise de la voix demande des instruments et des conditions expérimentales spécifiques. La société européenne de laryngologie (European Laryngological Society) a établi un protocole-cadre pour l'évaluation de la voix en contexte clinique. Puisque ce protocole-cadre est également utilisé en recherche, ses principales recommandations sont présentées ci-dessous.

La personne dont la voix est enregistrée est préférablement au repos et assise confortablement. L'enregistrement doit idéalement avoir lieu dans une salle insonorisée (qui bloque la propagation des sons extérieurs, communément appelée « chambre sourde »), une salle anéchoïque (dont les parois de la salle absorbent les ondes sonores et ne provoquent pas d'écho), ou encore une salle qui répond à ces deux critères. Le bruit ambiant s'y situe habituellement sous 20 dB SPL (Brockmann et al., 2008; Zraick, Wendel, & Smith-Olinde, 2005). Toutefois, un milieu calme avec un bruit ambiant de moins de 50 dB SPL est considéré comme acceptable (Dejonckere et al., 2001).

L'utilisation d'un microphone professionnel est recommandée. Différents modèles sont disponibles, mais les modèles de type microphone-casque sont privilégiés puisqu'ils présentent l'avantage de maintenir constante la distance entre le microphone et la bouche de la personne tout au long de la procédure, et que cette distance soit également constante entre les personnes (Dejonckere et al., 2001; Švec & Granqvist, 2010). De façon à réduire le bruit des turbulences provenant de la bouche, le microphone est généralement placé à environ dix centimètres de la bouche à un angle compris entre 45° et 90° (Dejonckere et al., 2001).

Un système d'enregistrement numérique devrait être utilisé pour recueillir le signal vocal. Tous les logiciels d'analyse vocale disponibles permettent d'enregistrer et d'entreposer les échantillons de voix sous un format numérique compressé ou non (par exemple, le .wav, le .mp3, etc.). La vitesse d'échantillonnage du signal ne

doit pas être inférieure à 20 kHz,³ (Dejonckere et al., 2001) mais la norme est d'échantillonner à 44.1 kHz ou plus afin de représenter fidèlement le signal vocal (Rao, 2010).

2.3.2. Protocoles d'enregistrements

Différents protocoles d'enregistrements ont été mis au point pour l'étude de la voix humaine, normale ou pathologique. Chacun possède des avantages et des inconvénients différents. Les protocoles les plus fréquemment utilisés sont décrits dans les sections suivantes.

2.3.2.1. Voyelle soutenue

La tâche de voyelle soutenue est la tâche de production et d'analyse de la voix la plus répandue dans la littérature (Maryn, Corthals, Van Cauwenberge, Roy, & De Bodt, 2010; Parsa & Jamieson, 2001; Zraick, Wendel, et al., 2005). Elle permet d'extraire de nombreuses propriétés acoustiques de la voix en minimisant les fluctuations prosodiques de fréquence et d'amplitude (c'est-à-dire les modulations engendrées par les émotions ou les intentions illocutoires⁴ du locuteur), et elle est exempte de contenu linguistique (Parsa & Jamieson, 2001). Cette tâche nécessite de maintenir la phonation d'une voyelle, habituellement /a/, mais également aussi /e/, /u/ ou /i/, entre trois à cinq secondes à une fréquence et une amplitude agréables pour la personne (Bier, Watson, & McCann, 2014; Mendes Laureano, Sa, Ferriani, & Romao, 2009; Nemr et al., 2012; Sussman & Sapienza, 1994; Wilcox & Horii, 1980). Les locuteurs sont encouragés à utiliser leur voix à leur fréquence et leur amplitude habituelles, « normales ». Bien que la définition d'une fréquence et d'une amplitude « normale » ou « confortable » soit plutôt subjective, la majorité des auteurs utilisent ces instructions (Awan, 2006; Goy et al., 2013; Stathopoulos et al., 2011; Xue & Deliyski, 2001). Cette tâche est généralement répétée de trois à cinq fois (Ma & Love, 2010). L'extraction des mesures acoustiques est généralement effectuée sur une portion centrale, la plus stable possible, de l'échantillon vocal dans le cas d'une voyelle soutenue (Bier et al., 2014). C'est une tâche extrêmement simple à réaliser; toutefois, sa validité externe est limitée puisqu'il s'agit d'une tâche peu écologique (c'est-à-dire, qui ressemble peu à une situation réelle). En effet, dans la vie quotidienne, les adultes ne communiquent pas entre eux en utilisant des voyelles soutenues.

³ La fréquence d'échantillonnage représente le nombre d'échantillons utilisés par seconde. Puisque certains sons de la voix humaine peuvent atteindre des fréquences de 5 ou 6 kHz, c'est-à-dire de 5000 à 6000 vibrations par secondes, plusieurs milliers d'échantillons par seconde sont nécessaire pour représenter adéquatement le signal sonore (Rao, 2010).

⁴ L'intention illocutoire correspond à ce que fait le locuteur en disant ce qu'il dit, c'est-à-dire poser une question, faire un commentaire ou une promesse, prononcer une menace, etc. (Searle, 1969).

Comme mentionné ci-dessus, les protocoles de voyelle soutenue permettent d'extraire un grand nombre de propriétés acoustiques de la voix. En contexte expérimental, la fréquence fondamentale et l'amplitude moyenne ainsi que leurs écarts-types sont pratiquement toujours étudiés à partir d'une voyelle soutenue (Maryn et al., 2009). Il est également possible d'en extraire la fréquence fondamentale minimum et maximum afin de détailler davantage la stabilité de la fréquence que la personne maintient (Awan, 1991). Les mesures de perturbations cycliques de la voix, comme le jitter et le shimmer, sont calculées au moyen d'algorithmes de détection et d'extraction très sensibles à l'intonation et aux arrêts de phonation. Ces mesures sont donc extraites à partir d'une voyelle soutenue (Maryn, Corthals, et al., 2010; Sorensen & Horii, 1984). Pour extraire ces mesures d'un échantillon vocal autre qu'une voyelle soutenue, les voyelles contenues dans le signal vocal doivent être analysées semi-manuellement par un processus laborieux impliquant l'identification des voyelles (Kitajima et al., 1975). Finalement, l'harmonicité et le bruit du signal vocal sont également généralement mesurés sur une voyelle soutenue, quoiqu'ils puissent également être calculés sur un discours continu (Eskenazi, Childers, & Hicks, 1990; Ferrand, 2002; Yanagihara, 1967; Yumoto et al., 1982).

Une variante de la tâche de la voyelle soutenue est la tâche de phonation maximale (Awan, 2006; Speyer et al., 2010; Tay, Phyland, & Oates, 2012). Elle consiste à maintenir une voyelle le plus longtemps possible, jusqu'à l'épuisement de la réserve d'air, afin de calculer le temps maximal de phonation (Maximal Phonation Time, MPT). Cette mesure donne un aperçu de la capacité pulmonaire de la personne (Maslan, Leng, Rees, Blalock, & Butler, 2011; Speyer et al., 2010). La phonation doit également être le plus stable possible et exempte de frottements glottiques. La phonation maximale est répétée entre trois et dix fois (Goy et al., 2013; Vincent & Gilbert, 2012), et la plus longue durée est généralement prise en compte (Awan, 2006; Schindler et al., 2012).

2.3.2.2. Discours continu

Les tâches de discours continu représentent davantage une situation de communication de la vie quotidienne, et sont donc plus écologiques que les voyelles soutenues. En effet, alors que les voyelles soutenues représentent des phonations stables et invariables dans le temps, le discours continu exige des changements fréquents et rapides des mécanismes glottiques et supra glottiques afin d'y inclure des débuts et des fins de phonation, des pauses et des fluctuations prosodiques (Maryn, Corthals, et al., 2010; Parsa & Jamieson, 2001). Le discours continu est donc plus représentatif des configurations multiples que prend le larynx dans les situations réelles de la vie et de l'étendue des capacités vocales du locuteur (Fourcin, 2009; Fourcin & Abberton, 2008). En conséquence, les mesures acoustiques de la voix, dont la fréquence et l'amplitude, sont affectées par le choix de la tâche (Bohnenkamp, Andrews, Shrivastav, & Summers, 2002; Winkworth, Davis, Ellis, & Adams, 1994; Zraick, Birdwell, & Smith-Olinde, 2005; Zraick, Marshall, Smith-Olinde, & Montague,

2004). Il est ainsi fortement suggéré d'inclure une tâche de discours continu afin d'améliorer la validité écologique d'une évaluation vocale (Carding, Carlson, Epstein, Mathieson, & Shewell, 2000; Goy et al., 2013; Maryn, Corthals, et al., 2010; Rabinov, Kreiman, Gerratt, & Bielamowicz, 1995; Revis, Giovanni, Wuysts, & Triglia, 1999). Les tâches de discours continu fréquemment utilisées sont la lecture d'un texte standardisé ou la production de discours spontané.

Lors d'un discours continu, qu'il soit issu de la lecture d'un texte ou d'un discours spontané, il est possible d'extraire quelques mesures acoustiques d'intérêt, dont la fréquence fondamentale de la parole (Speech Fundamental Frequency, SFF) (Zraick, Gentry, Smith-Olinde, & Gregg, 2006). Il est également possible d'évaluer la modulation de la fréquence fondamentale du locuteur en mesurant la plus basse et la plus haute fréquence atteinte lors du discours continu (de Souza, Bevilacqua, Brasolotto, & Coelho, 2012), et de mesurer l'amplitude moyenne de la parole ainsi que le ratio harmonique sur bruit (Goy et al., 2013; Livingstone, Choi, & Russo, 2014).

La lecture d'un texte standardisé permet de contrôler le contenu linguistique du discours prononcé. Plusieurs textes sont standardisés sur la longueur des phrases, des mots ou de tout le texte, les phonèmes (incluant les occurrences nasales) et la familiarité des mots afin de correspondre à un besoin expérimental ou clinique spécifique, par exemple pour le calcul de l'intelligibilité (pourcentage de mots compris), la détection des erreurs ou l'évaluation d'un mécanisme articulatoire (Dalston & Seaver, 1992; Stein-Rubin & Fabus, 2012). Quelques-uns de ces textes sont très connus et largement utilisés, tels que le « Rainbow Passage » (anglais) (Fairbanks, 1960), « The North Wind and The Sun » (anglais) et sa version française « La bise et le soleil » (**Annexe 1**; International Phonetic Association, 1999)). Ces textes sont lus à voix haute après une première lecture de familiarisation. Les lecteurs reçoivent généralement l'instruction de ne pas prendre une voix différente de leur voix habituelle et de lire le texte d'une façon naturelle et non empruntée (Goy et al., 2013).

Puisqu'il est libre de toute contrainte linguistique, le discours spontané est la plus écologique des tâches de mesure de la voix (Zraick, Birdwell, et al., 2005; Zraick et al., 2004). Dans cette tâche, les personnes doivent simplement parler à haute voix de façon naturelle et en utilisant leur vocabulaire habituel. Le discours spontané est donc le plus représentatif de l'intonation naturelle du locuteur (Baken, 1987; Bhuta, Patrick, & Garnett, 2004; Zraick et al., 2006). Par contre, les résultats sont fortement influencés par le stress et l'état émotionnel du locuteur, sa rapidité d'élocution, sa familiarité avec la langue, son niveau d'éducation, etc. (Maryn, Corthals, et al., 2010; Parsa & Jamieson, 2001). Afin d'encourager le discours libre, une question peut être posée, ou alors il peut être demandé de décrire une image, de raconter une fable connue, etc. (Aronovitch, 1976; Mulac & Giles, 1996). Un exemple d'image servant de support à la narration d'une fable connue dans une tâche de discours spontané est présenté à l'**Annexe 2**. Les tâches de discours continu sont

fréquemment utilisées pour évaluer la qualité vocale chez des populations cliniques en contexte plus écologique que la production d'une voyelle soutenue (Pakhomov et al., 2010; Stein-Rubin & Fabus, 2012; Yiu, Worrall, Longland, & Mitchell, 2000).

2.3.2.3. Contrôle de la voix

Il existe différents types de contrôle de l'amplitude et de la fréquence de la voix, qui peuvent chacun être examinés d'une façon qui leur est propre. Le premier est la modulation fine de la hauteur et l'intensité de la voix. Lorsque jumelée à la modulation de la durée de la phonation et de l'accentuation, celle-ci permet de produire des patrons prosodiques permettant d'exprimer des émotions et des intentions (voir la définition des intentions illocutoires à la section 2.3.2.1.). Ce type de contrôle de la voix peut être examiné grâce à une analyse fine de la prosodie en discours continu dans différents contextes communicationnels (Garcia-Toro, Talavera, Saiz-Ruiz, & Gonzalez, 2000; Lenden & Flipsen, 2007). Un second type de contrôle de la voix réfère davantage au contrôle sensorimoteur, lequel permet aux individus de moduler leur voix en fonction du contexte (par exemple, de hausser l'amplitude de la voix dans un environnement bruyant) de façon plus ou moins consciente (Stowe & Golob, 2013; Zollinger & Brumm, 2011).

Le contrôle de la voix peut également être défini selon les capacités biomécaniques maximales de l'appareil phonatoire. Ces limites physiologiques sont assujetties aux seuils des trois systèmes de la phonation, soit le système respiratoire, le système phonatoire, et le système articulatoire. Ces limites sont évaluées au moyen de tâches de capacités maximales lors desquelles les participants sont amenés à atteindre les extrêmes de leur voix, tant en fréquence qu'en amplitude, et inversement à réduire ces valeurs au minimum. Une méthode alternant crescendo et decrescendo (par exemple, en augmentant graduellement l'amplitude, de faible à la plus élevée possible) est régulièrement utilisée pour évaluer les capacités maximales (Awan, 2011; Brown, Morris, Hicks, & Howell, 1993; Maruthy & Ravibabu, 2015; Morris, Brown, Hicks, & Howell, 1995).

D'autres tâches ont plutôt pour objectif d'examiner la capacité fonctionnelle des individus à produire des degrés significativement différents d'amplitude et de fréquence de la voix en utilisant pour se faire des voyelles soutenues. La production de ces voyelles soutenues dans différentes conditions (faible amplitude [sans chuchoter], forte amplitude [sans crier], basse fréquence et fréquence élevée) reflète alors la capacité des individus à exercer un contrôle important sur l'amplitude et la fréquence de leur voix sans toutefois leur demander d'atteindre leurs limites phonatoires (Bier et al., 2014; Brockmann et al., 2011, 2008; Goy et al., 2013; Mazzetto de Menezes, Master, Guzman, Bortnem, & Ramos, 2014). Les niveaux de fréquence et d'amplitude sont habituellement déterminés par les locuteurs eux-mêmes, étant donné les différences individuelles importantes (Bier et al., 2014; Mazzetto de Menezes et al., 2014). Les locuteurs sont toutefois

encouragés à produire des vocalisations substantiellement distinctes les unes des autres en matière de fréquence et d'amplitude. Un exemple de la voix attendue est parfois présenté afin de faciliter la compréhension de cette tâche.

2.4. La production de la voix au cours du vieillissement

Dans les sections précédentes, les mécanismes de la phonation, les propriétés acoustiques de la voix ainsi que les techniques de mesure de la voix en contexte expérimental ont été successivement présentés. Puisque nous souhaitons mieux comprendre les changements affectant la phonation au cours de la vie, nous allons maintenant aborder les effets objectifs du vieillissement normal sur la voix. En effet, la voix humaine subit d'importants changements acoustiques lors du vieillissement, qui semblent avoir des causes complexes et multifactorielles (Baken, 2005; Biever & Bless, 1989; Goy et al., 2013; Honjo & Isshiki, 1980; Hunter, Kapsner-Smith, Pead, Engar, & Brown, 2012). Les effets physiologiques du vieillissement sur le système phonatoire sont d'abord présentés dans les prochaines sections, avant de poursuivre sur les changements acoustiques qui affectent la voix dans le vieillissement.

2.4.1. Changements physiologiques

De multiples changements anatomiques et physiologiques reliés à l'âge affectent le système phonatoire (Forero Mendoza et al., 2014; Goy et al., 2013). Plus précisément, des changements physiologiques se produisent dans le larynx (Bloch & Behrman, 2001; Honjo & Isshiki, 1980; Kersing & Jennekens, 2004; Pontes, Brasolotto, & Behlau, 2005; Pontes, Yamasaki, & Behlau, 2006; Sato, Umeno, & Nakashima, 2010; Ximenes Filho, Tsuji, do Nascimento, & Sennes, 2003), l'appareil vocal (Pontes et al., 2006) et le système respiratoire (Linville, 1996; Ramig et al., 2001; Sauder, Roy, Tanner, Houtz, & Smith, 2010; Teles-Magalhães, Pegoraro-Krook, & Pegoraro, 2000). Les changements des structures du larynx incluent une détérioration histologique des plis vocaux (Sato et al., 2010; Ximenes Filho et al., 2003), une calcification et une ossification des cartilages (Pontes et al., 2005, 2006), une perte d'élasticité des ligaments et une atrophie des muscles et conséquemment des plis vocaux (Honjo & Isshiki, 1980; Kersing & Jennekens, 2004; Sato et al., 2010; Sato & Tauchi, 1982). Des altérations dans la quantité et la qualité des sécrétions ainsi que dans la structure des chacune des couches de la lamina propria apparaissent également avec l'âge (Kuhn, 2014; Ximenes Filho et al., 2003) (**Figure 10**). Ces changements anatomiques et physiologiques peuvent mener à une réduction d'amplitude et de vitesse de la vibration des plis vocaux, une diminution de l'adduction des plis vocaux et une augmentation de la tension des muscles du larynx, surtout chez les hommes (Biever & Bless, 1989; Bloch & Behrman, 2001; Honjo & Isshiki, 1980; Ma & Love, 2010; Pontes et al., 2005).

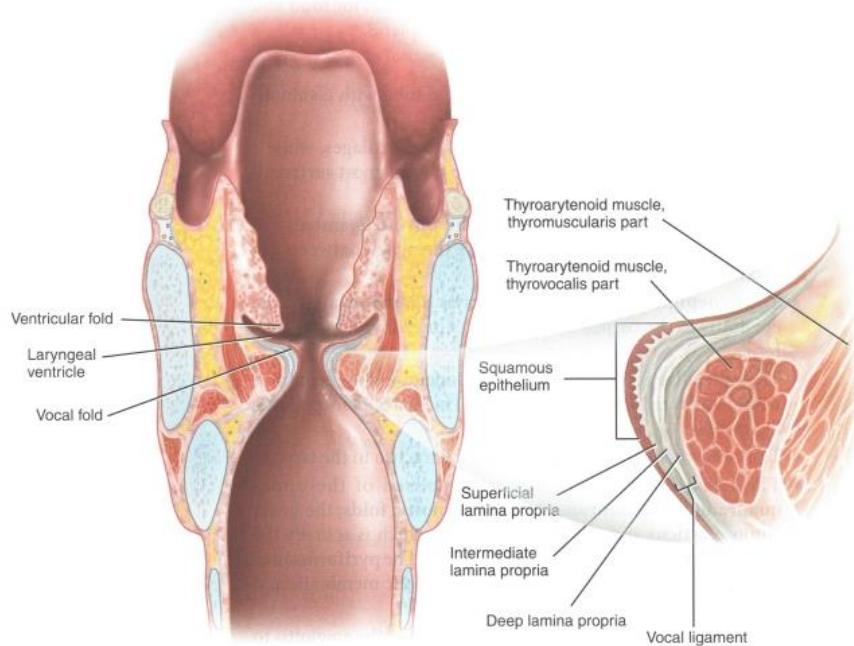


Figure 10. Section transversale du larynx. Vue transversale du larynx dévoilant les plis vocaux. Le grossissement des plis vocaux expose les différentes couches de tissus des plis vocaux, dont les muscles et la lamina propria. Image de Seikel/King/Drumright, extraite d'« Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing, 4E ». © 2010 Delmar Learning, une partie de Cengage Learning, Inc. Reproduite avec permission. www.cengage.com/permissions

Des observations stroboscopiques⁵ sur les altérations vocales liées à l'âge ont également démontré un fléchissement des plis vocaux vers les parois externes du larynx (connu sous l'appellation de glotte ovalaire ou « vocal fold bowing » en anglais), un interstice entre les plis vocaux plus important ainsi qu'une vague mucosale⁶ réduite (Biever & Bless, 1989; Bloch & Behrman, 2001; Gracco & Kahane, 1989; Kuhn, 2014; Pontes et al., 2005). Lors de la ménopause, des changements hormonaux peuvent également contribuer à augmenter l'enflure et l'œdème des plis vocaux (D'haeseleer, Depypere, Claeys, Baudonck, & Van Lierde, 2011; Schneider, van Trotsenburg, Hanke, Bigenzahn, & Huber, 2004). Des changements anatomiques de l'appareil vocal sont également observés avec l'âge, dont une augmentation de la longueur et du volume de la cavité orale ainsi qu'une hausse significative du volume total de l'appareil vocal (Pontes et al., 2006). Le système respiratoire est lui aussi affecté par le vieillissement. Les changements liés au système respiratoire les plus communs sont la réduction des pressions et des volumes pulmonaires, de l'élasticité et de la capacité de recul des poumons, du contrôle respiratoire et de la force des muscles impliqués dans le système

⁵ La stroboscopie permet d'illuminer un phénomène rapide, tel que le cycle de vibration des plis vocaux, par des éclairs brefs et périodiques produits par le stroboscope.

⁶ Mouvement de vague pouvant être observé sur la surface des plis vocaux lors de la phonation s'apparentant aux vagues créées sur l'eau par le vent (McGowan, 1990).

respiratoire (Linville, 1996; Ramig et al., 2001; Sauder et al., 2010; Teles-Magalhães et al., 2000). En somme, le vieillissement normal s'accompagne de nombreux changements anatomiques et physiologiques qui affectent le système phonatoire. L'incidence de ces changements sur la production de la voix est décrite dans la prochaine section.

2.4.2. Changements acoustiques

Les changements physiologiques associés au vieillissement décrits dans la section précédente ont des impacts sur la production de la voix (Mazzetto de Menezes et al., 2014). Il est à noter que l'effet spécifique de chacun des changements physiologiques sur la production de la voix n'est pas connu. On sait néanmoins que le vieillissement a des conséquences négatives sur la fréquence, la stabilité et l'amplitude de la voix, et que ces changements varient en fonction du sexe (Dehqan et al., 2012; Goy et al., 2013; Linville & Fisher, 1985; Ma & Love, 2010). Les modifications de la fréquence fondamentale sont les plus étudiées. De nombreuses études révèlent ainsi que la fréquence fondamentale des hommes diminue jusque dans la cinquantaine, puis s'élève graduellement (Dehqan et al., 2012; Harnsberger, Shrivastav, Brown, Rothman, & Hollien, 2008; Honjo & Isshiki, 1980; Ma & Love, 2010; Torre & Barlow, 2009). Les femmes subissent plutôt un déclin constant de leur fréquence fondamentale avec l'âge (Awan, 2006; Da Silva, Master, Andreoni, Pontes, & Ramos, 2011; Dehqan et al., 2012; Goy et al., 2013; Honjo & Isshiki, 1980; Ma & Love, 2010; Torre & Barlow, 2009). De plus, les changements hormonaux associés à la ménopause causent une enflure des plis vocaux et de l'œdème et pourraient occasionner une diminution de la fréquence fondamentale chez les femmes (D'haeseleer et al., 2011; Schneider et al., 2004) [pour une revue complète, voir D'Haeseleer (2009)].

Contrairement à la fréquence fondamentale, les changements de l'amplitude de la voix sont moins bien compris et moins concordants d'une étude à l'autre. Certains auteurs ont observé une plus faible amplitude de la voix chez des femmes et des hommes âgés de 60 ans et plus lorsque comparés à de jeunes adultes âgés de 20 à 35 ans (Baker, Ramig, Sapir, Luschei, & Smith, 2001; Da Silva et al., 2011). D'autres auteurs ont toutefois remarqué ces différences selon l'âge chez les hommes seulement (Goy et al., 2013; Morris & Brown, 1994). Des auteurs suggèrent que cette différence selon le sexe est due à des changements laryngés plus importants au cours du vieillissement chez les hommes que chez les femmes (Kahane, 1987). Ainsi, la question des effets du vieillissement sur l'amplitude de la voix demeure non résolue. De plus, bien que l'habileté à moduler la fréquence et l'amplitude de la voix en fonction du contexte de communication, de la nature du message et de l'état du locuteur soit essentielle aux interactions sociales, l'effet du vieillissement sur les mécanismes de contrôle fonctionnels de la voix est très peu étudié. En effet, la plupart des auteurs étudient le vieillissement de la voix sur des voyelles soutenues produites à une hauteur et une intensité normales. Seulement deux études se sont intéressées aux différences acoustiques entre de jeunes adultes et

des adultes plus âgés lors de productions de voyelles soutenues à différentes intensités. La première étude n'a pas permis d'observer de différence d'amplitude de la voix lors de la production d'une voyelle soutenue (amplitude normale et élevée) entre jeunes femmes et femmes plus âgées (Mazzetto de Menezes et al., 2014). La deuxième étude n'a pas non plus permis d'observer une différence d'amplitude de la voix lors de la production d'une voyelle soutenue (amplitude faible, normale et élevée), cette fois entre jeunes hommes et hommes plus âgés (Bier et al., 2014). À notre connaissance, aucune étude n'a eu pour objectif d'examiner les différences acoustiques entre de jeunes adultes et des adultes plus âgés lors de productions de voyelles soutenues à différentes hauteurs. En somme, l'effet de l'âge sur les mécanismes de contrôle fonctionnels de la fréquence et de l'amplitude de la voix est encore largement méconnu, malgré une possible importance significative sur le plan de la communication.

Le vieillissement est également associé à une diminution de la stabilité de la voix mesurée par différents indices de perturbation. Plusieurs auteurs ont observé une plus faible stabilité de la fréquence fondamentale avec l'âge (Awan, 2006; Linville, 1987; Linville & Fisher, 1985). Par exemple, Awan (2006) a observé une plus grande variabilité de la fréquence fondamentale chez les femmes âgées de 60 à 69 ans et de 70 à 79 ans que chez les femmes âgées de moins de 30 ans. Contrairement aux effets bien documentés du vieillissement sur la fréquence fondamentale, l'effet du vieillissement sur les indicateurs de perturbation de la voix est moins connu. La littérature est particulièrement peu claire quant à l'effet du vieillissement sur le jitter (qui représente, comme nous l'avons expliqué plus haut, un indice de régularité cyclique de la fréquence fondamentale). En effet, bien que certains auteurs observent des valeurs plus élevées de jitter chez des adultes âgés de 55 à 70 ans (moyenne de 62.5 ans) lorsque comparés à des adultes âgés de 20 à 26 ans (moyenne de 23.3 ans) (Bier et al., 2014), et chez des adultes âgés de 70 à 90 ans (Dehqan et al., 2012) lorsque comparés à des adultes âgés de 21 à 49 ans, d'autres études ne rapportent aucune différence d'âge sur cette mesure (Goy et al., 2013; Linville, 1987; Ramig & Ringel, 1983). Des auteurs ont suggéré que les altérations du jitter sont dues à la condition physique du locuteur plutôt qu'à son âge chronologique (Ramig & Ringel, 1983). Ainsi, les effets du vieillissement sur le jitter demeurent encore incertains.

L'effet du vieillissement sur le temps maximal de phonation demeure également incertain. Alors que certaines études rapportent des temps maximaux de phonation plus faibles chez les adultes âgés que chez des adultes plus jeunes (Awan, 2006; Kreul, 1972; Ptacek, Sander, Maloney, & Jackson, 1966), par exemple des temps maximaux de phonation de près de 10 secondes plus courts chez des femmes âgées de 70 à 79 ans que chez des femmes âgées de 18 à 30 ans (Awan, 2006), des études récentes rapportent une absence de différence significative entre les temps maximaux de phonation de participants âgés de 70, de 80 ou de 90 ans (Maslan et al., 2011), et même des temps maximaux de phonation plus longs chez des femmes âgées de 63 à 82 ans (moyenne de 71.1 ans), lorsque comparées à des femmes plus jeunes âgées de 18 à 27 ans

(moyenne de 18.9 ans) (Goy et al., 2013). Le temps maximal de phonation repose pourtant sur plusieurs facteurs qui devraient décliner avec l'âge, tels que les volumes respiratoires, le débit d'air, la compréhension de la tâche et l'effort maximal possible. Cependant, des indices limités suggèrent que le temps maximal de phonation n'est pas systématiquement associé avec le débit d'air ni avec la capacité respiratoire vitale, et est plutôt associé à la résistance des voies aériennes laryngées (Solomon, Garlitz, & Milbrath, 2000). L'influence du vieillissement sur le temps maximal de phonation nécessite donc d'être examinée davantage.

Certaines incohérences sont également constatées pour le shimmer (qui représente, comme expliqué plus haut, un indice de régularité cyclique de l'amplitude vibratoire). Par exemple, alors que certaines études observent des valeurs de shimmer plus élevées chez des adultes âgés de plus de 60 ans que chez des adultes âgées de 20 à 30 ans (Biever & Bless, 1989; Xue & Deliyski, 2001) ou de 20 à 50 ans (Dehqan et al., 2012), d'autres montrent des différences significatives liées à l'âge des participants chez les hommes seulement (Goy et al., 2013). Finalement, puisque l'interstice entre les plis vocaux tend à augmenter avec l'âge, les adultes d'âge moyen (âgés de 30 à 50 ans) et plus âgés (âgés de 60 ans et plus) présentent un ratio d'harmoniques sur bruit (indice HNR) généralement plus faible que les jeunes adultes (Dehqan et al., 2012; Xue & Deliyski, 2001). Toutefois, certains auteurs observent des ratios HNR plus faibles chez les femmes âgées seulement (Stathopoulos et al., 2011), alors que d'autres n'observent aucune différence d'HNR entre des adultes plus jeunes, âgés de 18 à 28 ans, et des adultes âgés de 63 à 86 ans (Goy et al., 2013). Comme mentionné à la section 2.2.3., l'amplitude et la fréquence de la voix ont une influence non négligeable sur les mesures de perturbation (Brockmann et al., 2011, 2008; Orlikoff & Baken, 1990). Il est donc possible que les effets du vieillissement sur l'amplitude et la fréquence de la voix aient également des conséquences sur les indices de perturbation de la voix, et que les disparités entre les études soient dues au contrôle de l'amplitude et la fréquence à laquelle la voyelle soutenue est effectuée. Par exemple, Goy et ses collaborateurs (2013) n'ont pas observé de différence significative d'HNR entre les groupes d'âge en contrôlant de façon continue l'amplitude des voyelles soutenues à 75 dB SPL, alors que d'autres auteurs ayant observé des indices HNR plus faibles chez des adultes âgés que chez des adultes plus jeunes n'ont pas contrôlé l'amplitude des voyelles soutenues (Dehqan et al., 2012; Xue & Deliyski, 2001). Ainsi, il serait intéressant d'examiner si les effets du vieillissement normal sur les indices de perturbation de la voix diffèrent selon les cibles d'amplitude (faible et forte amplitude) et de fréquence (basse et haute fréquence) de la voix. En somme, les effets du vieillissement sur la stabilité de la voix, particulièrement mis en évidence par le jitter et le shimmer, demeurent partiellement compris. Étant donné l'importance de ces mesures dans l'évaluation de la voix, d'autres études sont nécessaires pour mieux comprendre ces phénomènes en fonction de l'âge et des conditions expérimentales.

2.5. Habitudes de vie affectant la production vocale

En plus d'être fortement influencée par l'âge, la voix est également influencée par certaines habitudes de vie. Nous avons choisi de présenter une habitude de vie dont les effets présumés sur la phonation sont positifs, c'est-à-dire l'exercice du chant, et une autre dont les effets présumés sur la phonation sont négatifs, c'est-à-dire le tabagisme. Les effets spécifiques du chant et du tabagisme sur la production vocale sont donc détaillés dans les sections suivantes.

2.5.1. Le chant

Le chant se définit comme la production de sons musicaux (ou tonalités musicales⁷) à partir de la voix humaine ("Singing," 2016). Le chant se distingue de la phonation normale sur plusieurs points. En effet, afin de produire du chant, il est nécessaire d'augmenter le volume d'air des poumons afin d'augmenter l'amplitude de la voix, en plus d'étendre l'expiration et ainsi faire vibrer les plis vocaux plus longtemps (Troup, 1981). L'expiration doit être contrôlée attentivement et être synchrone avec le rythme d'une chanson, par exemple. Une autre distinction entre le chant et la phonation habituelle est le contrôle accru des mouvements du larynx dont les chanteurs font preuve afin d'atteindre des hauteurs précises ("Singing," 2016; Titze, 2008).

Les effets du chant sur le corps humain sont multiples. Sans en faire un portrait exhaustif, notons que le chant a entre autres inspiré de nombreux programmes de réadaptation basés sur la musique, dont le plus célèbre est certainement le « Melodic Intonation Therapy » (Albert, Sparks, & Helm, 1973; Sparks, Helm, & Albert, 1974). La répétition mélodique de phrases a ainsi été utilisée avec succès chez des patients atteints d'aphasie aiguë (Van der Meulen, Van de Sandt-Koenderman, Heijenbrok-Kal, Visch-Brink, & Ribbers, 2014) et chronique (Lim et al., 2013) afin d'améliorer la performance lors de tâches de dénomination, de répétition ainsi que la communication verbale dans la vie quotidienne. Les programmes de réadaptation musicaux sont d'ailleurs considérés comme prometteurs pour le traitement de nombreux troubles du langage (pour une revue exhaustive, voir Stahl & Kotz (2014) et Altenmuller & Schlaug (2015)).

Les performances musicales vocales peuvent stimuler la production des protéines du système immunitaire (par exemple, les taux salivaires d'immunoglobuline A sécrétoire) (Beck, Cesario, Yousefi, & Enamoto, 2000; Kreutz, Bongard, Rohrmann, Hodapp, & Grebe, 2004) chez des chanteurs de chorale de tous âges, alors qu'une réduction des taux salivaires de cortisol (une hormone associée au stress émotionnel) est observée lors de séances de chant choral (Beck et al., 2000). D'autres auteurs ont également observé que le chant a

⁷ La tonalité est le langage musical utilisé en occident qui se définit comme une gamme de sept notes et leur mode (mineur ou majeur). Par exemple, un « do majeur » est une tonalité (Abromont & Montalembert, 2001).

des effets positifs supérieurs à d'autres activités sociales lorsqu'évalués avec des questionnaires autorapportés de qualité de vie (Lord et al., 2012).

L'entraînement vocal en situation de chant entraîne également des changements dans le système respiratoire (Mendes, Brown, Sapienza, & Rothman, 2006). En particulier, l'entraînement vocal provoque une augmentation de l'inspiration et du flux d'air, et une tension laryngée réduite contribuant à une hausse marquée de l'amplitude de la voix chez les chanteurs assidus (McHenry, Evans, & Powitzky, 2016). Il est entre autres utilisé avec succès en combinaison avec des thérapies traditionnelles pour améliorer les conditions de vies des patients atteints d'obstruction pulmonaire chronique (Canga, Azoulay, Raskin, & Loewy, 2015; Lord et al., 2012).

En plus des effets physiologiques, l'exercice du chant entraîne également des changements acoustiques. Des études démontrent que la voix des chanteurs diffère de celles des non-chanteurs, notamment en terme de l'amplitude maximale atteinte à différentes fréquences (Awan, 1991; Hunter, Svec, & Titze, 2006; Wolf, Stanley, & Sette, 1935). L'exercice du chant est également associé à une plus grande stabilité de la voix (Awan & Ensslen, 2010), une étendue phonatoire plus importante (Awan, 1991; Awan & Ensslen, 2010; Maruthy & Ravibabu, 2015; Mendes, Rothman, Sapienza, & Brown, 2003), et un temps maximal de phonation plus grand (Maruthy & Ravibabu, 2015; Tay et al., 2012). De plus, il a été démontré que l'apprentissage du chant a un effet positif et quantifiable sur le contrôle de la voix des enfants et des adolescents (Barlow & Howard, 2005; Fuchs et al., 2009). Quelques auteurs ont examiné l'effet du vieillissement sur la voix des chanteurs et ont observé que la voix des chanteurs d'âge moyen (de 40 à 55 ans) et âgés (de 65 à 85 ans), lorsqu'on la compare à la voix de non-chanteurs du même âge, est plus stable et d'une plus grande amplitude (Brown et al., 1993; Prakup, 2012). De plus, alors que la fréquence fondamentale des non-chanteurs lors d'une tâche de lecture d'un texte standardisé tend à diminuer avec l'âge, quelques études démontrent qu'au contraire, celle des chanteurs d'âge moyen (de 40 à 55 ans) et ceux âgés de 60 ans et plus ne diminue pas (Brown et al., 1993; Brown, Morris, Hollien, & Howell, 1991; Brown, Morris, & Michel, 1990).

Différents exercices vocaux fréquemment utilisés par les chanteurs, tels que le programme d'exercice connu sous le nom de « vocal function exercise (VFE) », démontrent également des effets intéressants sur la voix. Les VFE sont constitués d'exercices légers de l'appareil vocal qui sont réalisés à deux reprises quotidiennement, dont des trilles (vibrations volontaires de la langue et des lèvres), des voyelles soutenues, et des glissements de sons graves à sons aigus (Stemple, 1993). Des auteurs ont observé une amélioration du temps maximal de phonation ainsi que des valeurs de jitter, de shimmer et d'HNR grâce aux VFE chez un groupe de chanteurs de chorale âgés (Tay et al., 2012). Les exercices vocaux tels que les VFE sont souvent utilisés dans les milieux cliniques ainsi que par des chanteurs professionnels afin de renforcer les muscles du

larynx et de faciliter la vibration efficiente des plis vocaux. Les VFE ont également augmenté l'étendue de phonation chez des enseignants (Pizolato et al., 2013) et amélioré le bruit et les mesures aérodynamiques chez de jeunes chanteurs (Wrycza Sabol, Lee, & Stemple, 1995).

Les chanteurs apprennent également à modifier la configuration de leur appareil vocal afin de produire différentes hauteurs et tonalités vocales (Echternach, Traser, & Richter, 2014; Kochis-Jennings, Finnegan, Hoffman, & Jaiswal, 2012). Une tendance à produire des configurations articulatoires uniques a été observée chez les chanteurs (par exemple, un élargissement des lèvres et du pharynx, une ouverture de la mâchoire, et une élévation de la partie dorsale de la langue) (Echternach et al., 2010, 2014). De plus, certains échauffements précis sont reconnus pour influencer les mesures aérodynamiques et électroglottographiques des chanteurs, dont les trilles (vibrations volontaires) des lèvres et le fredonnement (Dargin, Searl, & City, 2015). En somme, l'exercice du chant semble permettre d'améliorer le contrôle respiratoire, la phonation et les mécanismes de résonance afin d'obtenir une vibration stable et sans effort des plis vocaux (Echternach et al., 2010, 2014; Kochis-Jennings et al., 2012; Pizolato et al., 2013).

De nombreuses études rapportent que certaines habitudes de vie, telles que l'activité physique quotidienne et l'entraînement cognitif, peuvent contribuer à atténuer l'impact négatif de l'âge sur le corps, les fonctions cognitives et le fonctionnement cérébral (Bherer, 2015; Bherer, Erickson, & Liu-Ambrose, 2013; Langlois et al., 2013). Puisque le chant semble avoir de nombreux effets positifs sur la voix, il serait important de vérifier si l'exercice du chant peut modérer (et donc possiblement réduire) l'effet du vieillissement sur les propriétés acoustiques de la voix, au même titre que d'autres habitudes de vie bénéfiques. À ce jour, l'effet de l'exercice du chant sur la production de la voix dans le vieillissement est très peu étudié et son potentiel thérapeutique demeure méconnu.

2.5.2. Le tabagisme

Le tabagisme est une dépendance fréquente, comme en témoigne sa prévalence de 18.1 % au Canada et de 19.6 % dans la province de Québec en 2014 (Statistiques Canada, 2014). Partout, les hommes fument plus que les femmes (Statistiques Canada, 2014). Outre ses nombreux effets connus qui dépassent l'objectif de ce texte, le tabagisme a un impact important sur la physiologie du larynx et conséquemment sur les propriétés acoustiques de la voix. Nous avons précédemment démontré à la section 2.4. de ce chapitre que le vieillissement a également de nombreux effets négatifs sur les propriétés acoustiques de la voix. Bien que le vieillissement et le tabagisme soient tous deux reconnus comme des causes principales de dégradation de la voix, l'effet du tabagisme dans le vieillissement est peu étudié et demeure méconnu à ce jour.

Depuis plus d'un demi-siècle, de nombreuses études ont exploré l'effet délétère du tabagisme sur les structures et le fonctionnement du larynx. Plusieurs effets biologiques sont documentés, tels que les changements histologiques des plis vocaux incluant l'œdème interstitiel léger à chronique (c'est-à-dire une enflure généralisée des plis en réaction à la lésion), l'érythème (c'est-à-dire une rougeur causée par la dilatation des capillaires résultant de l'inflammation) et une couleur laryngale anormale (Auerbach, Hammond, & Garfinkel, 1970; Hirabayashi et al., 1990). L'épithélium et la couche profonde de la lamina propria des plis vocaux (**Figure 10**) sont également plus épais chez les fumeurs que chez les non-fumeurs ou les ex-fumeurs (Auerbach et al., 1970; Hirabayashi et al., 1990). De plus, l'irritation causée par la cigarette entraîne de la vasodilatation et de l'hyperémie (c'est-à-dire un excès de flux sanguin) qui peuvent, à leur tour, précipiter une hémorragie des sous-muqueuses et une invasion par des fibroblastes qui vont éventuellement épaissir et déformer la structure laryngée, prédisposant ces tissus délicats à des lésions, une kératinisation ou une nécrose (Ryan, McDonald, & Devine, 1955).

Le tabagisme a été particulièrement associé à l'œdème de Reinke, un trouble dans lequel une accumulation de fluides dans la première couche de lamina propria, formant ainsi un espace connu sous le nom d'espace de Reinke, a pour conséquence de gonfler exagérément les plis vocaux et de les rendre œdématueux (Jovanovic et al., 2007; Marcotullio, Magliulo, & Pezone, 2002; Tillmann, Rudert, Schunke, & Werner, 1995). La sévérité de l'œdème de Reinke est directement associée au nombre de cigarettes consommées quotidiennement ainsi qu'à la durée du tabagisme (Marcotullio et al., 2002). De plus, le tabagisme est associé à une incidence plus élevée des cancers de la gorge et du cou (Bosetti et al., 2008; Franceschi et al., 1990; Hashibe et al., 2009; Hirabayashi et al., 1990; Lee et al., 2008; Parkin, Boyd, & Walker, 2011). Les signes visibles communs du tabagisme incluent une irritation de la gorge, des laryngites chroniques, une toux récurrente et un raclement de la gorge à répétition (Alaswad, Toubas, & Grunow, 1996; Pinto, Crespo, & Mourão, 2014), tous pouvant avoir un effet sur la qualité et la clarté de la voix.

Les effets physiologiques du tabagisme énumérés ci-dessus occasionnent de nombreux changements acoustiques chez l'adulte fumeur. Des altérations de la fréquence fondamentale dues au tabagisme sont observées dans la plupart des études sur le sujet (Gilbert & Weismer, 1974; Gonzalez & Carpi, 2004; Guimarães & Abberton, 2005; Pinto et al., 2014; Sorensen & Horii, 1982; Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004; Vincent & Gilbert, 2012). Lors de la phonation soutenue, des études observent des fréquences fondamentales significativement plus faibles chez de jeunes femmes fumeuses que non-fumeuses (Gonzalez & Carpi, 2004; Vincent & Gilbert, 2012) et chez des hommes fumeurs plus âgés comparativement à des hommes non-fumeurs plus âgés (Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004). D'autres études observent, sans que les résultats soient significatifs, que les adultes fumeurs ont une fréquence fondamentale moyenne plus faible que les adultes non-fumeurs autant chez les hommes que chez les femmes (Guimarães & Abberton, 2005; Sorensen

& Horii, 1982) ou chez les hommes uniquement (Gonzalez & Carpi, 2004; Pinto et al., 2014). De plus, des études observent une fréquence fondamentale plus faible lors d'un discours continu chez de jeunes femmes fumeuses que non-fumeuses (Gilbert & Weismer, 1974) et d'hommes fumeurs de moins de 50 ans que des hommes non-fumeurs du même âge (Sorensen & Horii, 1982).

Certaines études observent des valeurs élevées de jitter chez les fumeurs comparés aux non-fumeurs parmi de jeunes femmes (Vincent & Gilbert, 2012), de jeunes adultes et particulièrement de jeunes hommes (Gonzalez & Carpi, 2004), ainsi que des femmes et des hommes d'âge moyen (Guimarães & Abberton, 2005; Pinto et al., 2014). Des valeurs plus élevées de shimmer ont également été observées chez de jeunes femmes fumeuses (âge moyen : 28 ans, étendue d'âge : 19 à 48 ans) (Vincent & Gilbert, 2012) et des hommes et des femmes fumeurs d'âge moyen comparés à des adultes non-fumeurs d'âge équivalent (âge moyen : 48 ans, étendue d'âge : 35 à 60 ans) (Pinto et al., 2014). Cependant, certains auteurs n'ont pas observé de différence significative sur les valeurs de shimmer entre des adultes fumeurs et non-fumeurs beaucoup plus jeunes (âge moyen : 22 ans, étendue d'âge : 20 à 29 ans) (Gonzalez & Carpi, 2004). Finalement, bien qu'une étude ait mis en évidence des valeurs d'HNR plus faibles chez les adultes d'âge moyen fumeurs que chez les non-fumeurs du même âge (Pinto et al., 2014), d'autres auteurs n'ont pas observé de différence entre des adultes fumeurs et non-fumeurs plus jeunes (Gonzalez & Carpi, 2004; Vincent & Gilbert, 2012). Ainsi, bien que le tabagisme ait de sérieux effets délétères sur la voix, de nombreuses questions demeurent ouvertes.

Tel que mentionné précédemment ainsi qu'à la section 2.4. de ce chapitre, le vieillissement normal modifie également la stabilité et l'amplitude de la voix d'une façon différente selon le sexe (Dehqan et al., 2012; Goy et al., 2013; Lortie, Thibeault, Guitton, & Tremblay, 2015). Toutefois, même si l'effet du vieillissement sur la voix a été étudié auparavant, et que des différences entre les fumeurs et les non-fumeurs ont été observées de façon constante dans les études précédentes, l'interaction entre l'âge et le tabagisme sur la production de la voix demeure inconnue. En effet, les études visant à examiner les effets du tabagisme sur la production de la voix ont recruté de jeunes adultes de moins de 30 ans (Awan, 2011; Gonzalez & Carpi, 2004) jusqu'à des adultes d'âge moyen de moins de 60 ans (Gilbert & Weismer, 1974; Pinto et al., 2014; Sorensen & Horii, 1982; Vincent & Gilbert, 2012). À notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée chez des femmes plus âgées et un seul groupe d'auteurs a examiné jusqu'à ce jour les effets du tabagisme sur la production de la voix d'adultes âgés de plus de 60 ans chez un échantillon composé de 11 participants, dont cinq adultes fumeurs (Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004). La seule différence significative entre les groupes d'hommes âgés fumeurs et non-fumeurs démontrait une fréquence fondamentale de parole plus faible chez les fumeurs. Finalement, plusieurs études sur le sujet se sont concentrées sur une tâche de phonation d'une voyelle soutenue (Awan, 2011; Gonzalez & Carpi, 2004; Pinto et al., 2014; Vincent & Gilbert, 2012), et peu d'auteurs

ont inclus une mesure plus écologique telle que du discours spontané dans leurs études (Gilbert & Weismier, 1974; Guimarães & Abberton, 2005; Sorensen & Horii, 1982) afin de bien caractériser les impacts sur la voix.

Le degré et la durée du tabagisme pourraient également influencer les mesures acoustiques de la voix. Cependant, très peu d'auteurs ont examiné les relations entre ces facteurs liés au tabagisme et la production de la voix. Une de ces études a révélé des valeurs de jitter plus élevées chez un sous-groupe de fumeurs sévères (consommation moyenne de 21 cigarettes par jour) comparé à des fumeurs modérés (consommation moyenne de 7.4 cigarettes par jour) (Guimarães & Abberton, 2005). Une autre étude a aussi démontré que de jeunes femmes fumant plus de dix cigarettes par jour avaient une fréquence fondamentale minimum, maximum et moyenne plus faible que des jeunes femmes fumant moins de dix cigarettes par jour (Gonzalez & Carpi, 2004). Vincent et Gilbert (2012) ont également observé que des femmes ayant fumé pendant au moins dix ans avaient une fréquence fondamentale plus faible et des valeurs de shimmer plus élevées que des femmes ayant fumé moins de dix ans, démontrant un effet intéressant de la durée du tabagisme sur les propriétés acoustiques de la voix. Toutefois, lors d'une étude récente, l'auteur n'a pas observé de relations significatives entre les mesures acoustiques des voix de jeunes femmes (c'est-à-dire le jitter, la fréquence fondamentale maximale, l'amplitude minimale et le temps maximal de phonation) et le nombre de cigarettes par jour ou la durée du tabagisme (Awan, 2011). Par contre, Awan (2011) a examiné les voix de très jeunes femmes (âge moyen : 21 ans, étendue : 18 à 24 ans) possédant un court historique de tabagisme (de un à sept ans), alors que Vincent et Gilbert (2012) ont observé un effet du tabagisme chez des femmes fumant la cigarette depuis plus longtemps, c'est-à-dire entre dix et 25 ans (moyenne de 17 ans). En somme, l'influence de ces facteurs dans le vieillissement demeure largement méconnue.

En plus du degré et de la durée du tabagisme, le sexe du locuteur pourrait également influencer l'effet du tabagisme sur les propriétés acoustiques de la voix. En effet, dans la plupart des études détaillées ci-dessus, les effets du tabagisme et du vieillissement sur la voix des hommes et des femmes étaient dissemblables. De surcroit, la ménopause est reconnue pour être associée avec divers changements vocaux incluant une augmentation de l'inconfort vocal (Schneider et al., 2004) et une fréquence fondamentale réduite lors de discours spontané (D'haeseleer et al., 2011) (pour une revue complète, voir D'Haeseleer (2009)).

Comme discuté dans la section 2.3. de ce chapitre, les humains peuvent moduler l'amplitude et la fréquence de la voix selon le contexte (par exemple, en augmentant l'amplitude de la voix dans un environnement bruyant) ou pour différencier une question d'un commentaire, etc. (pour une revue sur la prosodie, voir Cutler, Dahan, & van Donselaar [1997]). Toutefois, l'effet du tabagisme sur la capacité fonctionnelle à contrôler l'amplitude et de la fréquence de la voix, et sur les propriétés acoustiques de la voix à différentes amplitudes et fréquences, est grandement méconnu. Cet effet n'est mesuré qu'indirectement dans une étude qui a

administré le « Dysphonia Severity Index » (DSI) à de jeunes femmes fumeuses et non-fumeuses (Awan, 2011). Le DSI évalue la sévérité de la dysphonie en utilisant une combinaison de mesures de la voix extraites lors de performances maximales, incluant la fréquence maximale et l'amplitude minimale, le jitter et le temps maximal de phonation (Wuyts et al., 2000). Les auteurs ont observé des différences significatives entre les groupes, les femmes fumeuses ayant des performances sous-optimales. En effet, les femmes fumeuses avaient une amplitude minimale plus élevée et une fréquence fondamentale maximale plus faible que les non-fumeuses et donc possiblement un contrôle vocal amoindri (Awan, 2011). Il est donc envisageable que la capacité fonctionnelle à contrôler l'amplitude et la fréquence de la voix diffère entre les fumeurs et les non-fumeurs, mais des études additionnelles incluant des hommes et des femmes de tous âges sont nécessaires pour confirmer ces résultats. En somme, de nombreux facteurs pourraient modifier l'effet du tabagisme sur la production de la voix, incluant l'âge et le sexe du locuteur ainsi que le degré et la durée du tabagisme. Leurs effets spécifiques et combinés nécessitent une étude approfondie.

2.6. Synthèse

Nous avons montré dans ce chapitre que le vieillissement affecte de façon importante les propriétés acoustiques de la voix, et qu'il pourrait également influencer le contrôle fonctionnel de la fréquence et de l'amplitude de la voix ainsi que les propriétés acoustiques de la voix à différentes amplitudes et fréquences, bien que les données sur ce point soient insuffisantes. De plus, les études montrent que certaines habitudes de vie, telles que l'exercice du chant et le tabagisme, peuvent également influencer la phonation de façon considérable. Toutefois, l'effet de ces habitudes dans le vieillissement est peu étudié. Ainsi, l'interaction entre le vieillissement et l'exercice du chant tout comme l'interaction entre le vieillissement et le tabagisme sur la production de la voix sont méconnues. Puisque les changements qui affectent le système phonatoire pourraient avoir un impact sur la qualité et l'efficacité de la communication et ainsi potentiellement nuire à la qualité de vie des aînés, il est important de définir ces changements et de comprendre leurs impacts, positifs ou négatifs, sur la phonation au cours du vieillissement normal.

3 Évaluation subjective de la voix

Nous avons montré au chapitre précédent que le vieillissement affecte de façon importante les propriétés acoustiques de la voix, telles que mesurées objectivement en laboratoire. De plus, les études montrent que certaines habitudes de vie, telles que l'exercice du chant et le tabagisme, pourraient également influencer la phonation de façon considérable et interagir avec les effets du vieillissement. Dans ce troisième chapitre, nous nous intéressons maintenant à l'évaluation subjective de la voix et aux effets du vieillissement sur l'évaluation de la voix. Puisque l'évaluation de la voix nécessite un traitement auditif, le système auditif est d'abord présenté, puis nous discutons des mécanismes impliqués dans le traitement de la voix. Les deux composantes principales de l'évaluation subjective de la voix sont présentées, l'évaluation *auditive-perceptuelle* et l'évaluation *psychosociale* de la voix. Nous abordons ensuite les principaux facteurs pouvant influencer l'évaluation subjective de la voix, et finalement un survol des connaissances sur l'autoévaluation de la voix est effectué.

3.1. L'audition

Le signal vocal est traité par le système auditif comme tout signal acoustique. D'abord, les ondes acoustiques transmises dans l'air sont captées par le pavillon de l'oreille externe, qui les dirige vers le conduit auditif externe (**Figure 11**) (Bateman & Mason, 1984; Berger-Vachon, 2004; Seikel et al., 2010). Le conduit auditif externe, long de 25 millimètres environ chez l'adulte, se termine au tympan. Ces deux structures ont une fonction de transfert, c'est-à-dire qu'elles renforcent par résonance les fréquences de certains sons incluant ceux de la voix humaine. Le tympan, membrane délimitant l'oreille externe de l'oreille moyenne, entre alors en vibration. Ces vibrations sont transmises à l'oreille moyenne, c'est-à-dire à la chaîne des osselets (marteau, enclume et étrier). Ensemble, la chaîne ossiculo-tympanique permet de transférer les ondes de pression d'un milieu aérien à un milieu liquide (l'oreille interne) en jouant le rôle d'un adaptateur d'impédance, c'est-à-dire en augmentant la pression du signal qui arrive à la partie interne de l'oreille humaine, la cochlée, par l'étrier qui s'appuie sur la fenêtre ovale. L'onde de pression déplace la membrane basilaire de la cochlée jusqu'à un lieu qui dépend de la fréquence du son. En effet, à partir de la base de la cochlée, l'onde gagne en amplitude au fur et à mesure qu'elle se propage. L'amplitude maximale de l'onde est à la base de la cochlée pour les fréquences aiguës et à l'apex pour les fréquences graves. C'est ce qu'on appelle la tonotopie passive selon le modèle d'onde propagée (von Békésy, 1956). Le mécanisme actif des cellules ciliées externes de l'organe de Corti permet ensuite la discrimination fréquentielle précise du signal acoustique par la cochlée (Johnstone & Boyle, 1967; Johnstone, Patuzzi, & Yates, 1986). La réponse de l'oreille interne entraîne la transmission d'un influx nerveux du nerf auditif jusqu'aux aires cérébrales par les voies auditives primaires (noyaux cochléaires,

complexe olivaire supérieur, colliculus supérieur, corps genouillé médian du thalamus et cortex auditif) (Bateman & Mason, 1984; Berger-Vachon, 2004; Seikel et al., 2010).

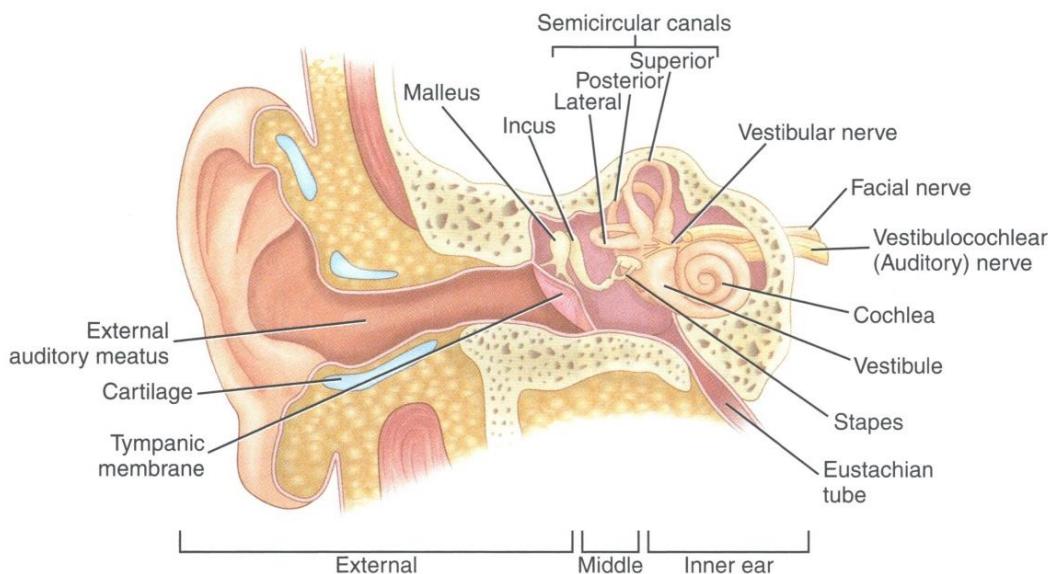


Figure 11. Schéma d'une section frontale révélant les structures de l'oreille externe, moyenne et interne. Image de Seikel/King/Drumright, extraite d'« Anatomy & Physiology for Speech, Language, and Hearing, 4E ». © 2010 Delmar Learning, une partie de Cengage Learning, Inc. Reproduite avec permission. www.cengage.com/permissions

L'oreille parvient à détecter une diversité impressionnante de sons, du faible murmure des feuilles (zéro dB SPL) au vacarme tonitruant de la sirène de pompier (123 dB SPL à trois mètres), et de sons à très basse fréquence (20 Hz) jusqu'à des sons à très haute fréquence comme le chant d'une sauterelle (20 kHz) (Figure 12) (Michelsen & Elsner, 1999; Seikel et al., 2010). L'oreille humaine est également très sensible aux variations dans le temps; elle peut détecter un changement de 10 % de fréquence entre deux cycles d'un son pur, ce qui la rend extrêmement performante (von Békésy, 1970).

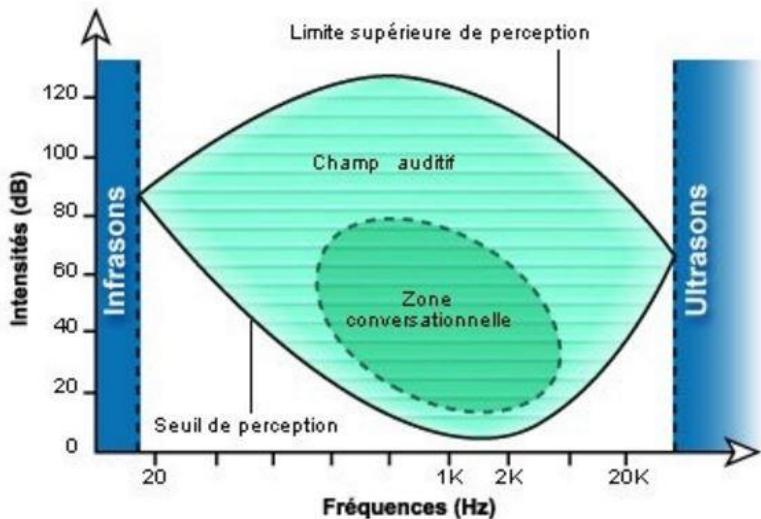


Figure 12. Courbe audiométrique de l'oreille humaine. La courbe inférieure représente la courbe des seuils de perception de l'oreille humaine en parfait état. Pour chaque fréquence, le seuil de perception est différent : les fréquences les mieux perçues (la courbe avoisine le 0 dB SPL) se situent dans la gamme moyenne entre 1 et 3 kHz. La courbe supérieure représente la limite des intensités perceptibles : au-delà, il y a douleur ou destruction cellulaire dans l'oreille. La zone conversationnelle définit les sons utilisés pour la communication par la voix humaine. Image par S. Blatrix, extraite de « Promenade autour de la cochlée » <http://www.neurooreille.com/promenade>, par R. Pujol et coll., NeurOreille © 1999/2007, Montpellier. Reproduite avec permission.

3.1.1. L'audition dans le vieillissement

Puisque nous nous intéressons à l'effet du vieillissement sur l'évaluation subjective de la voix, il est important de considérer le fait que les capacités auditives varient au cours du vieillissement. Précisément, le vieillissement s'accompagne d'une détérioration des capacités auditives, appelée *presbyacusie* (Gates & Mills, 2005; Hinchcliffe, 1962; Schuknecht & Gacek, 1993). La presbyacusie est un processus multifactoriel qui varie en sévérité d'une personne à l'autre, et qui se caractérise par une perte auditive particulièrement marquée dans les hautes fréquences (Allen & Eddins, 2010; Blanchet et al., 2008; Stenkle & Laukli, 2004). La presbyacusie, qu'elle soit périphérique ou centrale, affecte la perception de la voix dans les deux cas (Mazelova, Popelar, & Syka, 2003). En effet, la presbyacusie périphérique se manifeste par une sensibilité réduite des sons purs dans le spectre de la parole qui contribue à éléver le seuil d'intelligibilité vocale et à réduire la perception de la voix dans le bruit (Frisina & Frisina, 1997; Ohlemiller, 2004). Par contre, des aînés démontrent des difficultés de perception de la voix dans le bruit même lorsque leurs capacités auditives périphériques ne sont pas affectées, phénomène connu sous le nom de presbyacusie centrale (Frisina & Frisina, 1997; Welsh et al., 1985). Le tronc cérébral ou le cortex auditif pourraient être responsables de cette perte progressive de performance auditive. Somme toute, la diminution des capacités auditives d'un évaluateur pourrait influencer les résultats de son évaluation de différentes voix (Ryan, Giles, Bartolucci, &

Henwood, 1986). L'étude des effets du vieillissement sur l'évaluation de la voix, un des thèmes centraux de cette thèse, requiert donc un examen complet des capacités auditives des évaluateurs.

3.2. Évaluation subjective de la voix

Dans le Chapitre 2, nous avons discuté de différentes méthodes d'évaluation des propriétés acoustiques de la voix. Cependant, la voix ne se définit pas uniquement en termes acoustiques. En effet, il est également possible d'évaluer la voix de façon subjective selon des critères standardisés ou personnels sur différents plans, par exemple si la voix semble saine ou pathologique, belle ou désagréable, etc. L'étude de l'évaluation subjective de la voix, tout comme son étude objective décrite au chapitre précédent, a une longue tradition. Au 19^e siècle déjà, Austin distingue les propriétés qualitatives de la voix, qu'elles soient positives (claire, douce, uniforme, variée, flexible) ou négatives (indistincte, rugueuse, brisée, monotone et rigide), des caractéristiques quantitatives de la voix (le volume, la durabilité, la faiblesse) (Austin, 1806). L'étude de l'évaluation subjective de la voix gagne en popularité lorsque, au milieu du 20^e siècle, des chercheurs observent une association entre l'évaluation subjective de la voix, plus particulièrement l'enroulement⁸ perçu de la voix, et divers troubles laryngés (Flanagan, 1958; Isshiki & von Leden, 1964). Diverses méthodes et divers outils sont développés par la suite pour répondre à l'intérêt grandissant porté à l'évaluation subjective de la voix (Kreiman & Gerratt, 2010; Kreiman, Gerratt, Kempster, Erman, & Berke, 1993).

Il est important de noter que l'évaluation de la voix, un des thèmes centraux de cette thèse, se distingue de l'évaluation et de la perception de la parole, qui vise à établir la capacité à identifier, discriminer et manipuler les phonèmes et syllabes du langage. Au contraire, l'évaluation de la voix ne porte pas sur les phonèmes ou les mots produits, mais sur la voix elle-même.

L'étude de l'évaluation subjective de la voix prend généralement deux formes, l'évaluation auditive-perceptuelle classique (c'est-à-dire l'évaluation de la qualité de la voix) et l'évaluation psychosociale de la voix (c'est-à-dire l'attribution de traits et de caractéristiques sociales à partir de la voix). Dans les sections suivantes, ces deux types d'évaluations sont présentés ainsi que les termes techniques, les outils et les protocoles fréquemment utilisés.

3.2.1. Évaluation auditive-perceptuelle de la voix

L'évaluation auditive-perceptuelle implique qu'un évaluateur écoute une voix puis évalue cette voix sur différentes échelles perceptives, dont les thèmes centraux (enroulement, bruit, etc.) ont peu changé depuis le

⁸ L'enroulement est une altération de la voix qui se traduit par un timbre sourd, rauque ou éraillé.

19^e siècle (Kreiman & Gerratt, 2010). Cette approche est facile à appliquer et à comprendre, et est reconnue mondialement pour mesurer la qualité perçue de la voix (Nemr et al., 2012). En contexte expérimental, il n'existe toutefois pas de directives claires quant aux conditions d'écoute recommandées pour l'évaluation auditive-perceptuelle de la voix. Afin de réduire les distractions, il peut être avantageux de réduire au minimum le bruit ambiant en procédant dans une salle calme ou insonorisée (Kreiman et al., 1993). L'intensité du volume peut également être ajustée à chaque participant (Kreiman et al., 1993; Zraick et al., 2011), puisque, contrairement aux tests d'audition qui évaluent la capacité à détecter des sons, il s'agit ici d'évaluer la qualité de la voix et non l'intensité nécessaire pour que celle-ci soit perçue.

Avant d'aborder les différents outils d'évaluation de la voix, certains attributs perceptuels vocaux doivent être définis puisqu'ils sont au cœur de l'évaluation auditive-perceptuelle de la voix et utilisés dans la majorité des outils d'évaluation reconnus. La raucité (« roughness ») réfère à l'irrégularité de la source vocale et à une voix grinçante (Omori, 2011) alors que la turbulence (« breathiness »), ou le souffle, renvoie à une fuite d'air audible dans la voix (ASHA, 2006). Une voix asthénique (« asthenicity ») équivaut à une voix faible, fragile ou fluette (Omori, 2011), et la tension (« strain ») signifie que la gorge est serrée par une tension musculaire excessive et est associée à une hyperfonction laryngée (ASHA, 2006; Omori, 2011). L'enrouement (« hoarseness ») correspond à tous ces attributs et est considéré comme le concept central de la qualité de la voix (Hirano, 1981).

Les approches pour évaluer la qualité perçue de la voix ont grandement évolué, de méthodes descriptives à des systèmes de codage précis (Karnell et al., 2007). Cependant, les deux tests les plus utilisés pour l'évaluation auditive-perceptuelle de la voix (le GRBAS et le CAPE-V) ont été conçus à des fins cliniques. En conséquence, l'évaluation perceptuelle de la voix normale a reçu très peu d'attention, l'évaluation perceptuelle de la voix vieillissante encore moins, et aucun outil de recherche standardisé n'existe. En contexte expérimental, ces outils sont donc tout de même utilisés malgré le fait que leur sensibilité pour l'étude de la voix normale ne soit pas démontrée.

L'échelle GRBAS a été créée par la société japonaise de Logopédie et de Phoniatrie et publicisée en anglais par Hirano en 1981 (Hirano, 1981). Depuis, cette mesure est largement utilisée pour évaluer l'enrouement et les troubles de qualité vocale (Carding, Wilson, MacKenzie, & Deary, 2009; Omori, 2011). Chaque paramètre de l'échelle GRBAS représente une dimension de la phonation : le G (« grade ») équivaut au degré général d'anormalité de la voix, le R représente la raucité, le B (« breathiness ») représente la turbulence, le A est pour l'asthénie et le S représente la tension (« strain »). Les paramètres sont évalués sur une échelle de type Likert à 4 points, de 0 (normal) à 3 (extrême). Le GRBAS a quelques inconvénients. En effet, il n'y a pas de protocole d'administration standardisé ni de lignes directrices pour son interprétation, et son échelle ordinaire

ne permet pas de faire d'analyses paramétriques (Zraick et al., 2011). En conséquence, l'expertise des juges et le type d'échantillon vocal utilisé influencent grandement le résultat de l'évaluation (Kreiman, Gerratt, & Ito, 2007; Kreiman et al., 1993). La cotation de l'asthénie et de la tension se sont également révélées problématiques dans la littérature, démontrant des coefficients de fidélité intra- et inter-juge habituellement faibles (intra : $r=0.28$ [asthénie]; inter : $r=0.17$ [tension]) (De Bodt, Wuyts, Van De Heyning, & Croux, 1997). La fiabilité du GRBAS est donc parfois remise en question (Kempster, Gerratt, Abbott, Barkmeier-Kraemer, & Hillman, 2009).

Le Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V) est un outil développé lors d'une assemblée d'experts des troubles de la voix et de la perception humaine organisée par l'American Association for Speech, Language and Hearing (ASHA) et tenue en 2002. Les experts avaient pour objectif de développer des directives claires pour l'évaluation auditive-perceptuelle de la qualité de la voix basée sur des données probantes (ASHA, 2006). Le CAPE-V inclut une variété de tâches vocales (voyelle soutenue, lecture de phrases et conversation spontanée) selon un protocole détaillé pour évaluer la qualité de la voix. L'évaluation de six paramètres de la voix (sévérité globale, raucité, turbulence, tension, hauteur, intensité) s'effectue sur des échelles continues visuelles analogues de 100 millimètres, sur lesquelles l'évaluateur place un trait équivalent à la sévérité perçue (ASHA, 2006). En mesurant précisément la distance entre le zéro de l'échelle et le trait pour chaque paramètre, il est possible d'extraire des données continues entre zéro et 100. Ces données peuvent ensuite être utilisées facilement dans une analyse statistique, ce qui lui confère un net avantage sur le GRBAS (Zraick et al., 2011). Des études ont mis en évidence une grande correspondance entre le GRBAS et le CAPE-V, et en ont déduit que ce nouvel outil avait une bonne validité empirique (Karnell et al., 2007; Zraick et al., 2011). De plus, le CAPE-V obtient des accords intra- et inter-juge satisfaisants (intra : $r=0.35$ à 0.82; inter : $r=0.28$ à 0.76) et même légèrement supérieurs à ceux du GRBAS (Zraick et al., 2011).

3.2.2. Lien entre l'évaluation objective et subjective de la voix

Le lien entre les propriétés acoustiques de la voix et l'évaluation subjective de la qualité qui en est faite est complexe (Yanagihara, 1967). Des instruments ont été développés dans les dernières années afin d'établir des liens directs entre les propriétés acoustiques de la voix et sa qualité perçue, tels que le « Dysphonia Severity Index » (Wuyts et al., 2000) et l'« Acoustic Voice Quality Index » (Maryn, De Bodt, & Roy, 2010), mais sans succès. En effet, puisqu'ils ne sont pas basés sur un modèle de qualité de voix, les changements dans une mesure acoustique ne sont pas facilement définis en termes perceptifs, ou même perçus (Kreiman &

Gerratt, 2010). Il n'y a pas d'association claire ni de relation causale entre une augmentation de jitter, par exemple, et un changement dans l'évaluation de la qualité perçue de la voix (Kreiman & Gerratt, 2010).

Certaines études ont toutefois établi des corrélations significatives entre la stabilité de la voix mesurée par les indices de jitter, de shimmer et HNR et les degrés de turbulence et d'enroulement évalués grâce à l'échelle GRBAS (Dejonckere et al., 1996; Eskenazi et al., 1990; Wolfe & Martin, 1997). La raucité et la tension sont également significativement corrélées au degré d'énergie des harmoniques et à l'HNR (Whitehead & Whitehead, 1985; Yanagihara, 1967). L'écart-type de la f0 semble être un bon indicateur du tremblement perçu dans la voix, bien qu'il y ait une interaction entre le rythme, la régularité et l'amplitude du tremblement de façon à ce que l'influence perceptuelle d'une dimension soit dépendante de la valeur des autres dimensions (Kreiman, Gabelman, & Gerratt, 2003). Finalement, le taux de bruit présent dans la voix est associé à l'enroulement de la voix (Yanagihara, 1967; Yumoto et al., 1982, 1984). Des auteurs ont également démontré que les propriétés acoustiques de la voix associées à des dimensions perceptuelles par des évaluateurs experts et naïfs étaient différentes pour des voix normales que des voix pathologiques (Kreiman, Gerratt, Precoda, & Berke, 1992). En somme, tous les paramètres acoustiques n'ont vraisemblablement pas la même saillance perceptive et la relation entre les propriétés acoustiques et l'évaluation perceptuelle de la voix mérite une étude approfondie.

3.2.3. Évaluation psychosociale de la voix

L'évaluation psychosociale est l'autre forme d'évaluation de la voix la plus étudiée. Alors que l'évaluation auditive-perceptuelle se concentre sur la qualité perçue de la voix en termes acoustiques, l'évaluation psychosociale de la voix sonde l'attribution de traits et de caractéristiques psychologiques et sociales à partir de la voix.

En plus de sa qualité perceptuelle, la voix humaine transmet en effet une multitude d'autres informations, dont les traits les plus saillants sont certainement le sexe et l'âge (Amir, Engel, Shabtai, & Amir, 2012; Ptacek & Sander, 1966; Schwartz & Chatterjee, 2012; Shipp & Hollien, 1969). De plus, entendre une voix permet de spéculer sur plusieurs autres traits du locuteur, tels que son apparence et son charme (Sandmann et al., 2014), sa féminité/masculinité (Ko, Judd, & Blair, 2006), son état émotionnel (Scherer, 1995) et sa sociabilité (Aronovitch, 1976; Benjamin, 1986; Markel, Phllis, Vargas, & Howard, 1972; McAleer, Todorov, & Belin, 2014; Mulac & Giles, 1996; Ryan & Capadano, 1978; Ryan & Johnston, 1987; Zuckerman & Driver, 1989). L'évaluation psychosociale de la voix pourrait jouer un rôle important dans la sélection du comportement à adopter, prosocial ou non, et ainsi influencer les relations interpersonnelles (Ambady, Krabbenhoft, & Hogan, 2006; Lallh & Rochet, 2000; McAleer et al., 2014; Mulac & Giles, 1996; Plank et al., 2011; Zuckerman &

Driver, 1989). Il est possible, en effet, que l'évaluateur souhaite moins interagir avec un locuteur s'il lui attribue des traits négatifs. Dans ce cas, l'attribution de traits psychosociaux négatifs basés sur la l'évaluation vocale pourrait avoir des conséquences sociales particulièrement importantes pour les personnes âgées (Mulac & Giles, 1996; Zuckerman & Driver, 1989), puisque des études observent que les participants associent à des personnes dont la voix est perçue comme âgée des caractéristiques plus négatives sur le plan notamment de l'initiative, de l'intelligence et de la flexibilité que des personnes dont la voix est perçue comme étant plus jeune (Benjamin, 1986; Ryan & Capadano, 1978). L'association possible entre l'évaluation psychosociale d'une voix et l'intention d'interagir avec le locuteur en question demeure cependant méconnue.

L'évaluation psychosociale de la voix requiert une écoute attentive d'échantillons vocaux. Malheureusement, il n'existe pas de lignes directrices dans la littérature sur les conditions expérimentales à réunir pour ce type de tâche. Il n'y a pas non plus d'outils standards de mesure des différentes caractéristiques des locuteurs. En conséquence, il existe une grande variabilité dans les types d'échantillons vocaux et d'instruments utilisés, ainsi que dans les traits évalués. Les échantillons de voix consistent habituellement en lectures de textes (Benjamin, 1986; McAleer et al., 2014; Ryan & Johnston, 1987) ou en conversations spontanées enregistrées (Aronovitch, 1976; Mulac & Giles, 1996). Les participants écoutent les échantillons puis évaluent si le locuteur leur semble, par exemple, plus ou moins énergique, chaleureux, anxieux, actif, intelligent, introverti, etc. (Ryan & Capadano, 1978; Ryan & Johnston, 1987). L'instrument de mesure est généralement composé de plusieurs échelles de type Likert de sept à neuf points (Aronovitch, 1976; Benjamin, 1986; McAleer et al., 2014).

3.3. Facteurs pouvant influencer l'évaluation subjective de la voix

L'évaluation subjective de la voix, tant auditive-perceptuelle que psychosociale, est basée sur une comparaison avec des impressions précédentes ou d'autres voix connues de l'évaluateur (Fex, 1992; Kreiman et al., 1993). Cette évaluation peut être influencée par de nombreux facteurs associés au type d'échantillon vocal, au locuteur ou à l'évaluateur (Kreiman et al., 2007). Ces facteurs sont brièvement introduits dans les sections suivantes.

3.3.1. Influence du type d'échantillon vocal utilisé

Contrairement à l'évaluation objective de la voix, souvent réalisée à partie d'échantillons de voyelles soutenues, l'évaluation subjective repose généralement sur un extrait de voix plus long. En effet, plus l'extrait vocal est long et la prononciation naturelle, plus il y a d'indices dans la voix quant à sa qualité et aux traits psychosociaux qui peuvent y être associés (Berry, 1991; Hughes & Rhodes, 2010; McAleer et al., 2014). Ce

phénomène est encore plus vrai lors de l'évaluation psychosociale de la voix, pour laquelle le choix de l'échantillon vocal influence fortement l'attribution de traits. Ainsi, des études ont démontré des différences de compétence perçue entre des groupes évalués au moyen d'extraits vocaux tirés d'entrevues pour un emploi (Zuckerman & Driver, 1989), de directives pour se localiser dans un hôpital (Ryan & Johnston, 1987) ou de passages neutres ou standardisés (Benjamin, 1986; Ryan & Capadano, 1978). Par exemple, les locuteurs qui semblent plus vieux ou qui tiennent un discours alambiqué sont perçus moins compétents (Ryan & Capadano, 1978; Ryan & Johnston, 1987). Au contraire, dans une autre étude, les évaluateurs ont démontré des différences de traits prosociaux entre des groupes évalués au moyen d'extraits vocaux tirés de salutations brèves (McAleer et al., 2014). En occurrence, les locuteurs masculins à la voix plus aiguë et les locuteurs féminins utilisant plus d'intonation sont perçus plus sympathiques et cordiaux, alors que les mots employés sont les mêmes. Une étude a également démontré que les évaluateurs émettent des jugements plus négatifs envers des échantillons de voyelles soutenues que de discours spontanés produits par les *mêmes* locuteurs dysphoniques⁹, et que les échantillons de discours spontané sont associés des évaluations psychosociales plus exactes (Verduyckt, Remacle, & Morsomme, 2015).

3.3.3. Influence du locuteur

Les différentes caractéristiques du locuteur, telles que son âge, son sexe ainsi que ses habitudes de vies, influencent l'évaluation subjective de sa voix. Les caractéristiques du locuteur relatives à l'évaluation subjective de la voix ayant été étudiées, c'est-à-dire l'âge, le sexe, et le tabagisme, sont décrites dans les paragraphes suivants.

Comme présenté au Chapitre 2, la voix subit de nombreux changements acoustiques lors du vieillissement (Dehqan et al., 2012; Stathopoulos et al., 2011; Xue & Deliyski, 2001). Il n'est donc pas surprenant que l'évaluation auditive-perceptuelle de la voix soit influencée par l'âge du locuteur. Les études montrent que la voix âgée est associée à des évaluations élevées d'enrouement, de raucité et de turbulence (Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006; Gregory, Chandran, Lurie, & Sataloff, 2012; Kendall, 2007; Ryan & Burk, 1974). La voix des personnes âgées contient également plus de bruit et est plus tremblante et tendue que la voix de jeunes adultes, selon les évaluateurs (Benjamin, 1986; Harnsberger, Brown, Shrivastav, & Rothman, 2010; Mulac & Giles, 1996). L'âge du locuteur influencerait également l'évaluation psychosociale de la voix. En effet, quelques études démontrent que les locuteurs dont la voix semble plus âgée sont perçus comme étant plus frêles, réservés, passifs, inflexibles et inactifs que les locuteurs dont la voix semble plus jeune (Benjamin,

⁹ La dysphonie un trouble de phonation d'origine fonctionnelle ou organique. La voix dysphonique est particulièrement rauque, enrouée et turbulente (Seikel et al., 2010).

1986; Mulac & Giles, 1996; Ryan & Capadano, 1978). Peu d'auteurs ont examiné l'effet du sexe du locuteur sur l'évaluation de la voix. Ceux qui l'ont fait observent que les évaluateurs entretiennent des attitudes plus négatives envers les voix de femmes que les voix d'hommes parmi des populations dysphoniques (Amir & Levine-Yundof, 2013) ou âgées (Benjamin, 1986; Ryan & Capadano, 1978). De plus, lors d'une étude d'évaluation psychosociale, les locuteurs féminins ont été jugés plus modérés et dépendants que les locuteurs masculins, reproduisant ainsi des stéréotypes de genre (Mulac & Giles, 1996). Finalement, puisque le tabagisme a un effet important sur les propriétés acoustiques de la voix, comme mentionné au Chapitre 2 (Awan, 2011; Gonzalez & Carpi, 2004; Guimarães & Abberton, 2005; Vincent & Gilbert, 2012), il pourrait également influencer l'évaluation subjective de la voix. Des auteurs qui se sont penchés sur la question ont en effet observé que la voix des fumeurs est jugée plus tendue et plus turbulente que la voix des non-fumeurs (Dedivitis et al., 2004). Toutefois, on ne peut que spéculer sur un effet potentiel du tabagisme sur l'évaluation psychosociale de la voix, car il n'a pas été étudié jusqu'à maintenant.

3.3.3. Influence de l'évaluateur

Différentes caractéristiques de l'évaluateur peuvent également influencer les résultats de son évaluation, les caractéristiques les plus étudiées étant son âge, son sexe, et son expertise.

L'âge de l'évaluateur pourrait avoir une importance majeure sur son évaluation de la voix d'autrui (Linville, 1987). En effet, une étude a rapporté que les adultes âgés jugent plus favorablement les voix que les adultes plus jeunes, attribuant ce résultat à une possible tolérance accrue des personnes âgées envers les différences vocales (Hollien, Gelfer, & Carlson, 1991). D'autres études observent toutefois que les jeunes évaluateurs sont moins sévères que les évaluateurs plus âgés lorsqu'ils effectuent une évaluation psychosociale de voix de personnes âgées (Benjamin, 1986; Ryan & Johnston, 1987). Ces résultats contrastants suggèrent que l'évaluation de la voix pourrait être influencée par l'âge de l'évaluateur, bien que cette influence soit peu comprise jusqu'à présent. Il n'est également pas clair dans la littérature si le sexe de l'évaluateur a un effet sur son évaluation de la voix. Quelques auteurs ont observé que le sexe de l'évaluateur n'influence pas ou peu leurs évaluations vocales subjectives (Amir & Levine-Yundof, 2013; Aronovitch, 1976; Hollien et al., 1991). Cependant, les hommes et les femmes n'appuient pas leur jugement du charme et de l'attrait d'une personne sur les mêmes paramètres vocaux (Sandmann et al., 2014), et les hommes attribuent parfois des traits plus négatifs aux voix en général que les femmes (Mulac & Giles, 1996).

L'expérience et le degré d'expertise de l'évaluateur sont des facteurs importants à considérer, car ils influencent grandement le résultat de l'évaluation subjective de la voix (Eadie & Baylor, 2006; Fex, 1992). Par exemple, les évaluateurs cliniciens ne prêtent pas attention aux mêmes indices vocaux et n'utilisent pas les

mêmes critères pour juger les voix que des évaluateurs naïfs (Kreiman, Gerratt, & Precoda, 1990). Les jugements des évaluateurs cliniciens ont également tendance à varier d'une voix pathologique à l'autre davantage que les jugements des évaluateurs naïfs, reflétant possiblement une palette plus riche de critères auditifs servant à évaluer la qualité subjective des voix issue de leur contact répété avec celles-ci (Kreiman et al., 1992). En somme, l'évaluation subjective de la voix peut être influencée par de nombreux facteurs associés au type d'échantillon vocal, au locuteur et à l'évaluateur. Afin de comprendre les effets du vieillissement sur la production et l'évaluation de la voix, le thème central de cette thèse, il serait particulièrement intéressant d'étudier l'effet de l'âge du locuteur ainsi que l'effet de l'âge de l'évaluateur sur l'évaluation subjective de la voix.

3.4. Autoévaluation vocale

Dans cette thèse, nous nous intéressons également à une autre forme d'évaluation subjective de la voix qui ne requiert pas d'évaluateur externe cette fois, c'est-à-dire l'autoévaluation vocale. L'évaluation de sa propre voix réfère au jugement qu'entretient une personne sur la qualité de sa voix selon ses propres normes de référence, qu'elle construit en comparant sa voix à la voix des autres (Kreiman, Vanlancker-Sidtis, & Gerratt, 2005). L'évaluation que fait une personne de la qualité de sa voix s'est révélée particulièrement importante en milieu clinique, notamment dans le contexte des troubles de la voix. En effet, le clinicien dispose déjà d'outils pour effectuer des mesures objectives et subjectives de la voix du patient tels que ceux présentés dans le Chapitre 2 et la section 3.2.1. du présent chapitre. Toutefois, l'autoévaluation de la qualité vocale apporte une information supplémentaire puisqu'une personne peut détecter un changement dans sa voix et le rapporter à un professionnel de la santé, et également l'informer des conséquences de ce changement sur sa qualité de vie (Karnell et al., 2007). Différents outils, qui sont présentés dans la prochaine section, ont ainsi été créés pour mesurer le handicap perçu par les patients par rapport à leurs troubles de la voix ou l'effet d'un traitement médical sur leur qualité de vie liée à la voix (Eadie, Day, Sawin, Lamvik, & Doyle, 2013; McNeill, Wilson, Clark, & Deakin, 2008; Zraick et al., 2007). Cependant, l'autoévaluation de la voix normale a reçu très peu d'attention en contexte expérimental, et aucun outil de recherche standardisé n'existe.

De plus, bien que l'étude de la relation entre les paramètres acoustiques de la voix et l'évaluation subjective qui en est faite, abordée à la section 3.2.2., ait démontré que tous les paramètres acoustiques n'ont vraisemblablement pas la même saillance perceptive et que d'autres facteurs tels que l'expérience de l'évaluateur pourraient influencer cette relation, l'association possible entre les propriétés acoustiques et l'autoévaluation de la voix a été peu abordée dans les études précédentes. Il serait également intéressant d'examiner si ces relations changent au cours du vieillissement, alors que les propriétés acoustiques de la voix

sont affectées par les changements physiologiques détaillés dans le Chapitre 2 et que l'évaluation de la personne elle-même par rapport à sa voix pourrait être influencée par son expérience.

Puisque l'autoévaluation de la qualité vocale reflète un jugement personnel, il est probable que l'état émotionnel de la personne a une influence sur son évaluation de la qualité de sa voix. Par exemple, les états dépressifs peuvent modifier la façon dont les gens se perçoivent eux-mêmes à de nombreux niveaux, incluant leur estime de soi (Fox, 2000; Furegato, Santos, & Silva, 2008; Legrand, 2014; Orth & Robins, 2013; Sowislo & Orth, 2013; Watson, Suls, & Haig, 2002; Wegener et al., 2015). En outre, quelques études transversales ont révélé des corrélations négatives modérées à fortes entre l'estime de soi et l'anxiété (Lee & Hankin, 2009; Riketta, 2004; Sowislo & Orth, 2013; Watson et al., 2002). L'influence de l'état psychologique sur l'autoévaluation de la qualité vocale pourrait être particulièrement importante pour les personnes âgées puisqu'elles vivent fréquemment des états dépressifs et anxieux. En effet, alors que la prévalence de la dépression varie entre 10 % et 20 % chez les personnes âgées (Solhaug, Romuld, Romild, & Stordal, 2012; Steffens, Fisher, Langa, Potter, & Plassman, 2009; Williams et al., 2015; Wu, Schimmele, & Chappell, 2012), la prévalence de l'anxiété varie de 3 à 15% (Kessler et al., 2005; Miloyan, Byrne, & Pachana, 2015; Reynolds, Pietrzak, El-Gabalawy, Mackenzie, & Sareen, 2015; Wassertheil-Smoller et al., 2014). Bien que cela n'ait jamais été démontré jusqu'à présent, il est donc possible que les états anxieux et dépressifs influencent négativement l'autoévaluation de la qualité vocale, notamment chez les personnes âgées. Malheureusement, l'effet de l'âge sur l'autoévaluation vocale est inconnu. Le portrait de l'effet du vieillissement sur l'évaluation subjective de la voix demeure donc incomplet.

3.4.1. Outils de mesure

Parmi la variété d'outils développés afin d'évaluer l'expérience vécue par le patient et son évaluation de la qualité de sa voix, les questionnaires les plus utilisés sont le « Voice Handicap Index (VHI) » et le « Voice-Related Quality of Life (V-RQOL) ».

Le VHI est un questionnaire autorapporté de 30 questions, multidimensionnel et standardisé, créé en 1997 par Jacobson et ses collaborateurs afin d'évaluer les effets psychosociaux handicapants des troubles de la voix (Jacobson et al., 1997). La fréquence des difficultés vécues par la personne est évaluée sur trois sous-échelles, c'est-à-dire les aspects fonctionnels, physiologiques et émotionnels des troubles de la voix. Chaque question est mesurée sur une possibilité de cinq points, de zéro (Jamais) à quatre (Toujours) pour un score global entre zéro et 120 points. Il existe également une version plus courte et tout aussi valide et fiable du VHI, le VHI-10 qui, comme son nom l'indique, n'a que dix questions au lieu de 30 (Rosen, Lee, Osborne, Zullo, & Murry, 2004). Le VHI est un outil fiable et valide (Agency for Healthcare Research and Quality, 2002),

largement utilisé en clinique ainsi qu'en recherche afin de mesurer l'importance des problèmes qu'éprouvent les patients dans leur vie quotidienne, par exemple à la suite d'une chirurgie laryngée (Schindler et al., 2012; Van Gogh et al., 2007) ou afin d'évaluer les bienfaits d'une thérapie (Van Gogh et al., 2006; Van Gogh, Verdonck-de Leeuw, Langendijk, Kuik, & Mahieu, 2012). Différentes versions ont également été développées pour les besoins de groupes particuliers, par exemple le « Singing VHI » dédié à l'autoévaluation de la voix des chanteurs (Cohen et al., 2007), puis traduites dans plusieurs langues (Lamarche, Westerlund, Verduyckt, & Ternström, 2010).

Le questionnaire autorapporté Voice-Related Quality of Life (V-RQOL) a quant à lui été développé par Hogikyan et Sethuraman pour documenter les effets de la dysphonie sur le fonctionnement physique et le statut émotionnel des patients selon leur propre perspective (Hogikyan & Sethuraman, 1999). L'impact de la dysphonie sur les activités quotidiennes est évalué grâce à dix questions sur une échelle de type Likert à cinq points, d'un (Pas un problème) à cinq (Problème aussi désagréable que possible). Un algorithme est ensuite utilisé pour transformer le score brut des patients en un score global variant entre zéro et 100 points, un score plus élevé reflétant un meilleur fonctionnement. En plus du score global, le V-RQOL permet d'obtenir un score pour chacun des deux aspects représentés par un sous-ensemble de questions, c'est-à-dire le fonctionnement social émotionnel et le fonctionnement physique du patient (Karnell et al., 2007). Cet outil est fiable et valide (Cano et al., 1997; Zraick et al., 2011). Cependant, des auteurs ont observé que les scores au V-RQOL ne sont que modestement corrélés aux scores des mêmes patients à un autre outil de mesure autorapporté de la dysphonie et de ses impacts au quotidien, le Iowa Patient's Voice Index (Karnell et al., 2007). Une version du V-RQOL a été développée pour permettre aux parents d'évaluer les difficultés vécues par leurs enfants atteints de dysphonie, le « Pediatric Voice-Related Quality of Life » (Boseley, Cunningham, Volk, & Hartnick, 2006), et possède une validité externe satisfaisante (Branski et al., 2010).

3.5. Synthèse

En conclusion, nous avons montré dans ce chapitre que l'évaluation subjective de la voix offre des informations complémentaires à l'évaluation objective, c'est-à-dire acoustique, de la voix. Contrairement aux effets du vieillissement sur les propriétés acoustiques de la voix qui sont bien documentés, même si plusieurs questions demeurent, les effets du vieillissement sur l'évaluation subjective de la voix sont moins bien connus. Afin de mieux comprendre les effets du vieillissement sur l'évaluation subjective de la voix, il serait intéressant d'examiner l'effet de l'âge de l'évaluateur et de l'âge du locuteur sur l'évaluation subjective de la voix, et si ces facteurs interagissent entre eux. Des interrogations subsistent également quant à l'influence d'autres facteurs propres au locuteur (par exemple, son sexe et ses habitudes de vie) et à l'évaluateur, ainsi que leur interaction avec l'âge, sur l'évaluation de la voix.

Dans un contexte de vieillissement de la population, il est important d'étudier l'effet du vieillissement sur d'autres facteurs qui contribuent à la qualité de vie, mais dont le vieillissement est moins connu, telle que la phonation. En effet, la voix est une composante centrale de la communication verbale humaine et tout changement qui affecte le système phonatoire peut avoir un impact sur la qualité et l'efficacité de la communication. Dans les précédents chapitres, de nombreuses questions sur les effets du vieillissement normal sur la production et l'évaluation de la voix ont été soulevées. Nous tenterons maintenant d'y répondre.

4 Objectifs et hypothèses

4.1. Objectif général

L'objectif général de cette thèse était de contribuer à l'avancement des connaissances sur le vieillissement de la communication. Plus précisément, notre objectif principal était de clarifier l'impact du vieillissement et des habitudes de vie (tabagisme et chant) sur la production et l'évaluation de la voix. Pour ce faire, quatre études semi-expérimentales transversales de groupe ont été réalisées pour lesquelles un total de 267 participants a été testé. Notre hypothèse générale était que le vieillissement avait un effet négatif sur la production de la voix, et que cet effet était modulé positivement par l'exercice du chant et négativement par le tabagisme. De plus, l'effet du vieillissement sur l'évaluation subjective de la voix était négatif sur les plans auditifs-perceptuels, mais également psychosociaux. Les objectifs spécifiques à chaque étude sont décrits dans les paragraphes suivants.

4.2. Étude 1

Le premier objectif de l'Étude 1 était d'examiner l'effet du vieillissement sur la production de la voix dans différents contextes (voyelle soutenue, discours spontané), en portant une attention particulière à l'impact de l'âge sur le contrôle fonctionnel de l'amplitude et de fréquence de la voix, lesquels ont été peu étudiés en contexte de vieillissement. Le deuxième objectif de cette étude était de déterminer s'il existe des associations entre les mesures objectives (propriétés acoustiques) et les mesures subjectives de la voix (autoévaluation) et d'identifier les facteurs pouvant influencer cette relation, en particulier le vieillissement. Notre première hypothèse était que la production de la voix est négativement affectée par le vieillissement, et ce, dans tous les contextes vocaux utilisés. Notre deuxième hypothèse était que le vieillissement a un effet négatif sur le contrôle fonctionnel de l'amplitude et de fréquence de la voix, réduisant ainsi la capacité des personnes plus âgées à produire des phonations significativement différentes en termes d'amplitude ou de fréquence. Notre dernière hypothèse était qu'il existe une relation entre les propriétés acoustiques et l'autoévaluation subjective de la voix, et que différents facteurs ont une influence négative sur celle-ci, incluant l'âge et les états psychologiques des participants (dépression et anxiété).

4.3. Étude 2

Le premier objectif de l'Étude 2 était d'étudier l'effet du vieillissement normal sur la production de la voix dans d'autres contextes (voyelle soutenue, lecture d'un texte standardisé) et en contrôlant certains paramètres supplémentaires, tels que l'amplitude de la phonation soutenue. Notre deuxième objectif était d'examiner si une habitude de vie telle que l'exercice du chant peut moduler les effets du vieillissement normal sur la

production de la voix. L'effet positif de l'exercice du chant sur le vieillissement normal de la voix, très peu étudié, pourrait avoir, s'il était avéré, un impact considérable sur la qualité de vie d'un grand nombre de personnes âgées. Notre première hypothèse était que la production de la voix est négativement affectée par le vieillissement, en voyelle soutenue comme en lecture de texte standardisé. Notre deuxième hypothèse était que l'exercice du chant peut modérer (et donc possiblement réduire) les effets du vieillissement sur les propriétés acoustiques de la voix et ainsi représenter une avenue prometteuse pour les aînés.

4.4. Étude 3

Le premier objectif de l'Étude 3 était de clarifier les associations entre le vieillissement, le tabagisme et les propriétés acoustiques de la voix dans différents contextes (voyelle soutenue, discours spontané), en portant une attention particulière à l'impact du tabagisme sur le contrôle fonctionnel de l'amplitude et de la fréquence de la voix ainsi que sur les propriétés acoustiques de la voix dans différentes conditions d'amplitude et de fréquence, dont le vieillissement est très mal connu. Le deuxième objectif de l'Étude 3 était d'étudier l'association entre les paramètres acoustiques de la voix et la durée ainsi que le degré du tabagisme. Notre première hypothèse était que l'âge est un important facteur modulateur de la relation entre le tabagisme et les propriétés acoustiques de la voix dans tous les contextes vocaux utilisés, et précisément qu'il amplifie l'effet délétère du tabagisme sur la production de la voix. Notre deuxième hypothèse était que le tabagisme a un effet sur le contrôle fonctionnel de l'amplitude et de la fréquence de la voix, c'est-à-dire qu'il affecte la capacité à produire des phonations significativement différentes en termes d'amplitude ou de fréquence, en plus d'entraîner une détérioration des propriétés acoustiques de la voix dans ces conditions particulières. Notre dernière hypothèse était que la durée et le degré de tabagisme sont associés positivement à une plus grande instabilité de la voix telle que mesurée des indices de perturbation (jitter, shimmer et HNR).

4.5. Étude 4

Le premier objectif de l'Étude 4 était d'examiner le rôle de l'âge de l'évaluateur sur l'évaluation auditive-perceptuelle et psychosociale de la voix. Le deuxième objectif était d'examiner le rôle de l'âge, du sexe et des habitudes de vie (tabagisme) du locuteur dans l'évaluation auditive-perceptuelle et psychosociale de la voix, et leurs interactions avec l'âge de l'évaluateur. Le troisième objectif de l'Étude 4 était d'examiner les facteurs pouvant influencer la propension à amorcer une interaction sociale. La première hypothèse était que l'âge de l'évaluateur a une influence importante sur son évaluation auditive-perceptuelle et psychosociale des voix, et plus particulièrement que les personnes plus âgées évaluent plus positivement les voix appartenant à leur groupe d'âge que les adultes plus jeunes. La deuxième hypothèse était que la voix des locuteurs âgés et fumeurs reçoit des évaluations auditives-perceptuelles et psychosociales moins positives. La dernière

hypothèse était que la propension à entrer en relation avec une personne diminue lorsque l'évaluation auditive-perceptuelle, psychosociale, et du débit de parole perçu sont moins positives. Globalement, notre hypothèse était que le vieillissement normal a un impact considérable sur l'évaluation subjective de la voix.

5 Étude 1 : *Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice*

Auteurs : Catherine L. Lortie^{1,2,3}, Mélanie Thibeault⁴, Matthieu J. Guitton^{2,3}, Pascale Tremblay^{1,3}

Affiliations : ¹Département de réadaptation, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada.

²Département d’Otorhinolaryngologie et d’Ophtalmologie, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ³Centre de Recherche de l’Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (CRIUSMQ); Québec, Québec Canada. ⁴Nuance communications Inc.; Montréal, Québec, Canada.

Référence complète : Lortie, C. L., Thibeault, M., Guitton, M. J., & Tremblay, P. (2015). Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice. *Age*, 37(6), 117. DOI : 10.1007/s11357-015-9854-1.

Résumé : La façon et à quel degré l’âge affecte les mécanismes de contrôle de l’amplitude et de la fréquence de la voix sont peu connus. De même, la question à savoir si l’évaluation de sa propre voix évolue avec l’âge, de façon concomitante avec les changements acoustiques que subit la voix dans le vieillissement, n’est également pas répondue. Dans la présente étude, nous avons examiné les mécanismes de production de la voix dans le vieillissement (amplitude, fréquence), comparé la voix vieillissante dans différents contextes expérimentaux (voyelle soutenue, discours continu) et étudié la relation entre l’autoévaluation de la voix et les changements acoustiques de la voix associés à l’âge. Quatre-vingts adultes en bonne santé (âgés de 20 à 75 ans) ont participé à cette étude impliquant le prélèvement de nombreuses mesures acoustiques (incluant des mesures de la fréquence fondamentale, de l’amplitude de la voix, et de stabilité) ainsi que des autoévaluations de la voix. Puisque la dépression est fréquente chez les aînés, des scores de dépression et d’anxiété ont également été déterminés. Comme attendu, les analyses ont révélé des différences associées à l’âge sur la plupart des mesures acoustiques. Cependant, il n’y avait pas d’interaction entre l’âge et la capacité de produire une voix à faible/forte amplitude ou fréquence, suggérant que les mécanismes de contrôle de l’amplitude et de la fréquence de la voix sont préservés dans le vieillissement. Les analyses de médiations multiples ont démontré que la relation entre l’âge et l’autoévaluation de la voix était modérée par les scores de dépression et d’anxiété. En somme, ces résultats révèlent qu’alors que la production de la voix subit d’importants changements dans le vieillissement, la capacité à augmenter/diminuer l’amplitude et la fréquence de la voix est préservée, du moins dans la fourchette d’âge étudiée, et que les scores de dépression et d’anxiété ont une plus grande influence sur la qualité perçue de la voix que les changements acoustiques eux-mêmes.

Abstract: The manner and extent to which voice amplitude and frequency control mechanisms change with age is not well understood. The related question of whether the assessment of one's own voice evolves with age, concomitant with the acoustical changes that the voice undergoes, also remains unanswered. In the present study, we characterized the aging of voice production mechanisms (amplitude, frequency), compared the aging voice in different experimental contexts (vowel utterance, connected speech) and examined the relationship between voice self-assessment and age-related voice acoustical changes. Eighty healthy adults (20 to 75 years old) participated in the study, which involved computation of several acoustical measures of voice (including measures of fundamental frequency, voice amplitude, and stability) as well as self-assessments of voice. Because depression is frequent in older adults, depression and anxiety scores were also measured. As was expected, analyses revealed age effects on most acoustical measures. However, there was no interaction between age and the ability to produce high/low voice amplitude/frequency, suggesting that voice amplitude and frequency control mechanisms are preserved in aging. Multiple mediation analyses demonstrated that the relationship between age and voice self-assessment was moderated by depression and anxiety scores. Taken together, these results reveal that while voice production undergoes important changes throughout aging, the ability to increase/decrease the amplitude and frequency of voice are preserved, at least within the age range studied, and that depression and anxiety scores have a stronger impact on perceived voice quality than acoustical changes themselves.

1. Introduction

The ability to communicate our thoughts, opinions and feelings verbally is a key component of social relationships, and integral to full participation in society at all ages. Communication relies on a healthy voice production system to express both complex ideas and emotions. However, the human voice undergoes significant perceptual and acoustic transformations with age. Some of these changes may negatively affect the communication process (Stathopoulos et al 2011), and, in turn, the quality of life. Specifically, voice aging can have a negative impact on independence, integration and effective communication (Kendall 2007; Plank et al 2011). Indeed, voice-related effort and discomfort, combined with increased anxiety and frustration, can cause seniors to avoid social situations and withdraw from certain kinds of activities such as telephone conversations, or large parties (Verdonck-de Leeuw and Mahieu 2004; Roy et al 2007; Etter et al 2013).

Voice aging is caused by normal anatomical and physiological changes associated with this phase of life (Goy et al 2013; Forero Mendoza et al 2014). In particular, physiological changes occur in the larynx (Honjo and Isshiki 1980; Bloch and Behrman 2001; Ximenes Filho et al 2003; Kersing and Jennekens 2004; Pontes et al 2005; Pontes et al 2006; Sato et al 2010; Sato et al 2011), the vocal tract (Pontes et al 2006) and the respiratory system (Linville 1996; Teles-Magalhães et al 2000; Ramig et al 2001; Sauder et al 2010). These changes include calcification and ossification of cartilages, muscles and vocal fold atrophy, vocal fold bowing (i.e. inward curve) and reduced mucosal wave, and reduced pulmonary lung pressures, volumes, elasticity and recoil. These changes have an impact on voice production and quality (Mazzetto de Menezes et al 2014). Indeed, aging negatively affects voice stability and amplitude in a sex-dependent manner (Linville and Fisher 1985; Ma and Love 2010; Dehqan et al 2013; Goy et al 2013). For instance, men generally show a gradual increase in fundamental frequency (f_0) with age (Honjo and Isshiki 1980; Harnsberger et al 2008; Torre and Barlow 2009; Ma and Love 2010; Dehqan et al 2013), while women exhibit a decrease in f_0 with age (Honjo and Isshiki 1980; Torre and Barlow 2009; Ma and Love 2010; Da Silva et al 2011; Dehqan et al 2013; Goy et al 2013). However, age-related changes in amplitude are less consistent across studies. Some studies report an amplitude decrease for both women and men (Baker et al 2001; Da Silva et al 2011), while others show it only for men (Morris and Brown 1994; Goy et al 2013). The effect of age on voice perturbation measures is less clear: while some studies have shown that voice stability defined as jitter and shimmer declines with age (Wilcox and Horii 1980; Baken 2005; Dehqan et al 2013), other studies did not find significant changes with age (Baker et al 2001; Goy et al 2013). Finally, while some studies have reported reduced maximum phonation time (MPT) in aging (Ptacek et al 1966; Kreul 1972), recent reports observed no significant decrease in MPT values in older participants (Maslan et al 2011). There is even one report of longer MPT values in older females compared with younger females (Goy et al 2013).

From a perceptual point of view, the aged voice has been associated with increased hoarseness and breathiness, vocal fatigue, instability and crackling (Kendall 2007; Gregory et al 2012). However, most of the previous studies have focused so far on steady vowel utterances, a task that only bears limited resemblance with natural language production, which requires dynamic adjustments to voice frequency and amplitude. Thus, very little is known about the effect of age on the ability to control the frequency and amplitude of voice. Only two studies have examined voice amplitude control mechanisms in aging. The first study did not observe differences in the amplitude of a sustained vowel /a/ at normal and high amplitude in 30 young adults compared to 30 elderly women (young: 20-35 years old, older: 60-82 years old) (Mazzetto de Menezes et al 2014). The second study did not observe difference in voice amplitude of a sustained /a/ at low, normal and high amplitude in 15 young compared to 14 old men (young: 20-26 years old, older: 56-71 years old) (Bier et al 2014). To the best of our knowledge, no study has examined the aging of voice frequency control mechanisms. Therefore, the effect of age on voice amplitude and frequency control mechanisms is still largely unknown, and so is the effect of age on the production of voice in different contexts (sustained vowel, connected speech).

An important question that follows from the observation of changes in voice physical and acoustical properties is whether voice perception is directly affected by these changes. Studies that have examined the relationship between voice perception and voice acoustics have reported significant correlations between actual voice instability (i.e. jitter, shimmer and noise to harmonic ratio) and perceived breathiness and hoarseness on Hirano's grade index for perceptual voice assessment (GRBAS) (Eskenazi et al 1990; Dejonckere et al 1996; Wolfe and Martin 1997). Perceived roughness and tension was also significantly correlated to levels of harmonic energy and harmonic to noise ratios (HNR) (Yanagihara 1967; Whitehead and Whitehead 1985). However, the listeners included in these studies were either experienced speech pathologists (Dejonckere et al 1996; Wolfe and Martin 1997) or faculty members in Speech departments (Eskenazi et al 1990). It is possible that the perception of one's own voice relies on different, and perhaps more subjective, criteria than those used by experts in the field judging other people's voice. In addition, other factors could also modulate the relationship between age and voice self-assessment. In particular, because elderly adults frequently experience depressive and anxious states, it is possible that mood affects the perception of one's own voice. Indeed, while depression ranges in prevalence from 10 to 20 % in the elderly (Steffens et al 2009; Solhaug et al 2012; Wu et al 2012; Williams et al 2015), the prevalence of anxiety ranges from 3 to 15 % (Kessler et al 2005; Miloyan et al 2014; Wassertheil-Smoller et al 2014; Reynolds et al 2015). Importantly, depression scores can change the way people perceive themselves on multiple levels, including their self-esteem (Fox 2000; Watson et al 2002; Furegato et al 2008; Sowislo and Orth 2012; Orth and Robins 2013; Legrand 2014; Wegener et al 2015). Moreover, a few cross-sectional studies have reported negative moderate to strong correlations between self-esteem and anxiety (Watson et al 2002; Riketta 2004; Lee and Hankin 2009; Sowislo

and Orth 2012). Though it has never been examined, it is possible that anxiety and depression scores negatively affect voice self-assessment.

The objective of this study was thus to examine the effect of age on voice production, focusing on amplitude and frequency control mechanisms. We also compared conversational voice in different contexts (steady vowel utterances and connected speech). Finally, we also examined, for the first time, the relationships between age, voice acoustics, voice self-assessment and depression and anxiety scores.

2. Methods

2.1. Participants

81 non-smoking healthy adults (35 women) with normal or corrected-to-normal vision and no self-reported history of speech, voice, language, swallowing, hearing, severe respiratory restrain, neurological or neurodegenerative disorder, ranging in age from 20 to 75 years old (mean \pm standard deviation [SD] 54.63 ± 17.57) were recruited from the general community in Quebec City (QC, Canada) through emails, flyers, journal ads, and posters over the course of a 1-year period. One participant was excluded because he did not meet the inclusion criteria. The remaining 80 participants were included in the analysis. Participants were native speakers of Canadian French (17.76 ± 3.5 years of education, range 12–29 years). A French version of the Mini Mental State Examination (MMSE) (Folstein et al 1975; Hudon et al 2009) confirmed that their cognitive functioning was within normal limits given their age ($29.39 \pm .88$, range 25-30 points). Participants' characteristics are reported in **Table 3**. The procedures were approved by the Institutional Ethical Committee of the “Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec” (protocol #353-2014) and the “CHU de Québec” (protocol #C14-01-1908). Informed written consent was obtained from all participants, and they were compensated for their participation.

N	Age		Education (in years)		HAD		MMSE		ECVB		VHI		Modified CAPE-V	
	mean (SD)	range	mean (SD)	range	mean (SD)	range	mean (SD)	range	mean (SD)	range	mean (SD)	range	mean (SD)	range
20	28.6 (6.26)	20-39	18.75 (4.83)	12-29	7.05 (2.98)	1-12	29.65 (0.5)	29-30	60.15 (4.73)	51-66	4.05 (5.36)	0-23	8.75 (4.52)	2.3-18.9
28	55.39 (8.74)	40-65	17.79 (3.48)	12-25	6.89 (6.18)	1-33	29.32 (1.22)	25-30	60.86 (4.9)	42-66	5.79 (9.26)	0-47	11.2 (8.24)	0.2-32.4
32	70.22 (2.77)	66-75	17.13 (2.32)	13-22	4.66 (2.22)	1-12	29.28 (0.68)	28-30	59.91 (4.25)	50-66	2.03 (2.78)	0-12	7.52 (5.6)	0-20.1
80	54.63 (17.57)	20-75	17.76 (3.5)	12-29	6.04 (4.29)	1-33	29.39 (0.88)	25-30	60.3 (4.56)	42-66	3.85 (6.48)	0-47	9.11 (6.56)	0-32.4

Table 3. Participants' characteristics, for each age group and overall. HAD scale ranges from 0 to 42. For this test, scores between 0 and 16 are considered normal. The MMSE score ranges from 0 to 30 and a cutoff score of 23 optimizes sensitivity and specificity of detection of impairment (Murden et al. 1991; Uhlmann and Larson 1991).

HAD hospital anxiety and depression scale, MMSE mini-mental state examination, ECVB Bordeaux' verbal communication scale, VHI voice handicap index, Modified CAPE-V modified and self-administered version of the consensus auditory-perceptual evaluation of voice

2.2. Voice and communication quality assessment

Voice-related quality of life was assessed for three categories of difficulties (physical, emotional and functional) using a French version of the Voice Handicap Index (VHI-30) (Jacobson et al 1997; La voix 2006). A high score on the VHI indicates important voice difficulties. We translated and modified the Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V) (Zraick et al 2011) in order to perform perceptual self-assessment of dysphonia in 6-points (i.e., voice strain, roughness, breathiness, etc.) on a 100 mm visual analog scale (0=Not at all, 100=Extremely). In this modified version of the CAPE-V, participants completed the assessment of their voice quality and filled the evaluation tool themselves, according to the instructions given by the examiner (C.L.L.). A high score again indicates voice dissatisfaction. Finally, the Bordeaux' Verbal Communication scale (ECVB) (Darrigrand and Mazaux 2000) was used to evaluate communication abilities (e.g., to express intentions, to hold a conversation, to shop alone, etc). A low score on the ECVB indicates communication difficulties.

2.3. Depression and anxiety scores

Participants were screened for depression and anxiety scores using the Hospital Anxiety and Depression Scale (HAD) (Zigmond and Snaith 1983).

2.4. Voice recording

All recordings were performed by the same examiner (C.L.L.) under identical conditions in a calm room at the CRIUSMQ, using a Shure headset microphone (Microflex Beta 53) placed at $\pm 5\text{cm}$ at a 45° angle to the subject's mouth to decrease aerodynamic noise from the mouth. A headset microphone was used to ensure that the distance between the microphone and the mouth was kept constant throughout the procedure and across participants. The microphone was connected to an Edirol U-25EX analog interface, which was in turn connected to a Toshiba PC through a USB port. The recordings were performed using the Audacity software at a sampling signal of 44.1 kHz and 32 bits of quantization. Throughout the experiment, water and short breaks were given to the participants as needed, and participants generally completed the session within 10 minutes.

2.4.1. Sustained vowel

The ability to control the amplitude and the frequency of voice can be assessed in different ways, for example during connected speech where they are analyzed as normal, online speech modulation (e.g. the lowest and highest frequency values during normal conversation). Another way to examine amplitude and frequency control mechanisms is to evaluate maximal capacity, either using an alternating crescendo/decrescendo method (Awan 2011; Maruthy and Ravibabu 2015) or an intersperse sustained vowel approach (Goy et al 2013; Bier et al 2014; Mazzetto de Menezes et al 2014) (e.g. how low can my pitch go in absolute terms). Here, amplitude and frequency control mechanisms were assessed using the intersperse sustained vowel methods.

Participants were given two trials for each task. First, participants were asked to produce a sustained vowel /a/ at comfortable frequency and amplitude levels, i.e. under “normal talking voice” condition. Maximum phonation time (MPT) was calculated from the normal talking voice condition (**Fig.13**). Next, participants were asked to produce the vowel /a/ for approximately 3 seconds in four other conditions: lowest amplitude (without whispering), highest amplitude (without yelling), lowest frequency and highest frequency. Frequency and amplitude levels were self-determined by the participants in a manner similar to that implemented in previous studies (Bier et al 2014; Mazzetto de Menezes et al 2014). Participants were allowed to determine their own levels but they were encouraged to make a substantial difference between productions. A demonstration of expected amplitude and frequency levels was given to each participant by the same examiner (C.L.L.) under identical conditions by way of example. All vowels were produced as steadily as possible, with no amplitude or frequency variation. The task order was identical across all participants in order to avoid contamination effects across voice conditions (in particular from the high amplitude voice and high frequency voice conditions). Because of the very short duration of the procedure (less than 10 minutes), no fatigue or habituation effects were expected.

2.4.2. Connected speech

Participants were asked to narrate, using their own words, two popular story tales (i.e., “Red riding hood” and “Three little pigs”) at comfortable frequency, amplitude and rate (**Fig.13**). The participants were given a representative illustration of the story tale to help recall. If the story tale was unknown to the participant, he/she was asked to describe the given illustration instead.

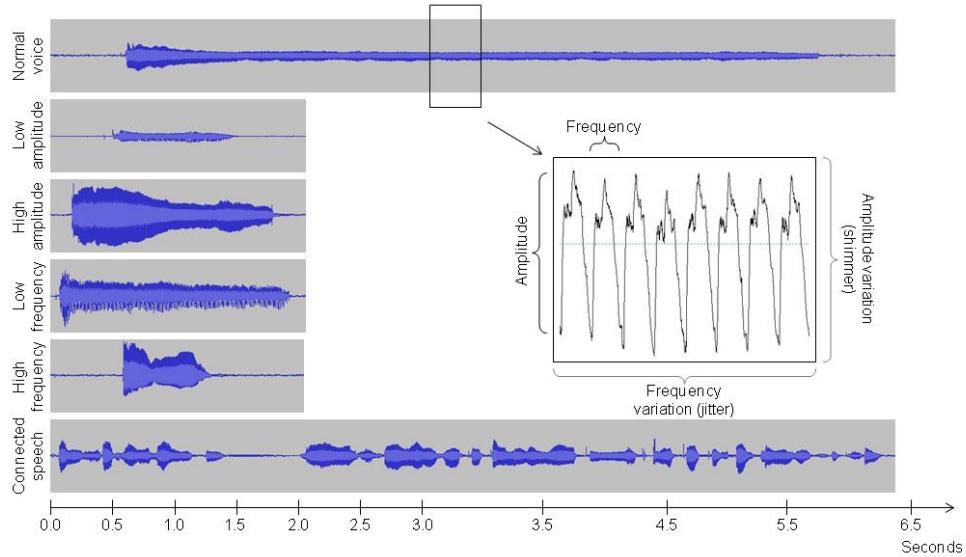


Figure 13. Voice recording. Examples of sustained vowels produced under normal voice, lowest amplitude (without whispering), highest amplitude (without yelling), lowest frequency and highest frequency, and connected speech. A representation of some of the acoustical measures extracted from the voice samples is also provided

2.5. Acoustic Analysis

Vocal signals were analyzed using the Praat software, version 5.3.39 (Boersma and Weenink 2012). The acoustical parameters used in this study are detailed in **Table 4**.

2.5.1. Sustained vowel

Original voice samples were visually inspected to identify passages with artifacts such as extraneous noise, laughter or coughing. These passages were excluded from the analysis. The analysis was then performed in two steps. First, the longest and most stable central segments of each vowel were manually selected. A Praat script was applied on that central section to automatically extract all acoustical measures, i.e. minimum f0 (Hz), maximum f0 (Hz), mean f0 (Hz) and f0 SD (semitones), mean amplitude and SD (dB), relative jitter (%), shimmer (dB), and HNR (dB), with the exception of duration. Minimum and maximum f0 target values were adjusted according to the sex of the speaker (men 65-300 Hz; women 80-550 Hz). These segments were visually inspected to correct f0 disruptions manually when necessary. Next, the whole voice sample was manually selected. A different Praat script was applied on the whole sample to automatically extract duration (MPT, seconds). For each participant, data from the two trials were averaged together for each acoustical measure.

2.5.2. Connected speech

Original voice samples were first inspected to identify passages with artifacts such as extraneous noise, laughter or coughing, and caricatured voices. A 10 sec central section of each sample was manually selected, avoiding such passages. All acoustical measures (i.e. minimum f0 [Hz], maximum f0 [Hz], mean f0 [Hz] and f0 SD [semitones], mean amplitude and SD [dB], and HNR [dB]) were extracted using a Praat script applied on these 10 sec sections.

Measure	Definition	Specific internal Praat parameters	
Minimum f0 (Hz)	Minimum fundamental frequency (i.e., number of glottic cycles per second)	<u>To Pitch :</u> Time step, 0.0001 sec Pitch floor, 65 Hz (men), 80 Hz (women) Pitch ceiling, 300 Hz (men), 550 Hz (women)	Time range, 0 to 0 (=all); unit, Hertz; interpolation, parabolic
Maximum f0 (Hz)	Maximum fundamental frequency		Time range, 0 to 0 (=all); unit, Hertz; interpolation, parabolic
Mean f0 (Hz)	Mean fundamental frequency		Time range, 0 to 0 (=all); unit, Hertz
F0 SD (semitones)	Fundamental frequency standard deviation		Time range, 0 to 0 (=all); unit, semitone
Mean amplitude (dB)	Mean sound pressure level	<u>To Intensity:</u> Minimum pitch, min Time step, 0 (=auto) Subtract mean, yes	Time range, 0 to 0 (=all); averaging method, dB
Amplitude SD (dB)	Sound pressure level standard deviation		Time range, 0 to 0 (=all)
Duration (MPT; s)	Duration of the voiced utterance	Start, get time of point 1; end, get time of point 2; duration, end-start	
Jitter local (%)	Absolute mean difference between consecutive periods, divided by the average period	Time range, 0 to 0 (=all) Shortest period, 0.0001 sec Longest period, 0.02 sec Maximum period factor, 1.3	
Shimmer local (dB)	Average absolute base-10 logarithm of the difference between the amplitudes of consecutive periods, multiplied by 20	Time range, 0 to 0 (=all) Shortest period, 0.0001 sec Longest period, 0.02 sec Maximum period factor, 1.3 Maximum amplitude factor, 1.6	
Harmonic-to-noise ratio (HNR, dB)	Degree of acoustic periodicity, i.e. the ratio between periodic (vocal fold vibration) and aperiodic (glottal noise) voice components (harmonicity of the voiced parts only)	Time step (sec), 0.01 Minimum pitch, 75 Hz (men), 150 Hz (women) Silence threshold, 0.1 Periods per window : 1.0 Mean harmonicity, time range, 0 to 0 (=all)	

Table 4. Acoustic measures extracted with Praat and their definition, along with the windowing and thresholds used to set internal Praat parameters in the scripts.

2.6. Statistical analyses

All data were analyzed using SPSS 22 (IBM SPSS Statistics, Armonk, NY). Acoustical measures (f0 minimum, maximum, mean and SD, mean and SD amplitude, MPT, jitter, shimmer, and HNR) were used as dependent measures for statistical analyses. For all statistical procedures, $\alpha=.05$ was used to establish significance. A false discovery rate (FDR) correction was applied on all post-hoc analyses (Benjamini and Hochberg 1995). In the statistical analyses described below, age was used both as a continuous and a categorical independent variable. It was used as a categorical variable in the ANOVAs, in which participants were divided into 3 age

groups (i.e., young: 20-39; middle-aged: 40-65; and older: 66-75 years old). In the moderated mediation analyses, age was used as a continuous variable.

2.6.1. Amplitude control

To assess age differences on the ability to produce high and low amplitude voice, a series of FDR corrected (FDR per dependent variable [acoustical measures]: $i=9$, $q=.05$) mixed model $3 \times 3 \times 2$ ANOVAs on each of the acoustical parameter as dependent variables ($f0_{min}$, $f0_{max}$, $f0_{mean}$, $f0_{SD}$, mean amplitude, amplitude SD, jitter, shimmer, HNR) were first performed. For these analyses, sustained vowel amplitude (low, normal, high) was used as a within-subject factor, while age group (3 levels: 20-39, 40-65, 66-75 years) and sex were used as categorical between subject-factors. Post-hoc t-tests were conducted when appropriate.

2.6.2. Frequency control

To assess age differences on the ability to produce high and low frequency voice, a series of FDR corrected (FDR per dependent variable [acoustical measures]: $i=9$, $q=.05$) mixed model $3 \times 3 \times 2$ ANOVAs on each of the acoustical parameter as dependent variables ($f0_{min}$, $f0_{max}$, $f0_{mean}$, $f0_{SD}$, mean amplitude, amplitude SD, jitter, shimmer, HNR) were performed. For these analyses, sustained vowel frequency (low, normal, high) was used as a within-subject factor, while age group (3 levels: 20-39, 40-65, 66-75 years) and sex were used as categorical between subject-factors. Post-hoc t-tests were conducted when appropriate.

Although our original intention was to study the interaction between amplitude and frequency control mechanisms, certain voice conditions (high amplitude at low frequency, low amplitude at high frequency, etc.) were very difficult to execute for non-professional speakers during pilot testing, therefore interactions were not tested.

2.6.3. Connected speech

First, the acoustical measures computed from the two different story tales were compared using FDR corrected ($i=7$, $q=.05$) t-tests for dependent samples to ensure that they did not differ significantly. Results demonstrated no significant difference between the acoustical measures across the speech samples; therefore, a mean was calculated for each acoustic parameter and used in further analyses. Next, to assess the effect of context on the voice, a series of FDR corrected (FDR per dependent variable [acoustical measures]: $i=7$, $q=.05$) mixed model $2 \times 3 \times 2$ ANOVAs on acoustical measures ($f0_{min}$, $f0_{max}$, $f0_{mean}$, $f0_{SD}$, mean amplitude and SD, HNR) with context (sustained vowel, connected speech) as a within-subject variable, and age group (3 levels: 20-39, 40-65, 66-75 years) and sex as categorical between-subject factors were performed. Post-hoc t-tests were conducted when appropriate.

2.6.4. Moderated mediation analyses

In order to identify determinants of voice self-assessment, a conceptual model was developed in which the aging process affects voice acoustical measures, which in turn predicts voice self-assessment after controlling for sex. The indirect effect of age on voice self-assessment was hypothesized to be moderated by anxiety and depression scores. This conceptual model was tested in an operative framework, i.e. a mediated moderation, described in the following sections.

Moderation and mediation analyses allow researchers to examine the mechanisms by which variables affects each other (Baron and Kenny 1986; Shrout and Bolger 2002; MacKinnon et al 2007; Preacher and Hayes 2008). Moderated mediation analyses estimate the path coefficients in a single mediator and a single moderator model and generate bootstrap confidence intervals for direct and indirect effect of X on Y through a mediator variable (M) conditional to a moderator (W). The model that was used is illustrated in **Fig.14**. In this moderated mediation model, the dependent (Y) variable was the self-assessment measures of voice quality, while the independent (X) variable was the continuous variable age. One covariate (sex) was included in the model. Voice acoustics were used as the mediator (M) and anxiety or depression scores as the moderator (W). The moderated mediation analyses were conducted using the PROCESS macro (model #59) for SPSS (<http://www.afhayes.com/>) (Preacher et al 2007; Preacher and Hayes 2008; Hayes and Preacher 2013).

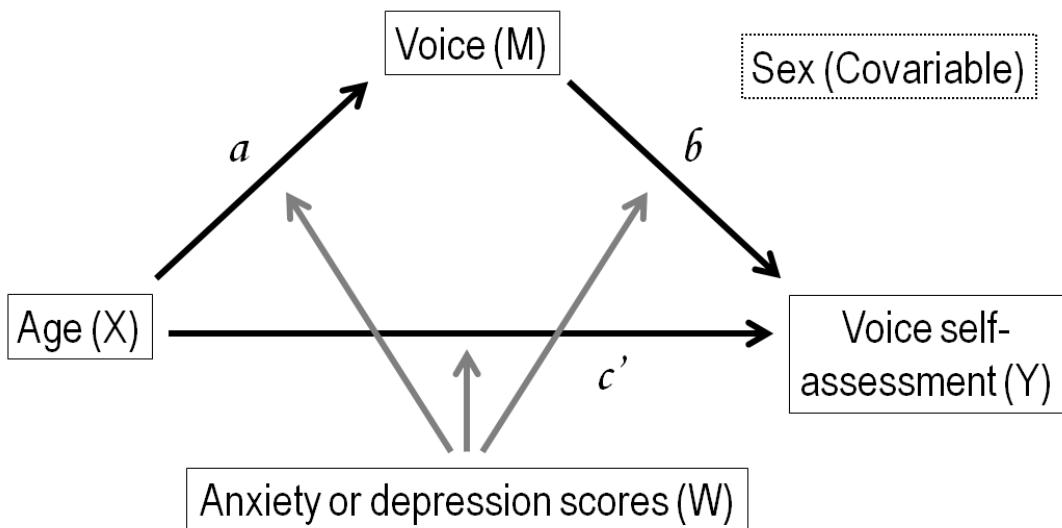


Figure 14. Moderated mediation model. Conceptual moderated mediation model used to uncover the effect of age (X) on voice self-assessment (Y; the c' path), and whether this relationship was mediated by acoustic measures (M; the ab paths). This conceptual model was also used to test if depression and anxiety scores (W) moderated the effect of age on voice acoustics (the a path), the effect of voice acoustics on voice self-assessment (the b path), the effect of age on voice self-assessment mediated by voice acoustics (the ab paths) and the effect of age on voice self-assessment (c' path)

For each self-assessment measure, a linear regression was used to test for a direct effect of age on voice self-assessment (the c' path in the model). Linear regressions were also conducted to test for an effect of age on voice acoustical measures (the a paths) and an effect of acoustical measures on voice self-assessment (the b paths). Next, a series of regressions were conducted, each including either the mediator, the moderator or both, to examine (1) whether there was an effect of age on voice self-assessment mediated by voice acoustics (the ab paths), (2) whether there was an indirect effect of depression and anxiety scores on voice self-assessment through age (c' paths), or through the effect of age on voice self-assessment mediated by voice acoustics (the ab paths), and (3) whether depression and anxiety scores moderated the effect of age on voice acoustics (the a paths) and the effect of voice acoustics on voice self-assessment (the b paths). A bootstrapping approach was used to test for the significance of the indirect effects (Shrout and Bolger 2002) ($p=0.05$, using bias-corrected bootstrapping with 10,000 samples). Bootstrapping involves the repeated extraction of samples, with replacement, from a dataset and the estimation of the indirect effect in each resampled data set. The moderated mediation analyses were performed separately for each acoustic parameter (M; n=10 [9 acoustic measures and MPT]), self-assessment measures of voice (Y; n=2) and anxiety and depression scores (W; n=2), for a total of 40 moderated mediation analyses.

Finally, to assess age differences on psychological states, a series of independent t-tests between age groups were performed with anxiety and depression scores as the dependent variable.

3. Results

3.1. Amplitude control

Significant main effects of age were identified on all acoustic measures with the exception of maximum f0 ($F_{(2,74)}=1.97$, $p=.19$), mean amplitude ($F_{(2,74)}=.02$, $p=.98$) and amplitude SD ($F_{(2,74)}=.13$, $p=.99$). The results also revealed significant main effects of amplitude on all voice measures ($F_{(2,74)}=23.12$ to 596.74 , $p=1.83^{-9}$ to 1.3^{-70}). Significant main effects of sex were also observed on all acoustic measures with the exception of f0 SD ($F_{(1,74)}=1.07$, $p=.3$), mean amplitude ($F_{(1,74)}=3.19$, $p=.09$) and jitter ($F_{(1,74)}=4.18$, $p=.06$). An interaction was observed between sex and amplitude on amplitude SD ($F_{(1,74)}=7.01$, $p=.01$). There was no interaction between age and sex, age and amplitude, or between amplitude, age and sex.

First, we explored the main effects of age using post hoc analyses, which showed that f0 SD was higher for the older group [young vs. middle-aged: $t_{(46)}=-2.68$, $p=.01$; young vs. older: $t_{(50)}=-5.02$, $p=1.1^{-5}$; middle-aged vs. older : $t_{(58)}=-3.17$, $p=.003$]. The voice of the older group had higher jitter values than middle-aged ($t_{(58)}=-2.1$, $p=.04$) and young adults ($t_{(50)}=-2.98$, $p=.005$) (Fig.15a). The older adults also had higher shimmer compared to

the young ($t_{(50)}=-2.86$, $p=.006$) (Fig.15b). Finally, for HNR the young adults displayed higher values than the middle-aged ($t_{(46)}=2.71$, $p=.009$) and the older adults ($t_{(50)}=3.53$, $p=.001$) (Fig.15c).

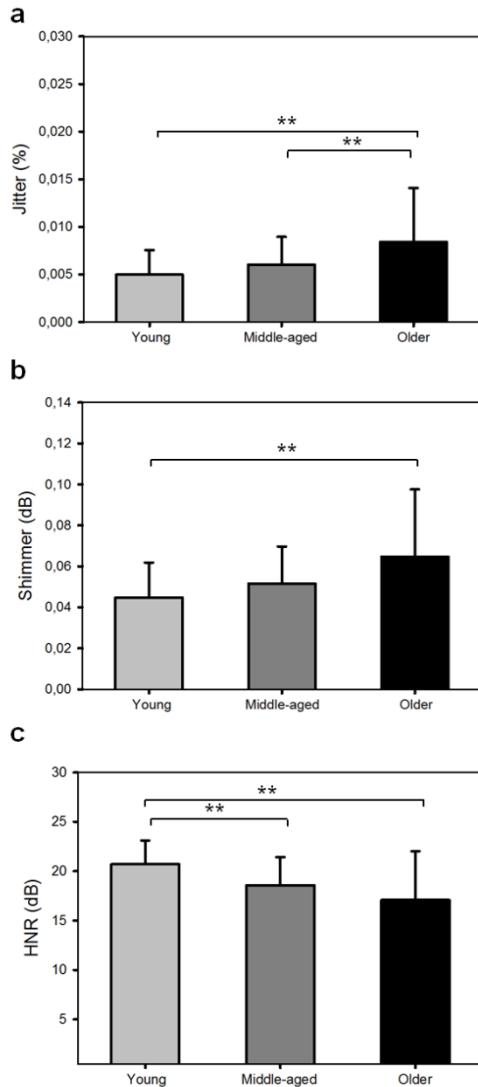


Figure 15. Main effect of age on voice stability. Voice jitter (a), shimmer (b) and HNR (c) are displayed by age groups. Single asterisks indicate significance at $p<0.05$, while double asterisks indicate significance at $p<0.01$. Error bars represent the standard error of the mean

Next, we explored the main effects of amplitude using post hoc analyses, which showed, as expected, that mean amplitude significantly differed across the experimental conditions ($t_{(79)}=10.23$ to 30.57 , $p=3.98^{-16}$ to 1.57^{-45}), with amplitude in the low amplitude condition being the softest, followed by normal and high amplitude voice (Fig.16). Results revealed that the high amplitude voice had the expected highest frequency compared to normal ($t_{(79)}=-8.52$, $p=8.61^{-13}$) and low amplitude voices ($t_{(79)}=-6.59$, $p=4.58^{-9}$), similar to previous results by Gramming and colleagues (Gramming et al 1988). The high amplitude voice had lower jitter and shimmer

values and a greater HNR value than normal voice ($t_{(79)}=6.67$ to 8.51 , $p=3.14^{-9}$ to 8.66^{-13}), which in turn had lower jitter and shimmer and higher HRN values compared with the low amplitude voice ($t_{(79)}=4.24$ to 8.04 , $p=6.1^{-5}$ to 7.39^{-12}).

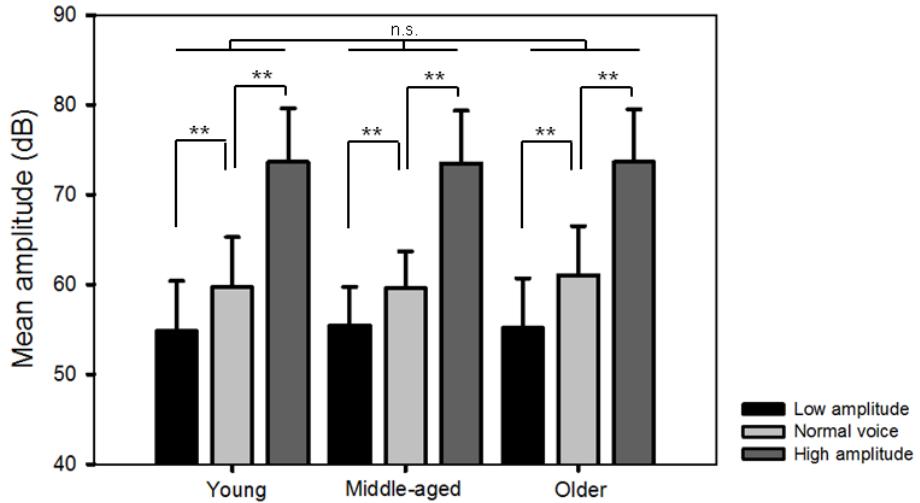


Figure 16. Main effect of amplitude across conditions. Mean amplitude (dB) is displayed by age group and amplitude condition (low, normal and high amplitude). Single asterisks indicate significance at $p<0.05$, while double asterisks indicate significance at $p<0.01$. Error bars represent the standard error of the mean. N.S. indicates a non-significant effect

Then, we explored the main effects of sex using post hoc analyses, which confirmed that women had significantly higher minimum f0 ($t_{(78)}=-14.88$, $p=1.81^{-19}$), maximum f0 ($t_{(78)}=-15.81$, $p=4.64^{-21}$), and mean f0 ($t_{(78)}=-15.46$, $p=2.75^{-20}$). Women had higher amplitude SD ($t_{(78)}=-2.35$, $p=.02$) and higher HNR values ($t_{(78)}=-2.70$, $p=.008$), but lower shimmer values than men ($t_{(78)}=3.31$, $p=.001$).

To decompose the amplitude by sex interaction, post-hoc analyses were performed on the amplitude SD of men and women separately. Results showed that men had the highest amplitude SD values in the normal voice condition [significantly higher than low amplitude ($t_{(44)}=-7.76$, $p=8.95^{-10}$) and high amplitude ($t_{(44)}=6.06$, $p=2.8^{-7}$)], meaning that normal voice was the least stable in amplitude. The normal voice of women was also the least stable in amplitude [amplitude SD in normal voice significantly higher than low amplitude ($t_{(34)}=-7.76$, $p=5^{-9}$) and high amplitude ($t_{(34)}=5.37$, $p=6^{-6}$)], but the amplitude effects were generally larger in men compared to women.

3.2. Frequency control

The repeated measures ANOVAs revealed significant main effects of age on three voice measures, i.e. f0 SD ($F_{(2,74)}=13.16$, $p=5.85^{-5}$), jitter ($F_{(2,74)}=5.25$, $p=.02$) and HNR ($F_{(2,74)}=15.09$, $p=2.7^{-5}$). The results also revealed

significant main effects of frequency on all acoustical measures ($F_{(2,74)}=11.98$ to 672.52 , $p=1.5^{-5}$ to 3.17^{-74}). Significant main effects of sex were also observed on most acoustical measures with the exception of f0 SD ($F_{(1,74)}=.08$, $p=.78$), mean amplitude ($F_{(1,74)}=1.11$, $p=.4$), jitter ($F_{(1,74)}=3.38$, $p=.11$) and HNR ($F_{(1,74)}=.79$, $p=.42$). An interaction was observed between age and frequency but only for HNR ($F_{(4,74)}=6.26$, $p=9.9^{-4}$). Interactions were also observed between sex and frequency control on f0 minimum ($F_{(2,74)}=71.59$, $p=5.37^{-22}$), maximum ($F_{(2,74)}=73.89$, $p=5.03^{-22}$) and mean ($F_{(2,74)}=73.14$, $p=3.66^{-22}$), and on amplitude SD ($F_{(2,74)}=3.8$, $p=.04$), jitter ($F_{(2,74)}=3.86$, $p=.04$) and shimmer ($F_{(2,74)}=5.18$, $p=.02$). Ultimately, there was a 3-way interaction between age, sex and frequency on HNR ($F_{(4,74)}=7.94$, $p=7.2^{-5}$). There were no interaction between age and sex.

For the main effects of frequency, post hoc analyses showed that frequency (f0 mean, minimum and maximum) in all three conditions were significantly different ($t_{(79)}=4.63$ to 18.71 , $p=1.4^{-5}$ to 9.16^{-31}), with the expected linear increase from low to high frequency voice (Fig.17). Moreover, the results revealed that the high frequency voice had the highest amplitude compared to the normal (t₍₇₉₎=-13.74, $p=1.22^{-22}$) and the low frequency voice (t₍₇₉₎=-6.25, $p=1.95^{-8}$). However, the low frequency voice had higher amplitude compared to normal voice (t₍₇₉₎=9.33, $p=2.19^{-14}$). The high frequency voice had lower jitter and shimmer values and a higher HNR value than normal voice (t₍₇₉₎=6.16 to 12.66, $p=2.93^{-8}$ to 1.05^{-20}), which in turn had lower shimmer and higher HNR values compared with the low frequency voice (t₍₇₉₎=2.91 and -2.14, $p=.005$ and .04, respectively).

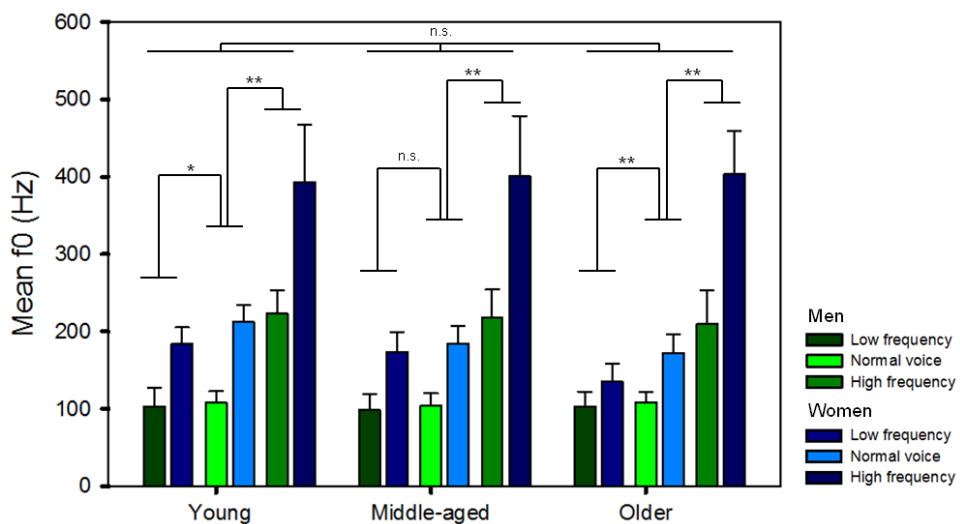


Figure 17. Main effect of voice frequency for each condition. Mean frequency (Hz) is illustrated as a function of age group, frequency condition and sex. Single asterisks indicate significance at $p<0.05$, while double asterisks indicate significance at $p<0.01$. Error bars represent the standard error of the mean. N.S. indicates a non-significant effect

To decompose the frequency by age interaction on the HNR, post-hoc analyses were performed of the three age groups separately. Results showed that, for the youngest group (20-39 years) and the middle-aged group (40-65 years), HNR of the normal voice and the low frequency voice did not differ ($t_{(19)}=.17$, $p=.87$ and $t_{(27)}=-.14$, $p=.89$, respectively). However, for the oldest group (66-75 years), HNR values in all three conditions were significantly different, following a linear increase from low to normal voice ($t_{(31)}=-2.73$, $p=.01$), and from normal to high frequency voice ($t_{(31)}=-7.66$, $p=1.22^8$).

For the frequency by sex interaction, post-hoc analyses demonstrated that, for f0 minimum, maximum, and mean, there was an effect of frequency for both men and women, but the frequency effects were generally larger in women compared to men, regardless of age. On the contrary, there was also an effect of frequency for both men and women on jitter values, but the frequency effects were generally larger in men compared to women. For one measure, amplitude SD, a different pattern was found. For men, the amplitude SD values of the normal voice were higher than both low frequency ($t_{(44)}=-6.45$, $p=7.32^8$) and high frequency voice ($t_{(44)}=5.22$, $p=5^6$). In contrast, amplitude SD values for women were similarly high for both normal and high frequency voice ($t_{(34)}=21$, $p=.84$), meaning that the normal voice was the least stable in amplitude for men but not women. Post-hoc analyses also demonstrated that shimmer values for men decreased from low frequency to normal voice ($t_{(44)}=2.79$, $p=.008$), and from normal to high frequency voice ($t_{(44)}=6.51$, $p=6.08^8$). However, shimmer values for women were similarly high for both low frequency and normal voice ($t_{(34)}=1.1$, $p=.28$).

Finally, for the 3-way interaction between age, sex and frequency on HNR, post-hoc analyses demonstrated that for the youngest group (20-39 years), the high frequency voice had higher HNR values compared with the low frequency voice for men ($t_{(10)}=-4.58$, $p=.001$) but not for women ($t_{(8)}=-.76$, $p=.47$). For the middle-aged group, the high frequency voice had higher HNR values compared with the low frequency voice for both men and women ($t_{(13)}=-5.67$, $p=7.7^5$ and $t_{(13)}=-3.72$, $p=.003$, respectively), and also higher HNR values compared with the normal voice for both men and women ($t_{(13)}=-4.25$, $p=.001$ and $t_{(13)}=-10.03$, $p=1.75^7$, respectively). However, for the oldest group (66-75 years), the HNR values for women in all three conditions were significantly different and followed a linear increase from low to normal voice ($t_{(11)}=-3.69$, $p=.004$), and from normal to high frequency voice ($t_{(11)}=-3.99$, $p=.002$), whereas for men, the HNR values were similarly low for both low frequency and normal voice ($t_{(19)}=.01$, $p=.99$).

3.3. Connected speech vs. sustained vowel

The repeated measures ANOVAs revealed significant main effects of context on all acoustical measures ($F_{(1,74)}=38.93$ to 744.45 , $p=2.48^8$ to 1.63^{39}). Significant main effects of sex were also observed on all acoustical measures with the exception of mean amplitude ($F_{(1,74)}=.003$, $p=.96$) and amplitude SD ($F_{(1,74)}=1.83$, $p=.21$). Interactions were observed between age and context for minimum f0 ($F_{(2,74)}=9.73$, $p=.001$),

maximum f0 ($F_{(2,74)}=3.97, p=.04$) and mean f0 ($F_{(2,74)}=5.85, p=.01$), and amplitude SD ($F_{(2,74)}=4.58, p=.03$). Interactions were also observed between sex and context on f0 minimum ($F_{(1,74)}=151.98, p=9.03^{19}$), maximum ($F_{(1,74)}=95.47, p=2.06^{14}$), and SD ($F_{(1,74)}=15.95, p=.0003$). An interaction was observed between age and sex on mean f0 ($F_{(2,74)}=4.61, p=.045$). Finally, a 3-way interaction was observed between age, sex and context on minimum f0 ($F_{(2,74)}=6.52, p=.01$). There were no main effects of age.

Post hoc analyses were conducted to decompose the main effect of context, which showed that connected speech had a lower minimum f0 ($t_{(79)}=12.81, p=5.57^{21}$) and a higher maximum f0 ($t_{(79)}=-17.77, p=2.51^{29}$) and mean f0 ($t_{(79)}=-6.72, p=2.58^{9}$) than sustained vowels. F0 SD was also higher in connected speech compared with sustained vowel ($t_{(79)}=-24.94, p=3.38^{39}$), while HNR was lower in connected speech ($t_{(79)}=13.73, p=1.22^{22}$). Mean amplitude was significantly lower in connected speech ($t_{(79)}=11.66, p=7.55^{19}$), while amplitude SD was higher in connected speech compared with sustained vowel ($t_{(79)}=-23.32, p=3.67^{37}$).

Another series of post hoc analyses were also conducted to decompose the context by age interaction on the f0 and the amplitude SD of the three age groups separately. Results showed that minimum f0 was lower in connected speech compared with sustained vowel for the young ($t_{(19)}=-6.15, p=7^{6}$), middle-aged ($t_{(27)}=-9.32, p=6.28^{10}$) and older group ($t_{(31)}=-8.07, p=4.09^{9}$), but the difference between the two contexts was larger for the middle-aged group (**Fig.18a**). In contrast, maximum f0 was higher in connected speech compared with sustained vowel for the young ($t_{(19)}=10.78, p=1.54^{9}$), middle-aged ($t_{(27)}=11.77, p=3.88^{12}$) and older group ($t_{(31)}=9.9, p=4.11^{11}$), but the difference between the two contexts was again larger for the middle-aged group (**Fig.18b**). Mean f0 values followed a different pattern: mean f0 was higher in connected speech compared with sustained vowel for the middle-aged ($t_{(27)}=3.87, p=.001$) and older group ($t_{(31)}=6.45, p=3.4^{7}$), but similar between the two contexts for the young ($t_{(19)}=1.15, p=.26$; **Fig.18c**). Amplitude SD values were significantly higher in connected speech compared with sustained vowel for the young ($t_{(19)}=14.85, p=6.59^{12}$), middle-aged ($t_{(27)}=16.28, p=1.75^{15}$) and older group ($t_{(31)}=14.26, p=3.71^{15}$), but the difference between the two contexts was again larger for the middle-aged group (**Fig.18d**). In particular, older adults had lower f0 and amplitude SD values compared with younger adults for sustained vowels, but f0 and amplitude SD values were similar between age groups for connected speech.

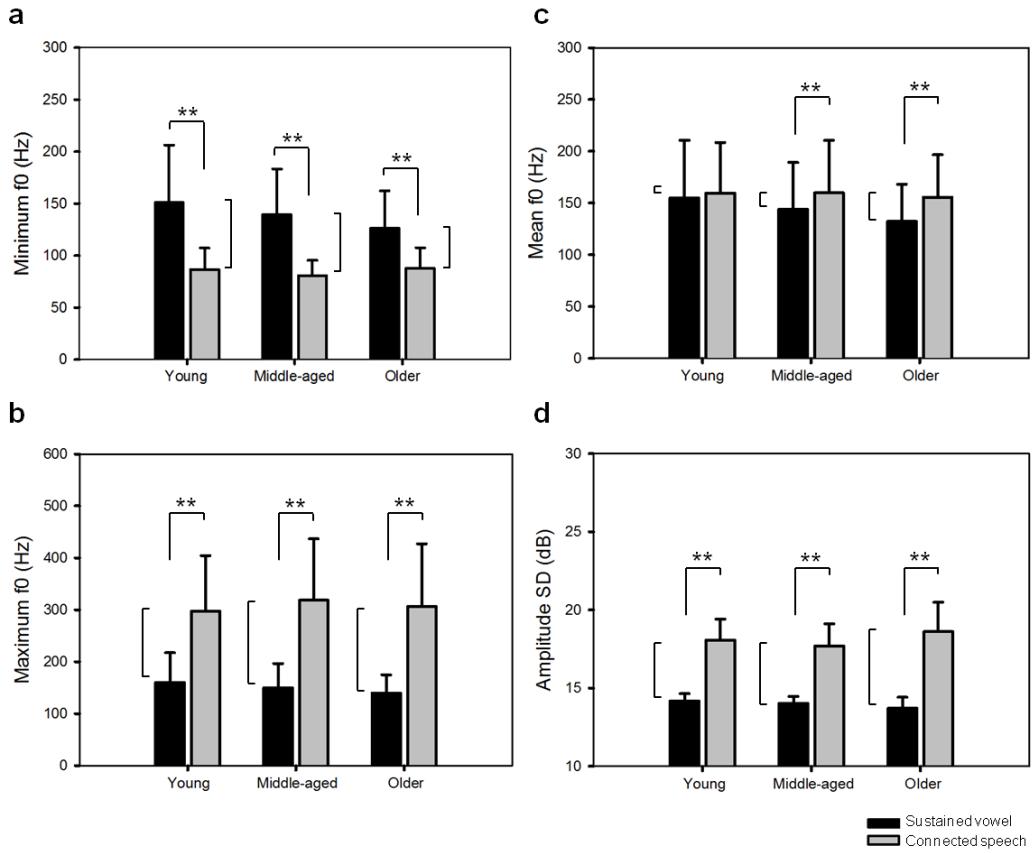


Figure 18. Interaction between age and context on voice acoustic measures. Minimum f0 (a), maximum f0 (b), mean f0 (c) and amplitude SD (d) are displayed for each age group and each context. Single asterisks indicate significance at $p<0.05$, while double asterisks indicate significance at $p<0.01$. Error bars represent the standard error of the mean.

To decompose the context by sex interaction on f0, post-hoc analyses were performed, which revealed that minimum f0 was lower in connected speech compared with sustained vowel for both men ($t_{(44)}=-13.18$, $p=7.1\cdot^{17}$) and women ($t_{(34)}=-15.79$, $p=3.23\cdot^{17}$), with a stronger effect of context for women. In addition, the maximum f0 was higher in connected speech compared with sustained vowel for both men ($t_{(44)}=16.31$, $p=2.88\cdot^{20}$) and women ($t_{(34)}=20.72$, $p=7.27\cdot^{21}$), with again a stronger effect of context for women. Similar results were observed for f0 SD, which was higher in connected speech compared with sustained vowel for both men ($t_{(44)}=19.16$, $p=5.67\cdot^{23}$) and women ($t_{(34)}=19.2$, $p=8.01\cdot^{20}$), with a slightly stronger effect of context for women.

For the age by sex interaction on mean f0, post-hoc analyses demonstrated that there was no significant difference between the mean f0 of the three age groups neither for men nor women. However, the lowest mean f0 value for men was observed in the middle-aged group, whereas for women the lowest mean f0 value was observed in the oldest group.

Finally, to decompose the 3-way context by age by sex interaction on minimum f0, post-hoc analyses were performed. Results showed that, for both sex, minimum f0 was lower in connected speech compared with sustained vowel for the young (men: $t_{(10)}=-6.93$, $p=4^{-5}$; women: $t_{(8)}=-10.39$, $p=6^{-6}$), middle-aged (men: $t_{(13)}=-7.72$, $p=3^{-6}$; women: $t_{(13)}=-15.09$, $p=1.28^{-9}$) and the older groups (men: $t_{(19)}=-8.16$, $p=1.24^{-7}$; women : $t_{(11)}=-7.76$, $p=9^{-6}$). However, the difference between the contexts decreased with age only for women.

3.4. Moderated mediation analyses

The direct relationship between age and voice self-assessment, as assessed by the VHI and the modified CAPE-V, was not significant [c' path]. Depression and anxiety scores did not moderate the relationship between age and voice self-assessment [$W \rightarrow c'$ path]. Therefore, the age of a healthy adult did not affect his assessment of his own voice, and his anxiety or depression scores did not influence this relationship. Next, the direct effect of anxiety and depression scores on acoustic measures of the voice was examined [$W \rightarrow M$]. Results revealed that neither anxiety nor depression scores significantly influenced acoustics measures of voice. As expected, most acoustic measures were affected by sex, except mean amplitude [sex $\rightarrow M$]. However, sex had no influence on voice self-assessment [sex $\rightarrow Y$]. Thus, the sex of healthy adult did not affect their assessment of their own voice. The well-accepted notion that the aging process affects voice acoustical measures was again assessed after controlling for anxiety and depression scores. The analyses revealed that the effect of age on acoustic measures [a path] was still significant for some measures when anxiety scores were controlled (**Fig.19, Table 5 and 7**; age is associated with reduced minimum, maximum and mean f0, and increased f0 SD), and for other acoustic measures when depression scores were controlled (**Fig.20, Table 6 and 8**; age is associated with increased f0 SD, and decreased HNR). However, neither depression nor anxiety scores moderated the relationship between age and acoustics [$W \rightarrow a$ path]. Consequently, this analyse confirmed that aging affects voice acoustics, and revealed that anxiety or depression scores did not alter the effects of age on voice acoustics.

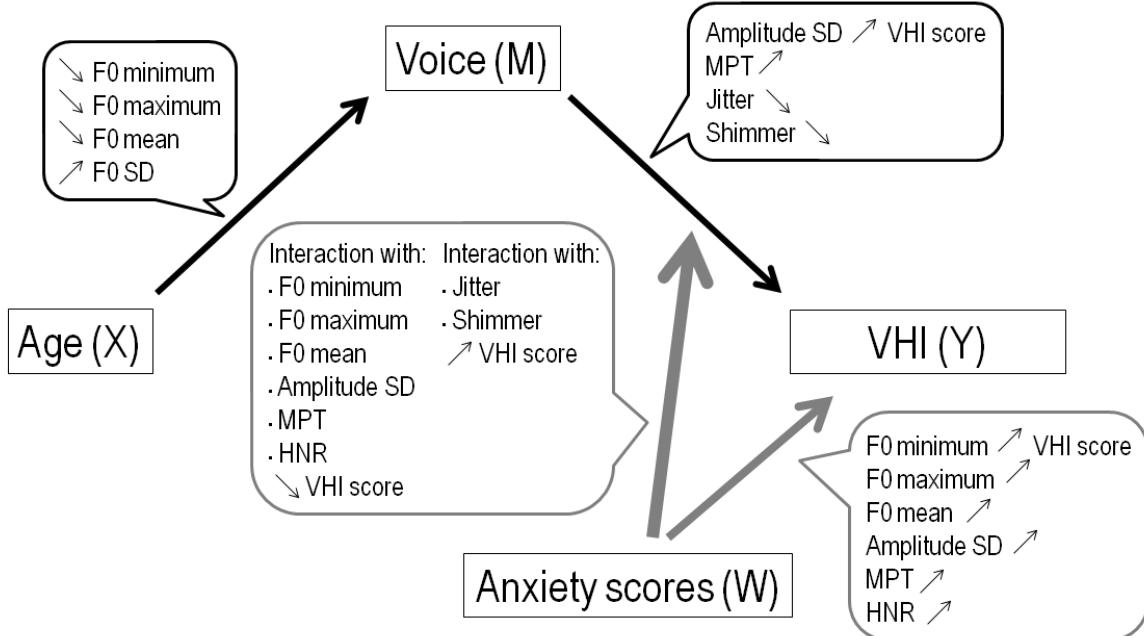


Figure 19. Results of the moderated mediation analyses with anxiety scores as the moderator (W). The relationship between age and voice self-assessment was mediated by acoustic measures and moderated by anxiety scores. From the left: Advancing age was associated with low minimum, maximum and mean f0, and high f0 SD. High amplitude SD and MPT values were associated with high voice self-assessment, while high jitter and shimmer values were associated with low voice self-assessment. The interaction between most voice acoustic measures (i.e., f0 minimum, maximum, and mean, amplitude SD, MPT and HNR) and high anxiety scores were associated with low voice self-assessment (indicating good voice satisfaction), while the interaction between the remaining voice acoustic measures (i.e., jitter and shimmer) and high anxiety scores were associated with high voice self-assessment (indicating low voice satisfaction). Finally, high anxiety scores were associated with high VHI scores (thus indicating low voice satisfaction) in six models out of ten. The size of the arrows corresponds to the quantity of acoustic measures involved in that relationship

In our conceptual framework, voice acoustics was hypothesized to predict voice self-assessment. Indeed, voice acoustics had a significant influence on voice self-assessment but only for a few measures [b path]. Specifically, high amplitude SD and MPT values were associated with high voice self-assessment scores, while high jitter and shimmer values were associated with a decline in self-assessment scores as assessed with the VHI when anxiety scores were controlled (Fig.19, Table 5). High f0 SD and jitter values were associated with a decline in self-assessment as assessed with the VHI when depression scores were controlled (Fig.20, Table 6). However, anxiety scores had a strong influence on the relationship between acoustics and voice self-assessment [W → b path] when assessed with the VHI. Indeed, the relationships between all acoustic measures (with the exception of f0 SD and mean amplitude) and the VHI were moderated by anxiety scores (Fig.19, Table 5). In particular, the interaction between most voice acoustic measures (i.e., f0 minimum, maximum, and mean, amplitude SD, MPT and HNR) and high anxiety scores were associated with a decline in voice self-assessment, while the interaction between the remaining voice acoustic measures

(i.e., jitter and shimmer) and high anxiety scores were associated with an increase in voice self-assessment. Depression scores also moderated the relationship between half acoustic measures and the VHI (**Fig.20**, **Table 6**; amplitude SD, MPT, jitter, shimmer and HNR). In particular, the interaction between amplitude SD, MPT, HNR and high depression scores were associated with a decline in voice self-assessment, while the interaction between jitter and shimmer and high depression scores were associated with an increase in voice self-assessment (thus indicating low voice satisfaction). When voice was assessed with the modified CAPE-V, only the relationship between MPT and voice self-assessment was moderated by depression scores (**Table 8**). Indeed, the interaction between MPT and high depression scores were associated with a decline in voice self-assessment. In summary, these analyses indicate that the actual voice acoustic quality influenced voice self-assessment and that anxiety and depression scores have a strong influence on this relationship.

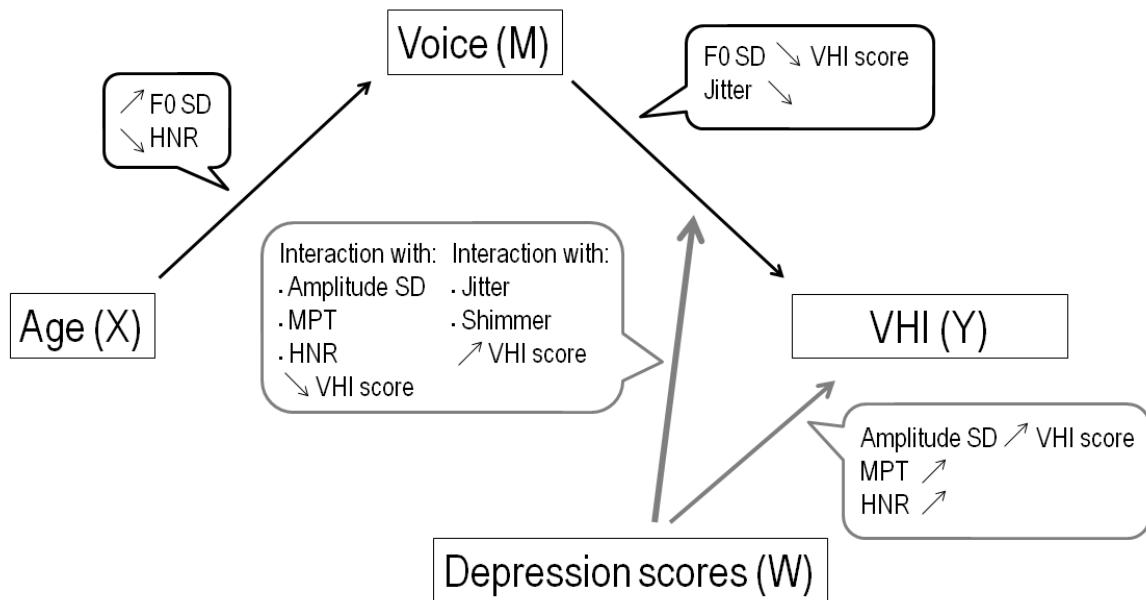


Figure 20. Results of the moderated mediation analyses with depression scores as the moderator (W). The relationship between age and voice self-assessment was mediated by acoustic measures and moderated by depression scores. From the left: Advancing age increased f0 SD and decreased HNR. High f0 SD and jitter values were associated with low voice self-assessment. The interaction between amplitude SD, MPT, HNR and high depression scores were associated with low voice self-assessment (indicating good voice satisfaction), while the interaction between jitter, shimmer and high depression scores were associated with high voice self-assessment (indicating low voice satisfaction). Finally, depression scores had a limited direct influence on VHI scores (three models out of ten). The size of the arrows corresponds to the quantity of acoustic measures involved in that relationship

The direct effect of anxiety and depression scores on voice self-assessment was also examined [W-> Y]. Results revealed that high anxiety scores were associated with an increase in voice self-assessment as assessed with the VHI (thus indicating low voice satisfaction) in 6 models out of 10 (**Fig.19**, **Table 5**). In contrast, high depression scores had a limited influence on voice self-assessment as assessed with the VHI (3

models out of 10; **Fig.20, Table 6**). Finally, neither anxiety nor depression scores significantly influenced voice self-assessment as assessed with the modified CAPE-V (**Table 7 and 8**). Finally, the relationship between age and self-assessment mediated by acoustic measures [ab paths] was moderated by anxiety scores [$W \rightarrow ab$ paths] in two contexts. Specifically, the higher the anxiety scores, the more the interaction between age and shimmer, and between age and HNR, was associated with a high voice self-assessment as assessed with the modified CAPE-V (thus indicating low voice satisfaction). All these results are detailed in **Table 5, 6, 7 and 8**.

Paths	Acoustical measures	F0 minimum	F0 maximum	F0 mean	F0 SD	Mean amplitude	Amplitude SD	MPT	Jitter	Shimmer	HNR
a	β	-0.784	-0.684	-0.714	0.003	0.008	-0.012	-0.015	0.000	0.001	-0.091
	p	0.009	0.022	0.016	0.022	0.917	0.135	0.866	0.341	0.066	0.073
W → M	β	-4.642	-4.687	-4.434	0.002	-0.288	-0.022	-0.052	0.000	0.003	-0.016
	p	0.160	0.158	0.179	0.909	0.724	0.805	0.958	0.833	0.508	0.978
W → a	β	0.096	0.093	0.091	0.000	0.006	0.000	-0.005	0.000	0.000	0.003
	p	0.094	0.105	0.109	0.691	0.678	0.784	0.758	0.754	0.560	0.793
Sex → M	β	75.930	78.713	77.345	-0.046	-0.604	0.269	-5.526	-0.003	-0.016	2.096
	p	0.000	0.000	0.000	0.040	0.615	0.043	0.000	0.009	0.005	0.014
b	β	0.068	0.058	0.065	-23.441	-0.228	5.647	0.561	-588.595	-79.722	0.489
	p	0.067	0.113	0.082	0.097	0.349	0.006	0.007	0.006	0.043	0.102
c'	β	-0.032	-0.047	-0.038	0.022	-0.036	0.020	-0.017	0.036	-0.021	0.005
	p	0.667	0.525	0.607	0.801	0.633	0.785	0.801	0.598	0.767	0.954
W → b	β	-0.014	-0.014	-0.014	5.004	0.065	-1.245	-0.152	187.667	28.079	-0.168
	p	0.005	0.005	0.006	0.155	0.194	0.001	0.000	0.000	0.000	0.014
W → Y	β	2.355	2.287	2.318	0.174	-3.136	18.556	3.110	0.306	-0.760	4.486
	p	0.024	0.027	0.026	0.843	0.292	0.001	0.003	0.675	0.356	0.012
W → c'	β	0.016	0.019	0.017	0.001	0.010	0.000	-0.002	-0.010	0.004	-0.001
	p	0.255	0.190	0.227	0.948	0.497	0.991	0.861	0.452	0.765	0.954
Sex → Y	β	0.299	0.847	0.377	0.720	0.453	1.058	1.017	1.543	1.585	1.384
	p	0.903	0.737	0.881	0.582	0.714	0.374	0.423	0.174	0.183	0.276
W → a+b	β	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Table 5. Results of the moderated mediation analyses with anxiety scores as the moderator (W) and VHI as the dependent (Y) measure. For each of the different path, the linear regressions coefficients (β) and significance (p) are reported and listed for each acoustical measure.

Paths	Acoustical measures	F0 minimum	F0 maximum	F0 mean	F0 SD	Mean amplitude	Amplitude SD	MPT	Jitter	Shimmer	HNR
a	β	-0.240	-0.163	-0.196	0.003	0.086	-0.008	0.022	0.000	0.000	-0.083
	p	0.182	0.365	0.270	0.003	0.051	0.090	0.677	0.069	0.201	0.009
W → M	β	6.300	5.742	6.240	-0.012	2.127	0.072	1.932	0.000	-0.006	0.111
	p	0.173	0.213	0.171	0.578	0.058	0.564	0.161	0.873	0.275	0.889
W → a	β	-0.082	-0.071	-0.079	0.000	-0.035	-0.001	-0.034	0.000	0.000	0.000
	p	0.312	0.378	0.325	0.659	0.075	0.597	0.164	0.740	0.180	0.977
Sex → M	β	78.060	8.814	79.386	-0.047	-0.320	0.283	-5.325	-0.003	-0.018	2.101
	p	0.000	0.000	0.000	0.031	0.779	0.028	0.000	0.007	0.001	0.012
b	β	0.035	0.017	0.027	-23.391	-0.041	1.188	0.207	-366.734	-52.409	0.240
	p	0.331	0.635	0.449	0.039	0.815	0.375	0.134	0.037	0.075	0.247
c'	β	-0.047	-0.053	-0.051	-0.011	-0.077	-0.045	-0.025	-0.019	-0.025	-0.043
	p	0.347	0.276	0.305	0.840	0.118	0.368	0.555	0.673	0.571	0.387
W → b	β	-0.013	-0.012	-0.012	7.397	0.072	-0.998	-0.215	26.473	49.169	-0.239
	p	0.075	0.090	0.083	0.125	0.391	0.030	0.000	0.000	0.000	0.012
W → Y	β	2.084	2.101	2.071	-0.882	-4.962	14.703	5.056	-0.646	-0.957	5.429
	p	0.248	0.250	0.253	0.470	0.358	0.036	0.002	0.554	0.378	0.035
W → c'	β	0.024	0.024	0.024	0.017	0.041	0.014	-0.017	-0.003	-0.013	0.012
	p	0.295	0.282	0.281	0.505	0.061	0.561	0.423	0.883	0.561	0.609
Sex → Y	β	-0.794	0.494	-0.277	-0.174	0.008	0.664	0.011	1.176	1.234	1.107
	p	0.768	0.857	0.920	0.890	0.995	0.600	0.993	0.326	0.296	0.394
W → a+b	β	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Table 6. Results of the moderated mediation analyses with depression scores as the moderator (W) and VHI as the dependent (Y) measure. For each of the different path, the linear regressions coefficients (β) and significance (p) are reported and listed for each acoustical measure.

Paths	Acoustical measures	F0 minimum	F0 maximum	F0 mean	F0 SD	Mean amplitude	Amplitude SD	MPT	Jitter	Shimmer	HNR
a	β	-0.784	-0.687	-0.714	0.003	0.008	-0.012	-0.015	0.000	0.001	-0.091
	p	0.009	0.022	0.016	0.022	0.917	0.135	0.866	0.341	0.066	0.073
W → M	β	-4.642	-4.687	-4.434	0.002	-0.288	-0.022	-0.052	0.000	0.003	-0.016
	p	0.160	0.158	0.176	0.909	0.724	0.805	0.958	0.833	0.508	0.978
W → a	β	0.096	0.093	0.091	0.000	0.006	0.000	-0.005	0.000	0.000	0.003
	p	0.094	0.105	0.109	0.691	0.678	0.784	0.758	0.754	0.560	0.793
Sex → M	β	75.930	78.713	77.345	-0.046	-0.604	0.269	-5.526	-0.003	-0.016	2.096
	p	0.000	0.000	0.000	0.040	0.615	0.043	0.000	0.009	0.005	0.014
b	β	0.006	0.008	0.005	-4.772	0.069	-0.317	0.264	-71.874	36.909	-0.035
	p	0.892	0.862	0.915	0.777	0.813	0.902	0.319	0.803	0.457	0.922
c'	β	-0.127	-0.127	-0.128	-0.102	-0.120	-0.121	-0.101	-0.100	-0.146	-0.116
	p	0.177	0.169	0.170	0.322	0.190	0.205	0.257	0.289	0.107	0.227
W → b	β	-0.006	-0.006	-0.006	3.049	-0.008	-0.129	-0.072	47.308	7.901	-0.075
	p	0.337	0.318	0.345	0.469	0.899	0.773	0.157	0.376	0.390	0.358
W → Y	β	-0.054	-0.026	-0.062	-0.948	-0.250	1.151	0.510	-0.749	-1.215	1.050
	p	0.966	0.984	0.961	0.371	0.944	0.860	0.696	0.457	0.249	0.624
W → c'	β	0.029	0.029	0.029	0.019	0.026	0.025	0.018	0.019	0.025	0.020
	p	0.107	0.101	0.103	0.362	0.147	0.177	0.323	0.300	0.147	0.296
Sex → Y	β	0.939	0.867	1.012	-0.076	-0.617	-0.347	-0.411	-0.189	0.615	0.278
	p	0.759	0.782	0.746	0.961	0.679	0.821	0.805	0.903	0.684	0.857
W → a+b	β	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	YES (+)	YES (+)

Table 7. Results of the moderated mediation analyses with anxiety scores as the moderator (W) and modified CAPE-V as the dependent (Y) measure. For each of the different path, the linear regressions coefficients (β) and significance (p) are reported and listed for each acoustical measure.

Paths	Acoustical measures	F0 minimum	F0 maximum	F0 mean	F0 SD	Mean amplitude	Amplitude SD	MPT	Jitter	Shimmer	HNR
a	β	-0.240	-0.163	-0.196	0.003	0.086	-0.008	0.022	0.000	0.000	-0.083
	p	0.182	0.365	0.270	0.003	0.051	0.090	0.677	0.069	0.201	0.009
W → M	β	6.300	5.742	6.240	-0.012	2.127	0.072	1.932	0.000	-0.006	0.111
	p	0.173	0.213	0.171	0.578	0.058	0.564	0.161	0.873	0.275	0.889
W → a	β	-0.082	-0.071	-0.079	0.000	-0.035	-0.001	-0.034	0.000	0.000	0.000
	p	0.312	0.378	0.325	0.659	0.075	0.597	0.164	0.740	0.180	0.977
Sex → M	β	78.060	8.814	79.386	-0.047	-0.320	0.283	-5.325	-0.003	-0.018	2.101
	p	0.000	0.000	0.000	0.031	0.779	0.028	0.000	0.007	0.001	0.012
b	β	0.002	-0.001	-0.002	0.131	0.177	-0.603	0.292	-66.638	37.043	-0.158
	p	0.959	0.981	0.969	0.992	0.401	0.716	0.110	0.772	0.342	0.540
c'	β	-0.063	-0.063	-0.064	-0.068	-0.079	0.071	-0.025	-0.052	-0.066	-0.077
	p	0.306	0.294	0.292	0.327	0.180	0.252	0.650	0.391	0.257	0.212
W → b	β	-0.003	-0.003	-0.003	1.478	-0.069	-0.136	-0.195	94.582	15.664	-0.077
	p	0.702	0.696	0.721	0.803	0.497	0.810	0.004	0.249	0.269	0.506
W → Y	β	-0.485	-0.446	-0.504	-1.213	2.981	0.939	3.494	-1.285	-1.055	0.732
	p	0.826	0.842	0.820	0.423	0.647	0.913	0.092	0.378	0.466	0.816
W → c'	β	0.028	0.028	0.029	0.028	0.034	0.029	-0.013	0.018	0.010	0.024
	p	0.306	0.301	0.300	0.379	0.200	0.328	0.636	0.541	0.725	0.397
Sex → Y	β	-0.263	0.007	0.016	-0.394	-0.463	-0.274	-0.070	-0.003	0.747	0.258
	p	0.937	0.998	0.996	0.800	0.758	0.861	0.965	0.999	0.635	0.873
W → a+b	β	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Table 8. Results of the moderated mediation analyses with depression scores as the moderator (W) and modified CAPE-V as the dependent (Y) measure. For each of the different path, the linear regressions coefficients (β) and significance (p) are reported and listed for each acoustical measure.

3.5. Anxiety and depression scores

Independent t-tests on anxiety and depression scores revealed that the older adults had lower anxiety scores compared to the young ($t_{(30)}=3.129$, $p=.004$; mean score 3.41 ± 1.72 and 5.45 ± 2.58 , respectively) and middle-aged adults ($t_{(58)}=2.026$, $p=.047$; mean score 3.41 ± 1.72 and 4.89 ± 3.73 , respectively). No difference was observed between the anxiety levels of younger and middle-aged adults ($t_{(46)}=.576$, $p=.567$). For depression scores, older adults had similar scores compared to the young ($t_{(50)}=.856$, $p=.396$; mean score 1.25 ± 1.14 and 1.6 ± 1.82 , respectively) and middle-aged adults ($t_{(58)}=1.38$, $p=.173$; mean score 1.25 ± 1.14 and 2.0 ± 2.83 , respectively). No difference was observed between the level of anxiety of younger and middle-aged adults ($t_{(46)}=-.555$, $p=.582$). Of note, anxiety and depressive state levels of the three age groups were within normal limits.

4. Discussion

The primary goal of this study was to examine the effect of age on voice production, focusing on the ability to control voice amplitude and frequency. Our results suggest that these abilities are preserved in aging, at least within the age range that we studied (20-75 years), in the context of sustained and steady vowel production (i.e. no online modulation). We also compared conversational voice in different contexts (steady vowels and connected speech), which revealed an age difference in the effect of context on voice production. The second objective of this study was to examine the relationships between age, voice acoustics, voice self-assessment and depression and anxiety scores. Finally, our results show, for the first time, that anxiety and depression scores moderate the relationships between voice production in aging and voice self-assessment. These results are detailed in the following paragraphs.

4.1. Effects of age on voice acoustic measures

The results of the present study confirm that the aging voice is less stable and noisier. Specifically, we showed that jitter values significantly increased with age, consistent with previous findings (Wilcox and Horii 1980; Linville and Fisher 1985; Brown et al 1989; Orlikoff 1990; Dehqan et al 2013; Goy et al 2013). We also observed a decrease in HNR values with age, consistent with some studies proposing HNR as an indicator of voice aging (Decoster and Debruyne 1997; Ferrand 2002). In addition, voice stability decreased with age as measured by the f0 SD and shimmer, which is consistent with a previous study (Goy et al 2013). Perturbation of both frequency and amplitude could result from an increasing amount of total vocal fold stiffness, as illustrated by the Ishizaka–Flanagan model as described in Baken (Baken 2005). However, since no anatomical measures were made in the present study, it is not possible to attribute changes in the acoustics of the voice to precise anatomical alterations.

We also confirmed some effects of age on voice acoustic measures, including a significant decrease in F0 values in women (Honjo and Isshiki 1980; Torre and Barlow 2009; Ma and Love 2010; Da Silva et al 2011; Stathopoulos et al 2011; Dehqan et al 2013; Goy et al 2013), and no change in f0 values in men (Stathopoulos et al 2011; Goy et al 2013). For MPT, consistent with previous reports, we showed that it was unaffected by age (Maslan et al 2011; Goy et al 2013), even though MPT should depend upon several factors such as, respiratory volumes, airflow rate, task comprehension and maximal effort, factors that one would expect to decline with age. However, there is limited evidence suggesting that MPT is not systematically associated with either airflow or vital respiratory capacity (Solomon et al., 2000).

4.2. Voice control mechanisms

Although most acoustical measures varied as a function of age, there was no interaction between age and amplitude, suggesting that amplitude control mechanisms are preserved in older adults, at least in the age range that we studied (up to 75 years). This result is consistent with two previous studies that demonstrated that elderly women (Mazzetto de Menezes et al 2014) and men (Bier et al 2014) can produce high and low amplitude voice in aging. Muscular and phonatory compensation might explain the lack of an interaction between age and amplitude. Indeed, elderly adults display a greater expansion of the chest and lungs and more abdominal movement than necessary when asked to increase vocal amplitude (Stathopoulos and Sapienza 1997; Baker et al 2001; Huber and Spruill 2008). They also initiate phonation at a higher lung volume and use greater percent of their lung volume per syllable (Hoit 1987; Hoit et al 1989; Sperry and Klich 1992), and they have a more pressed pattern of glottal vibration than young adults (Ahmad et al 2012). The use of these compensatory mechanisms may therefore allow them to produce low and high amplitude voice, especially when produced in isolation, as assessed in the present study.

Our results also indicated that all groups were capable of producing low, normal and high frequency voice that were significantly different. This suggests that frequency control mechanisms may also be preserved in older adults, at least within the age range that we studied, with the exception of the harmonic-to-noise ratio (HNR), which was significantly lower in older adults but only for the low frequency voice compared with the normal voice, a pattern that was not found in young and middle-aged groups. Older adults are able to produce subglottal pressure changes (Stathopoulos et al 2011; Goy et al 2013; Maruthy and Ravibabu 2015). Because raised subglottal pressure also yields an increase in fundamental frequency (Gramming et al 1988), it is possible that older adults rely on subglottal pressure changes to produce different voice frequency levels. These results are particularly important in relation to differential voice diagnostic in an aging population. Indeed, difficulty to produce high or low voice frequency and/or amplitude may be an indicator of abnormal aging. It will however remain important to examine the voice of older adults (80+) to determine whether

amplitude and control frequency mechanisms deteriorate later in life, and to investigate potential interactions between voice frequency and amplitude control mechanisms. In addition, it will be important to examine the effect of age on the ability to modulate voice frequency online, which could show a different aging trajectory. That is, it is possible that older adults are capable of producing high and low frequency voice separately, but they may have difficulty modulating the frequency of their voice online, as they speak, which was not assessed as part of the present study. Future studies should also consider longitudinal protocols in order to track the progression of voice and speech characteristics with age (Hunter et al 2012), as well as incorporate measures of hearing, which may contribute to the relationship between age and voice production/self-assessment.

4.3. Connected speech

One of the most important finding of this study is that of age differences in voice acoustics across contexts (sustained vowel versus connected speech). Indeed, our results demonstrated an interaction between age and context on voice acoustics measures: the difference between sustained vowel and connected speech was stronger for middle-aged and older adults compared to young speakers. In particular, older adults had lower minimum, maximum and mean f0 and amplitude SD values compared with younger adults for sustained vowels, but similar f0 and amplitude SD values compared with younger adults for connected speech. Because speech fundamental frequency is due to the physiological characteristics of the vocal folds and control of the larynx musculature (Honjo and Isshiki 1980; Bloch and Behrman 2001; Baken 2005; Sato et al 2011), the absence of change observed in mean and range speech fundamental frequency here suggests that the state of the tissue and general motor control did not deteriorate with age (at least in the age range studied), or did not deteriorate enough to have a functional impact. These results indicate that, while sustained vowel production was affected negatively by age, connected speech was less vulnerable to aging. Previous studies have examined the effect of age on voice acoustics using connected speech, comparing young to older adult performances within each context (Goy et al 2013; Bier et al 2014; Watts et al 2015). However, no other study, to our knowledge, has examined differences between contexts (sustained vowel, connected speech) among age groups.

The type of voice and/or speech task is known to significantly influence voice acoustics, with connected speech associated with more variations and a broader range of frequencies and amplitude (Winkworth et al 1994; Sapienza and Stathopoulos 1995; Hollien et al 1997; Bohnenkamp et al 2002; Zraick et al 2004; Zraick et al 2005). It has been argued that in order to improve ecological validity of voice assessments, perceptual and instrumental assessments of voice in sustained vowels and continuous speech contexts should be conducted (Rabinov et al 1995; Revis et al 1999; Carding et al 2000; Maryn et al 2010; Goy et al 2013). Because of its large variations in f0 and harmonicity, connected speech may represent a more reliable

estimate of a person's intonation in a naturalistic setting (Baken 1987; Yiu et al 2000; Bhuta et al 2004). Variability in connected speech may reflect the continuous changing vocal fold settings and conditions of voice onset and offset that occur in real-life situations (Fourcin and Abberton 2008; Fourcin 2009). And yet, connected speech is not systematically the preferred signal for objective measurement of voice, in part because it is more difficult to elicit and, because it is intrinsically a less controlled measure. However, in the last years, innovative analyses techniques for connected speech such as cepstral peak prominence (i.e. an acoustic measure of voice quality correlated with dysphonia severity, which integrates several measures describing the aperiodicity and waveform of the acoustic voice signal) have facilitated and popularized measures on connected speech in voice clinics (Heman-Ackah et al 2003; Maryn et al 2010; Fraile and Godino-Llorente 2014; Watts et al 2015). The present finding adds to the growing literature suggesting that adding connected speech measures to the standard clinical assessments could be useful in obtaining otherwise inaccessible data on voice.

4.4. Voice self-assessment

Given the changes that the human voice undergoes throughout normal aging, the second objective of this study was to examine the factors that affect the perception of one's voice in aging. Two types of factors were examined: the acoustical properties of the voice, as well as anxiety and depression scores. Our results demonstrate, for the first time, that anxiety and depression scores in healthy, non-clinically anxious or depressed adults moderated the relationships between age, voice acoustics and voice self-assessment, meaning that anxiety and depression scores are associated with an increase in the negative effect that some voice instability measures have on voice self-assessment difficulties. These results thus support the hypothesis that both depression and anxiety scores play an important role in the voice self-assessment.

Depression and anxiety scores have been widely associated with poor self-esteem levels (Watson et al 2002; Riketta 2004; Lee and Hankin 2009; Sowislo and Orth 2012; Orth and Robins 2013) and weaker self-rated health and perceived life satisfaction (Rouch et al 2014). However, the study of the effects of depression and anxiety scores on self-assessment typically does not include an assessment of voice quality, despite the key importance of voice on human interactions. The only studies that examined voice self-assessment in relation with psychological states studied populations with severe voice disabilities and voice pathologies. They observed that negative voice self-assessment and speech in patients who suffered partial or total laryngectomies was associated with higher levels of depression and anxiety and withdrawal from social activities (Devins et al 1994; Nalbadian et al 2001; Birkhaug et al 2002; de Maddalena 2002; Hanna et al 2004; Boscolo-Rizzo et al 2008; Danker et al 2010). Our results demonstrate that the relationship between voice self-assessment and psychological states also holds in the normal population. This suggests that, because of the

importance of voice quality in daily communication and social interactions, depression and anxiety scores have a significant influence on the perception of one's voice quality. Thus, it might be useful to assess depression and anxiety scores systematically in future studies of voice self-assessment, as well as in people with a voice complaint.

4.5. Conclusion

By characterizing maximal voice abilities in terms of both frequency and amplitude in young and older healthy adults, the current results increase the knowledge base on the normal aging of the human voice, and hold the potential to inform clinical practice. Since acoustic analyses are widely used in voice evaluation protocols, a thorough understanding of how the voice is affected by internal and external factors such as age, context, the ability to modulate voice frequency and amplitude, and psychological state is critical to improve diagnostic and care for people with voice disorders.

5. Acknowledgments

The authors thank all the participants. This study was supported by grants from the “Fonds de la Recherche du Québec Société-Culture” (FRQ-SC) and the “Fonds de la Recherche du Québec en Santé” (FRQS) to P.T. and from a graduate scholarship from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) to C.L.L. P.T. and M.J.G. hold Career Awards from the “Fonds de Recherche du Québec – Santé” (FRQS).

6. Conflict of interest statement

All authors report no conflict of interest and no constraints on publishing.

7. References

- Ahmad K, Yan Y, Bless D (2012) Vocal Fold Vibratory Characteristics of Healthy Geriatric Females—Analysis of High-Speed Digital Images. *J Voice*. doi : 10.1016/j.jvoice.2011.12.002
- Awan SN (2011) The effect of smoking on the dysphonia severity index in females. *Folia Phoniatr Logop* 63:65–71. doi : 10.1159/000316142
- Baken RJ (1987) Clinical measurement of speech and voice.
- Baken RJ (2005) The aged voice: A new hypothesis. *J Voice* 19:317–325.
- Baker KK, Ramig LO, Sapir S, et al (2001) Control of vocal loudness in young and old adults. *J Speech Lang Hear Res* 44:297–305.
- Baron RM, Kenny DA (1986) The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations. *J Pers Soc Psychol* 51:1173–1182.
- Benjamini Y, Hochberg Y (1995) Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *J R Stat Soc Ser B* 57:289 – 300. doi : 10.2307/2346101

- Bhuta T, Patrick L, Garnett JD (2004) Perceptual evaluation of voice quality and its correlation with acoustic measurement. *J Voice* 18:299–304. doi : 10.1016/j.jvoice.2003.12.004
- Bier SD, Watson CI, McCann CM (2014) Using the perturbation of the contact quotient of the EGG waveform to analyze age differences in adult speech. *J Voice* 28:267–273. doi : 10.1016/j.jvoice.2013.10.021
- Birkhaug EJ, Aarstad HJ, Aarstad AKH, Olofsson J (2002) Relation between mood, social support and the quality of life in patients with laryngectomies. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 259:197–204.
- Bloch I, Behrman A (2001) Quantitative analysis of videostroboscopic images in presbylarynges. *Laryngoscope* 111:2022–2027.
- Boersma P, Weenink D (2012) Praat: doing phonetics by computer.
- Bohnenkamp TA, Andrews M, Shrivastav R, Summers A (2002) Changes in children's voices: The effect of cognitive cues. *J Voice* 16:530–543.
- Boscolo-Rizzo P, Maronato F, Marchiori C, et al (2008) Long-term quality of life after total laryngectomy and postoperative radiotherapy versus concurrent chemoradiotherapy for laryngeal preservation. *Laryngoscope* 118:300–306.
- Brown WS, Morris RJ, Michel JF (1989) Vocal jitter in young adult and aged female voices. *J Voice* 3:113–119.
- Carding P, Carlson E, Epstein R, et al (2000) Formal perceptual evaluation of voice quality in the United Kingdom. *Logoped Phoniatr Vocol* 25:133–138.
- Da Silva PT, Master S, Andreoni S, et al (2011) Acoustic and long-term average spectrum measures to detect vocal aging in women. *J Voice* 25:411–419.
- Danker H, Wollbrück D, Singer S, et al (2010) Social withdrawal after laryngectomy. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 267:593–600. doi : 10.1007/s00405-009-1087-4
- Darrigrand B, Mazaux JM (2000) L'Échelle de communication verbale de Bordeaux (E.C.V.B.), Ortho Édit. Isbergues, Bordeaux
- De Maddalena H (2002) The influence of early speech rehabilitation with voice prostheses on the psychological state of laryngectomized patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 259:48–52.
- de Menezes M, Keyla S, Master S, Guzman M, et al (2014) Differences in Acoustic and Perceptual Parameters of the Voice Between Elderly and Young Women at Habitual and High Intensity. *Acta Otorrinolaringol* (English Ed 65:76–84. doi: 10.1016/j.otoeng.2013.11.012
- Decoster W, Debruyne F (1997) The ageing voice: changes in fundamental frequency, waveform stability and spectrum. *Acta Otorhinolaryngol Belg* 51:105–112.
- Dehqan A, Scherer RC, Dashti G, et al (2013) The effects of aging on acoustic parameters of voice. *Folia Phoniatr Logop* 64:265–270.
- Dejonckere PH, Remacle M, Fresnel-Elbaz E, et al (1996) Differentiated perceptual evaluation of pathological voice quality: reliability and correlations with acoustic measurements.
- Devins GM, Stam HJ, Koopmans JP (1994) Psychosocial impact of laryngectomy mediated by perceived stigma and illness intrusiveness. *Can J Psychiatry* 39:608–616.
- Eskenazi L, Childers DG, Hicks DM (1990) Acoustic correlates of vocal quality. *J Speech Hear Res* 33:298–306.
- Etter NM, Stemple JC, Howell DM (2013) Defining the lived experience of older adults with voice disorders. *J Voice* 27:61–67.
- Ferrand CT (2002) Harmonics-to-noise ratio : An index of vocal aging. *J Voice* 16:480–487.
- Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR (1975) "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res* 12:189–198. doi : 0022-3956(75)90026-6 [pii]
- Forero Mendoza L a., Cataldo E, Vellasco MMBR, et al (2014) Classification of Vocal Aging Using Parameters Extracted From the Glottal Signal. *J Voice* 28:532–537. doi : 10.1016/j.jvoice.2014.02.001
- Fourcin A (2009) Aspects of voice irregularity measurement in connected speech. *Folia Phoniatr Logop* 61:126–136. doi : 10.1159/000219948
- Fourcin A, Abberton E (2008) Hearing and phonetic criteria in voice measurement: clinical applications. *Logoped Phoniatr Vocol* 33:35–48. doi: 10.1080/14015430701251574
- Fox KR (2000) The effects of exercise on self perceptions and self-esteem. *Int J Sport Psychol* 31:228–240.

- Fraile R, Godino-Llorente JI (2014) Cepstral peak prominence: A comprehensive analysis. *Biomed Signal Process Control* 14:42–54.
- Furegato ARF, Santos JLF, Silva EC Da (2008) Depression among nursing students associated to their self-esteem, health perception and interest in mental health. *Rev Lat Am Enfermagem* 16:198–204. doi: 10.1590/S0104-11692008000200005
- Goy H, Fernandes DN, Pichora-Fuller MK, van Lieshout P (2013) Normative voice data for younger and older adults. *J Voice* 27:545–55. doi : 10.1016/j.jvoice.2013.03.002
- Gramming P, Sundberg J, Ternström S, et al (1988) Relationship between changes in voice pitch and loudness. *J Voice* 2:118–126.
- Gregory ND, Chandran S, Lurie D, Sataloff RT (2012) Voice disorders in the elderly. *J Voice* 26:254–8. doi : 10.1016/j.jvoice.2010.10.024
- Hanna E, Sherman A, Cash D, et al (2004) Quality of life for patients following total laryngectomy vs chemoradiation for laryngeal preservation. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 130:875–879.
- Harnsberger JD, Shrivastav R, Brown WS, et al (2008) Speaking Rate and Fundamental Frequency as Speech Cues to Perceived Age. *J Voice* 22:58–69.
- Hayes AF, Preacher KJ (2013) Statistical mediation analysis with a multcategorical independent variable. *Br. J. Math. Stat. Psychol.*
- Heman-Ackah YD, Heuer RJ, Michael DD, et al (2003) Cepstral peak prominence: A more reliable measure of dysphonia. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 112:324–333.
- Hoit JD (1987) Age and Speech Breathing.
- Hoit JD, Hixon TJ, Altman ME, Morgan WJ (1989) Speech breathing in women. *J Speech Hear Res* 32:353–365.
- Hollien H, Hollien PA, de Jong G (1997) Effects of three parameters on speaking fundamental frequency. *J Acoust Soc Am* 102:2984–2992.
- Honjo I, Isshiki N (1980) Laryngoscopic and voice characteristics of aged persons. *Arch Otolaryngol* 106:149–150.
- Huber JE, Spruill J (2008) Age-related changes to speech breathing with increased vocal loudness. *J Speech Lang Hear Res* 51:651–668.
- Hudon C, Potvin O, Turcotte M-C, et al (2009) Normalisation du Mini-Mental State Examination (MMSE) chez les Québécois francophones âgés de 65 ans et plus et résidant dans la communauté. *Can J Aging / La Rev Can du Vieil* 28:347. doi : 10.1017/S0714980809990171
- Hunter EJ, Kapsner-Smith M, Pead P, et al (2012) AGE AND SPEECH PRODUCTION : A 50-YEAR LONGITUDINAL STUDY. *J Am Geriatr Soc* 60:1175–1177. doi : doi : 10.1111/j.1532-5415.2012.03983.x.
- Jacobson BH, Johnson A, Grywalski C, et al (1997) The Voice Handicap Index (VHI) : Development and Validation. *Am J Speech-Language Pathol* 6:66–69.
- Kendall K (2007) Presbyphonia: a review. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 15:137–140. doi: 10.1097/MOO.0b013e328166794f
- Kersing W, Jennekens FG (2004) Age-related changes in human thyroarytenoid muscles: a histological and histochemical study. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 261:386–392. doi : 10.1007/s00405-003-0702-z
- Kessler RC, Berglund P, Demler O, et al (2005) Lifetime prevalence and age-of-onset distributions of DSM-IV disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Arch Gen Psychiatry* 62:593–602.
- Klug G, Lacruz ME, Emeny RT, et al (2014) Aging without depression: a cross-sectional study. *Psychodyn Psychiatry* 42:5–22. doi : 10.1521/pdps.2014.42.1.5
- Kreul EJ (1972) Neuromuscular control examination (NMC) for Parkinsonism: vowel prolongations and diadochokinetic and reading rates. *J Speech Hear Res* 15:72–83.
- La voix (2006) *La voix - Ses troubles chez les enseignants*, Inserm. Paris
- Lee A, Hankin BL (2009) Insecure attachment, dysfunctional attitudes, and low self-esteem predicting prospective symptoms of depression and anxiety during adolescence. *J Clin Child Adolesc Psychol* 38:219–231.

- Legrand FD (2014) Effects of Exercise on Physical Self-Concept , Global Self-Esteem , and Depression in Women of Low Socioeconomic Status With Elevated Depressive Symptoms. *J Sport Exerc Psychol* 36:357–365.
- Linville SE (1996) The sound of senescence. *J Voice* 10:190–200.
- Linville SE, Fisher HB (1985) Acoustic characteristics of perceived versus actual vocal age in controlled phonation by adult females. *J Acoust Soc Am* 78:40–48.
- Ma EPM, Love AL (2010) Electroglottographic Evaluation of Age and Gender Effects During Sustained Phonation and Connected Speech. *J Voice* 24:146–152.
- MacKinnon DP, Fairchild AJ, Fritz MS (2007) Mediation analysis. *Annu Rev Psychol* 58:593–614.
- Maruthy S, Ravibabu P (2015) Comparison of Dysphonia Severity Index Between Younger and Older Carnatic Classical Singers and Nonsingers. *J Voice*. doi : 10.1016/j.jvoice.2014.05.001
- Maryn Y, Corthals P, Van Cauwenberge P, et al (2010) Toward improved ecological validity in the acoustic measurement of overall voice quality: Combining continuous speech and sustained vowels. *J Voice* 24:540–555.
- Maslan J, Leng X, Rees C, et al (2011) Maximum phonation time in healthy older adults. *J Voice* 25:709–713.
- Miloyan B, Byrne GJ, Pachana N a. (2014) Threshold and Subthreshold Generalized Anxiety Disorder in Later Life. *Am J Geriatr Psychiatry* 1–9. doi : 10.1016/j.jagp.2014.08.010
- Morris RJ, Brown WS (1994) Age-related differences in speech intensity among adult females. *Folia Phoniatr Logop* 46:64–69.
- Murden RA, McRae TD, Kaner S, Bucknam ME (1991) Mini-Mental State exam scores vary with education in blacks and whites. *J Am Geriatr Soc* 39:149–155.
- Nalbadian M, Nikolaou A, Nikolaidis V, et al (2001) Factors influencing quality of life in laryngectomized patients. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology* 258:336–340.
- Orlikoff RF (1990) The relationship of age and cardiovascular health to certain acoustic characteristics of male voices. *J Speech Hear Res* 33:450–457.
- Orth U, Robins RW (2013) Understanding the Link Between Low Self-Esteem and Depression. *Curr Dir Psychol Sci* 22:455–460.
- Plank C, Schneider S, Eysholdt U, et al (2011) Voice- and health-related quality of life in the elderly. *J Voice* 25:265–268. doi : 10.1016/j.jvoice.2009.11.002
- Pontes P, Brasolotto A, Behlau M (2005) Glottic characteristics and voice complaint in the elderly. *J Voice* 19:84–94.
- Pontes P, Yamasaki R, Behlau M (2006) Morphological and functional aspects of the senile larynx. *Folia Phoniatr Logop* 58:151–158.
- Preacher KJ, Hayes AF (2008) Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behav Res Methods* 40:879–891.
- Preacher KJ, Rucker DD, Hayes AF (2007) Addressing Moderated Mediation Hypotheses: Theory, Methods, and Prescriptions. *Multivariate Behav Res* 42:185–227.
- Ptacek PHP, Sander EKE, Maloney WH, Jackson CCR (1966) Phonatory and related changes with advanced age. *J Speech, Lang Hear Res* 9:353–361.
- Rabinov CR, Kreiman J, Gerratt BR, Bielamowicz S (1995) Comparing reliability of perceptual ratings of roughness and acoustic measure of jitter. *J Speech Hear Res* 38:26–32.
- Ramig LO, Gray S, Baker K, et al (2001) The aging voice : A review, treatment data and familial and genetic perspectives. *Folia Phoniatr Logop* 53:252–265.
- Revis J, Giovanni A, Wuyts F, Triglia JM (1999) Comparison of different voice samples for perceptual analysis. *Folia Phoniatr Logop* 51:108–116.
- Reynolds K, Pietrzak RH, El-Gabalawy R, et al (2015) Prevalence of psychiatric disorders in U. S. older adults: findings from a nationally representative survey. *World Psychiatry* 14:74–81. doi : 10.1002/wps.20193
- Riketta M (2004) Does social desirability inflate the correlation between self-esteem and anxiety? *Psychol Rep* 94:1232–1234.
- Rouch I, Achour-Crawford E, Roche F, et al (2014) Seven-year predictors of self-rated health and life satisfaction in the elderly : the proof study. *J Nutr Heal Aging* 18:840–847.

- Roy N, Stemple J, Merrill RM, Thomas L (2007) Epidemiology of voice disorders in the elderly: preliminary findings. *Laryngoscope* 117:628–633. doi : 10.1097/MLG.0b013e3180306da1
- Sapienza CM, Stathopoulos ET (1995) Speech task effects on acoustic and aerodynamic measures of women with vocal nodules. *J Voice* 9:413–418.
- Sato K, Umeno H, Nakashima T (2010) Functional histology of the macula flava in the human vocal fold--Part 2: Its role in the growth and development of the vocal fold. *Folia Phoniatr Logop* 62:263–270. doi : 10.1159/000316962
- Sato K, Umeno H, Ono T, Nakashima T (2011) Histopathologic study of human vocal fold mucosa unphonated over a decade. *Acta Otolaryngol* 131:1319–1325. doi : 10.3109/00016489.2011.615067
- Sauder C, Roy N, Tanner K, et al (2010) Vocal function exercises for presbylaryngis : A multidimensional assessment of treatment outcomes. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 119:460–467.
- Shrout PE, Bolger N (2002) Mediation in experimental and nonexperimental studies: new procedures and recommendations. *Psychol Methods* 7:422–445.
- Solhaug HI, Romuld EB, Romild U, Stordal E (2012) Increased prevalence of depression in cohorts of the elderly : an 11-year follow-up in the general population – the HUNT study. *Int Psychogeriatrics* 24:151–158.
- Solomon NP, Garlitz SJ, Milbrath RL (2000) Respiratory and laryngeal contributions to maximum phonation duration. *J Voice* 14:331–340
- Sowislo JF, Orth U (2012) Does Low Self-Esteem Predict Depression and Anxiety? A Meta-Analysis of Longitudinal Studies. *Psychol. Bull.*
- Sperry EE, Klich RJ (1992) Speech breathing in senescent and younger women during oral reading. *J Speech Hear Res* 35:1246–1255.
- Stathopoulos ET, Huber JE, Sussman JE (2011) Changes in acoustic characteristics of the voice across the life span: measures from individuals 4-93 years of age. *J Speech Lang Hear Res* 54:1011–1021.
- Stathopoulos ET, Sapienza CM (1997) Developmental changes in laryngeal and respiratory function with variations in sound pressure level. *J Speech Lang Hear Res* 40:595–614.
- Steffens DC, Fisher GG, Langa KM, et al (2009) Prevalence of depression among older Americans: the Aging, Demographics and Memory Study. *Int Psychogeriatr* 21:879–888.
- Teles-Magalhães LC, Pegoraro-Krook MI, Pegoraro R (2000) Study of the elderly females' voice by phonotography. *J Voice* 14:310–321.
- Torre P, Barlow JA (2009) Age-related changes in acoustic characteristics of adult speech. *J Commun Disord* 42:324–333.
- Uhlmann RF, Larson EB (1991) Effect of education on the mini-mental state examination as a screening test for dementia. *J Am Geriatr Soc* 39:876–880.
- Verdonck-de Leeuw IM, Mahieu HF (2004) Vocal aging and the impact on daily life: A longitudinal study. *J Voice* 18:193–202.
- Wassertheil-Smoller S, Arredondo EM, Cai J, et al (2014) Depression, anxiety, antidepressant use, and cardiovascular disease among Hispanic men and women of different national backgrounds: results from the Hispanic Community Health Study/Study of Latinos. *Ann Epidemiol* 24:822–830. doi : 10.1016/j.annepidem.2014.09.003
- Watson D, Suls J, Haig J (2002) Global self-esteem in relation to structural models of personality and affectivity. *J Pers Soc Psychol* 83:185–197.
- Watts CR, Ronshaugen R, Saenz D (2015) The effect of age and vocal task on cepstral/spectral measures of vocal function in adult males. *Clin Linguist Phon* 00:1–9. doi : 10.3109/02699206.2015.1005673
- Wegener I, Geiser F, Alfter S, et al (2015) Changes of explicitly and implicitly measured self-esteem in the treatment of major depression: Evidence for implicit self-esteem compensation. *Compr Psychiatry* 58:57–67. doi : 10.1016/j.comppsych.2014.12.001
- Whitehead RL, Whitehead BH (1985) Acoustic characteristics of vocal tension/harshness in the speech of the hearing impaired. *J Commun Disord* 18:351–361. doi : 10.1016/0021-9924(85)90025-5
- Wilcox KA, Horii Y (1980) Age and changes in vocal jitter. *J Gerontol* 35:194–198.

- Williams ED, Tillin T, Richards M, et al (2015) Depressive symptoms are doubled in older British South Asian and Black Caribbean people compared with Europeans: associations with excess co-morbidity and socioeconomic disadvantage. *Psychol Med* 1–11. doi: 10.1017/S0033291714002967
- Winkworth AL, Davis PJ, Ellis E, Adams RD (1994) Variability and consistency in speech breathing during reading: lung volumes, speech intensity, and linguistic factors. *J Speech Hear Res* 37:535–556.
- Wolfe V, Martin D (1997) Acoustic correlates of dysphonia: Type and severity. *J Commun Disord* 30:403–416.
- Wu Z, Schimmele CM, Chappell NL (2012) Aging and Late-Life Depression. *J Aging Health* 24:3–28.
- Ximenes Filho JA, Tsuji DH, do Nascimento PHS, Sennes LU (2003) Histologic changes in human vocal folds correlated with aging: a histomorphometric study. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 112:894–898.
- Yanagihara N (1967) Significance of harmonics changes and noise components in hoarseness. *J Speech, Lang Hear Res* 10:531–541.
- Yiu E, Worrall L, Longland J, Mitchell C (2000) Analysing vocal quality of connected speech using Kay's computerized speech lab: a preliminary finding. *Clin Linguist Phon* 14:295–305.
- Zigmond AS, Snaith RP (1983) The hospital anxiety and depression scale (HADS). *Acta Psychiatr Scand* 67:361–370. doi : 10.1016/S0016-5085(01)83173-5
- Zraick RI, Birdwell KY, Smith-Olinde L (2005) The effect of speaking sample duration on determination of habitual pitch. *J Voice* 19:197–201.
- Zraick RI, Kempster GB, Connor NP, et al (2011) Establishing validity of the Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V). *Am J SpeechLanguage Pathol Am SpeechLanguageHearing Assoc* 20:14–22.
- Zraick RI, Marshall W, Smith-Olinde L, Montague JC (2004) The effect of task on determination of habitual loudness. *J Voice* 18:176–182.

6 Étude 2 : *The moderating effect of frequent singing on voice aging*

Auteurs : Catherine L. Lortie^{1,2}, Julie Rivard¹, Mélanie Thibeault³, Pascale Tremblay^{1,2}

Affiliations : ¹Département de réadaptation, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada.

²Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (CRIUSMQ); Québec, Québec Canada. ³Nuance communications Inc.; Montréal, Québec, Canada.

Référence complète : Lortie, C. L., Rivard, J., Thibeault, M., & Tremblay, P. (2016). The moderating effect of frequent singing on voice aging. *Journal of Voice*, Epub ahead of print.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.02.015>

Résumé : Les effets du vieillissement sur la production de la voix sont bien documentés, incluant des changements de l'intensité, de la hauteur et de la qualité de la voix. Cependant, une question importante et cliniquement pertinente demeure concernant la possibilité que le vieillissement de la voix soit évité ou du moins retardé grâce à des méthodes non invasives. En effet, découvrir des moyens naturels de préserver l'intégrité de la voix humaine dans le vieillissement pourrait avoir un impact majeur sur la qualité de vie des aînés. L'objectif de cette étude était donc d'examiner l'effet positif potentiel de l'exercice du chant sur la production de la voix. Dans ce but, un groupe de 72 adultes non-fumeurs en bonne santé (âgés de 20 à 93 ans) ont été recrutés et divisés en trois groupes selon leurs habitudes de chant. De nombreuses mesures acoustiques ont été prélevées (fréquence fondamentale [f0] moyenne, écart-type de la f0, f0 minimum et f0 maximum, amplitude moyenne et l'écart-type de l'amplitude, jitter, shimmer et ratio harmonique sur bruit) sur une production soutenue de la voyelle /a/. D'autres mesures acoustiques ont été extraites d'une lecture de texte standardisée (f0 de parole et son écart-type). Comme attendu, des différences associées à l'âge ont été observées sur la plupart de mesures acoustiques avec des disparités considérables selon le sexe. De façon importante, des analyses de modération ont révélé que l'exercice fréquent du chant modère l'effet du vieillissement sur la majorité des mesures acoustiques de la voix. En particulier, chez les chanteurs assidus, il n'y avait pas de diminution de la stabilité de la hauteur et de l'amplitude de la voix avec l'âge, suggérant que la voix des chanteurs assidus demeure plus stable dans le vieillissement que la voix des non-chanteurs, et globalement, prodiguant une preuve empirique de l'effet positif du chant sur la voix dans le vieillissement.

Abstract: The effects of aging on voice production are well documented, including changes in loudness, pitch, and voice quality. However, one important and clinically relevant question that remains concerns the possibility that the aging of voice can be prevented or at least delayed through noninvasive methods. Indeed, discovering natural means to preserve the integrity of the human voice throughout aging could have a major impact on the quality of life of elderly adults. The objective of this study was therefore to examine the potentially positive effect of singing on voice production. To this aim, a group of 72 healthy nonsmoking adults (20–93 years old) was recruited and separated into three groups based on their singing habits. Several voice parameters were assessed (fundamental frequency [f0] mean, f0 standard deviation [SD], f0 minimum and f0 maximum, mean amplitude and amplitude SD, jitter, shimmer, and harmonic-to-noise ratio) during the sustained production of vowel /a/. Other parameters were assessed during standardized reading passage (speaking f0, speaking f0 SD). As was expected, age effects were found on most acoustic parameters with significant sex differences. Importantly, moderation analyses revealed that frequent singing moderates the effect of aging on most acoustic parameters. Specifically, in frequent singers, there was no decrease in the stability of pitch and amplitude with age, suggesting that the voice of frequent singers remains more stable in aging than the voice of nonsingers, and more generally, providing empirical evidence for a positive effect of singing on voice in aging.

1. Introduction

The human voice is an important carrier of human emotions, and it is also the foundation of human verbal communication throughout the entire life span. Unfortunately, the human voice undergoes several important acoustical changes throughout aging.^{1–5} For many individuals, age-related voice changes have a negative impact on communication and social participation,^{6–9} and therefore on the quality of life. Age-related changes in voice production are widespread and appear to have a complex and multifactorial etiology. Indeed, multiple anatomical and physiological age-related changes affecting the vocal tract, the larynx, and the respiratory system have been documented.^{2,10–19} These include the ossification of the laryngeal cartilages; atrophy of the laryngeal muscles, lamina propria, glands, and connective tissues; a loss of ligament elasticity; bowing of the vocal folds; changes in the innervation of the larynx; and neuromuscular degeneration. Changes in the amount and quality of secretions and changes in each layer of the mucosa also appear with aging.^{11,20} These anatomical and physiological changes can lead to a reduction of the vibration of the vocal folds, a reduction of adduction of the vocal folds (ie, bowing in presbyphonia), and an increased laryngeal muscle tension (especially for men).^{1,2,10,13,21} Hormonal changes in menopause can also contribute to increased vocal fold swelling and edema, which in turn can lower the fundamental frequency (f_0).^{22,23} Acoustically, the voice undergoes several important changes in aging affecting the pitch, amplitude, and quality of the voice. Changes in f_0 have been most thoroughly investigated. In men, f_0 declines until the fifth decade and rises gradually after.^{2,21,24,25} In women, there appears to be a steady decline of f_0 with age.^{4,21,24–27} For both men and women, control over vocal pitch tends to decline with age as shown by an increase in the variability of f_0 (measured in standard deviations [SDs]), meaning that f_0 becomes less stable with age.^{27–30} In contrast to the well-documented effects of age on f_0 , the relation between age and measures of voice perturbation is less clear. Yet perturbation measures are important because they can reveal instability of the vocal fold vibration (jitter), irregularity of glottis closure (shimmer), and loss of vocal fold adduction (harmonic-to-noise ratio [HNR]). Moreover, these measures are widely used in clinical settings. For jitter, the literature is not entirely consistent. Indeed, whereas some studies have shown an increase in jitter with age,^{24,29,31,32} other studies report no effect of age.^{4,30,33} It has been suggested that changes in jitter are related to physiological changes rather than to chronological age.³³ In sum, the effect of aging on jitter remains uncertain. For shimmer (ie, regularity of glottal opening, and particularly closure), there are also some inconsistencies. For example, although some studies have shown age effects on shimmer in both men and women,^{1,24,34} others have found changes in men but not in women.⁴ One factor that may account for some of the differences across studies in terms of measures of perturbation is the recording process. Control of recording amplitude and mean f_0 have been reported to influence shimmer and jitter significantly.^{35–37} Presbylaryngitis (vocal cord atrophy) is also frequent but not universal in aging, and can be confounded with certain characteristics of the normally aging voice.³⁸ Finally, because the gap between the vocal folds tends to increase with age, middle-aged and older adults tend to

have lower HNR (ie, noise level in the voice) values compared with young adults.^{24,34} However, others have found changes in women but not in men,⁶ or did not observe age differences in HNR.⁴ In sum, although some inconsistencies remain concerning measures of voice perturbation, it is clear from the literature that aging affects the production of voice at multiple levels.

Early reports have observed that the acoustics of singers' voices differ from that of non-singers, including greater amplitude achieved at various frequencies.^{39,40} Singing is also known to be associated with increased voice stability,⁴¹ wider phonation range,⁴⁰⁻⁴³ and increased maximal phonation time.^{43,44} Moreover, it has been shown that singing training has a positive and quantifiable effect on voice control in children and teenagers with normal voices.^{45,46} Consistent with this idea, a few studies have examined the effect of aging on singers' voices, and observed that the voice of middle-aged and older singers is more stable and has greater amplitude compared with the voice of non-singers.^{47,48} Older singers also showed significantly higher speaking fundamental frequency (SFF) than older non-singers during a standardized reading task.⁴⁸⁻⁵⁰ Understanding the nature and extent of age-related voice decline, as well as vocal habits that may provide protection against negative age effects, is key to developing new interventions to delay the onset of—and potentially prevent—these difficulties, which could have a major impact on the quality of life of elderly adults. The goal of the present study was to characterize the effect of aging on a large number of acoustical voice parameters in two different contexts (production of a sustained vowel, and overt reading of a standardized passage) in a group of healthy singers and non-singers. Although many studies have examined voice aging, as discussed in the previous paragraphs, the present study is unique in that we examined voice in both a standard (sustained vowel production with controlled amplitude) and a more ecological context (passage reading), and that we analyzed a large number of voice quality and stability measures (12 acoustical parameters were studied). Most importantly, we examined the potentially positive effect of singing on 12 acoustical parameters using a powerful moderation analysis. In line with the literature, we hypothesized that aging would affect most voice parameters but that singing would moderate this effect. Finding a positive effect of singing on voice production in aging could have immediate and broad practical applications for the growing population of senior citizens.

2. Methods

2.1. Participants

The study comprised a total of 74 healthy nonsmoking participants recruited through email, as well as through posters and flyers distributed in the community. Of the original sample, two participants were excluded because of technical issues that rendered unusable their audio samples. The remaining 72 participants (28 men, 44 women; total mean age \pm SD; 51.15 ± 20.05 ; range: 20-93 years) were included in the analysis. The sample was divided into three groups based on their age (young: 20-39; middle-aged : 40-65; and old: 66-93

years old; **Table 9**). All participants were native speakers of Canadian French; had normal or corrected-to-normal vision; no self-reported history of speech, voice, language, swallowing, psychological, neurological, or neurodegenerative disorders; and no self-reported history of drug or alcohol abuse. Participants were screened for depression using the Geriatric Depression Scale,⁵¹ and their cognitive functioning was evaluated using the Montreal Cognitive Assessment scale (mean score : 28.08 ± 1.64 SD; range : 25–30).⁵² Participants were also screened for hearing deficits using audiological assessments (pure tone average), which confirmed that their hearing capacities were within normal limits according to age. All participants were screened for their singing habits using a questionnaire that was developed in the laboratory (Singing assessment section). The study was approved by the Research Ethics Committee of the Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (project #294-2011). Informed written consent was obtained from all participants, and they were compensated for their participation (10\$ CAN).

	Men				Women				All			
		Age			Age		Education (in years)		GDS		MoCA	
Group	N	mean (SD)	range	N	mean (SD)	range	mean (SD)	range	mean (SD)	range	mean (SD)	range
Young	12	29.08 (6.04)	20-38	14	27.64 (4.25)	23-37	17.9 (3.01)	11-24	3 (2.43)	0-8	28.73 (1.34)	25-30
Middle-aged	9	56.78 (7.97)	44-65	17	55.12 (7.98)	40-65	16.98 (3.38)	12-24	1.81 (2.67)	0-10	28.04 (1.78)	25-30
Older	7	72.71 (3.9)	68-78	13	76.15 (8)	67-93	15.8 (4.1)	7-24	2.25 (2.77)	0-9	27.3 (1.53)	25-30
Total	28	48.89 (19.48)	20-78	44	52.59 (20.05)	20-93	16.99 (3.52)	7-24	2.36 (2.63)	0-10	28.08 (1.64)	25-30

Table 9. Participants' characteristics. Abbreviations: GDS, Geriatric Depression Screening Scale. MoCA, Montreal Cognitive Assessment scale.

2.2. Singing assessment

Participants answered a questionnaire on singing habits. This included questions about singing context (eg, lessons, everyday casual singing, singing in a band), singing amplitude (low, normal, high), singing frequency (every day, at least once a week, etc), and singing training. We then classified participants into three groups based on the self-reported frequency of their singing activity (**Table 10**). We could not categorize them based on other factors because of our small sample and heterogeneous singing habits. This grouping was used in the moderation analyses.

Singing frequency	Young			Middle-aged			Older			Total		
	N Men	N Women	mean age (SD)	N Men	N Women	mean age (SD)	N Men	N Women	mean age (SD)	N Men	N Women	mean age (SD)
Never	7	5	29.17 (6.29)	5	8	55.92 (8.26)	4	10	74.64 (6.12)	16	23	54.41 (19.97)
Occasional (at least once a week)	3	5	27 (3.25)	3	5	54.5 (8.05)	1	1	73.5 (6.36)	7	11	44.39 (17.99)
Frequent (everyday)	2	4	28.33 (4.84)	1	4	57 (7.91)	2	2	76.75 (11.09)	5	10	50.8 (21.8)

Table 10. Singing frequency.

2.3. Procedures

2.3.1. Voice recording

All recordings were performed under identical conditions. Each participant was seated comfortably either in a quiet room or in a sound-attenuated room and completed two tasks: (1) sustained phonation of the vowel /a/, and (2) propositional speech. Participants generally completed the tasks within 30 minutes. Short breaks were given as needed. For all tasks, participants' responses were recorded using a high-quality multidirectional head-worn microphone (Beta 53, Shure, Illinois, United States) connected to a sound card (Fast Track C400, M-Audio, Rhode Island, United States), which was connected to a laptop computer. All responses were recorded with *Audacity* software (version 2.0.3; Free Software Foundation, Maine, United States) at a sampling rate of 44.1 kHz and 32 bits of quantization. Samples were saved in .wav format on our local server at Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec.

(1) Vowel /a/. For this task, participants produced the vowel /a/ for as long as possible, five times, with a short pause between each production. The participants produced the vowel at a "comfortable everyday pitch," that is, a pitch level not associated with subjective muscular tension or discomfort during phonation. Although comfortable pitch can be seen as subjective, it is a commonly used metric for the study of voice.^{4,6,27,34} To control for amplitude, a digital sound meter was placed 65 cm away from the mouth of the participant. The target amplitude was set at 80 dB SPL (sound pressure level) to prevent biases in acoustical measurements of jitter, shimmer, and HNR.^{35,36}

(2) Propositional speech. For this task, participants read a 2-minute standardized passage called « *La bise et le soleil* » (*the wind and the sun*).⁵³ They first read the passage silently and then they read it aloud in a "natural" way (ie, no acting) at their habitual pitch and amplitude levels.

2.3.2. Voice analyses

The recordings were analyzed with *Praat* software (version 5.3.39; Amsterdam, The Netherlands).⁵⁴ The acoustical parameters used in this study are detailed in **Table 11**. For the vowel /ɑ/, 1-second interval taken in the middle part of the second, third, and fourth vowels were selected to ensure that measurements were made on a stable portion of the vowel. The first vowel was used to adjust the gain to prevent saturation of the recording; it was therefore not included in the analysis. The selected vowels were segmented manually. An automated procedure was then created to select the middle part of each sound for each participant, which was visually inspected to validate f0 tracking. Distortion in the vowel recordings rendered the vowel unusable for seven participants; these were excluded from the analyses. The remaining 195 vowels were analyzed (65 participants x three vowels/participant). f0 minimum, f0 maximum, f0 mean and f0 SD; mean amplitude and amplitude SD; and jitter, shimmer, and HNR values were extracted automatically for the three productions of the vowel /ɑ/, and an average was calculated for each participant. As absolute jitter has been shown to be influenced by mean f0,⁵⁵ here we calculated jitter local (ie, a f0 normalized jitter index, calculated as a percentage of f0) instead of absolute jitter.

For the standardized reading passage, the visible f0 was extracted from the samples one at a time. The pitch settings were adjusted manually to make sure we analyzed the frequencies of interest, in relation with the f0 of each participant. No participant was excluded from this analysis. The range of frequencies selected was representative of each participant's speaking range. It varied in a range from 50 Hz to 300 Hz for men and from 100 Hz to 450 Hz for women. SD of the SFF was calculated in semitones (st) and in hertz.

Measure	Definition	Specific internal <i>Praat</i> parameters	
Minimum f0 (Hz)	Minimum fundamental frequency (ie, number of glottic cycles per second)	To pitch : Time step : 0.0001 sec Pitch floor : 75 Hz (men), 150 Hz (women) Pitch ceiling : 300 Hz (men), 400 Hz (women)	Time range : 0 to 0 (=all), Unit : hertz, Interpolation : parabolic
Maximum f0 (Hz)	Maximum fundamental frequency		Time range : 0 to 0 (=all), Unit : hertz, Interpolation : parabolic
Mean f0 (Hz)	Mean fundamental frequency		Time range : 0 to 0 (=all), Unit : hertz
F0 SD (Hz)	Fundamental frequency standard deviation		Time range : 0 to 0 (=all), Unit : hertz
Mean amplitude (dB)	Mean sound pressure level	To intensity : Minimum pitch : min Time step : 0 (=auto) Subtract mean : yes	Time range : 0 to 0 (=all), Averaging method : dB
Amplitude SD (dB)	Sound pressure level standard deviation		Time range : 0 to 0 (=all)
Jitter local (%)	Absolute mean difference between consecutive periods, divided by the average period		Time range : 0 to 0 (=all) Shortest period : 0.0001 s Longest period : 0.02 s Maximum period factor : 1.3
Shimmer local (dB)	Average absolute base-10 logarithm of the difference between the amplitudes of consecutive periods, multiplied by 20		Time range : 0 to 0 (=all) Shortest period : 0.0001 s Longest period : 0.02 s Maximum period factor : 1.3 Maximum amplitude factor : 1.6
Harmonic-to-noise ratio (HNR, dB)	Degree of acoustic periodicity, i.e. the ratio between periodic (vocal fold vibration) and aperiodic (glottal noise) voice components (harmonicity of the voiced parts only)		Time step (s) : 0.01 Minimum pitch : 75 Hz (men), 150 Hz (women) Silence threshold : 0.1 Periods per window : 1.0 Mean harmonicity: time range: 0 to 0 (=all)
SFF (Hz)	Mean fundamental frequency in speech	To pitch : Time step : 0.0001 s Pitch floor: from 50 Hz (men), 100 Hz (women) Pitch ceiling: under 300 Hz (men), 450 Hz (women)	Time range : 0 to 0 (=all), Unit : hertz
SFF SD (Hz and semitones)	Standard deviation of the fundamental frequency in speech		Time range : 0 to 0 (=all), Unit : semitone or hertz

Table 11. Acoustic measures extracted with *Praat*, along with the windowing and thresholds used to set internal *Praat* parameters in the scripts.

2.4. Statistical analyses

All data were analyzed using SPSS Statistics 23 (IBM Armonk, NY). Acoustical measures (for sustained vowel: f0 minimum, f0 maximum, f0 mean, and f0 SD; mean amplitude and amplitude SD; jitter, shimmer, and HNR; and for propositional speech: SFF and SFF SD [Hz and st]) were used as the dependent measures. Outliers,

defined as values that were three median absolute deviations away from the median of each acoustical measure in each group (gender and age grouping), were removed from the statistical analyses. After excluding outliers, the number of participants included in the analyses for each acoustical measure was as follows: f0 minimum (N = 58), f0 maximum (N = 58), f0 mean (N = 58), and f0 SD (N = 62); mean amplitude (N = 55) and amplitude SD (N = 59); jitter (N = 56), shimmer (N = 57), and HNR (N = 53); and SFF (N = 67), SFF SD (Hz) (N = 67), and SFF SD (st) (N = 61). For all statistical procedures, a criteria of $\alpha = .05$ was used to establish significance. A false discovery rate (FDR) correction was applied on all post hoc analyses.⁵⁶ In the statistical analyses described below, age was used both as a categorical and as a continuous independent variable. It was used as a categorical variable in the analyses of variance (ANOVAs), in which participants were divided into three age groups (young, middle-aged, and old). In the moderation analyses, age was used as a continuous variable and was mean centered before the analyses to allow for easier interpretation of the results.⁵⁷

2.4.1. *Effect of age on voice acoustics*

To assess age differences on voice acoustics, a series of FDR-corrected (FDR per sex: i=12, q=.05) one-factor ANOVAs were conducted on the acoustical measures (f0 minimum, f0 maximum, f0 mean, f0 SD, mean amplitude, amplitude SD, jitter, shimmer, HNR, SFF mean, SFF SD [Hz], SFF SD [st]) with age as categorical between-subject factor (three levels: 20-39, 40-65, 66-93 years). Men and women were analyzed separately. For the ANOVAs, measures of effect sizes are provided in the form of partial eta squared (η_p^2), which are reported for all main effects and interactions. FDR-corrected *post hoc* tests were conducted where appropriate. When comparing two means, we report effect sizes in the form of Cohen *d* statistics.

2.4.2. *Effect of singing on the relationship between age and voice acoustics*

To determine whether singing moderated the effect of age on acoustic measures, a conceptual model was developed (**Figure 21**). In this model, age affects voice acoustics, and this effect is moderated by singing frequency. This conceptual model was tested in an operative framework, ie, a moderation analysis. The moderation analyses were performed separately for each acoustic measure, for a total of 12 moderation analyses. Moderation and mediation analyses allow researchers to examine the mechanisms by which variables affect each other.⁵⁸⁻⁶¹ Moderation analyses estimate path coefficients in a single moderator model and generate bootstrap confidence intervals for the direct effect of X on Y conditional to a moderator (M). In the present moderation model, the dependent (Y) variable was the voice acoustic measures, whereas the independent (X) variable was the mean-centered continuous variable age. Sex was included in the model as a covariate. Singing frequency was used as the categorical moderator (M). For each analysis, four values are

obtained (b_1 , b_2 , b_3 , and the conditional effect of X on Y through M). B_1 represents the conditional effect of X on Y at $M = 0$ (people who do not sing). B_2 represents the conditional effect of M on Y at $X = 0$ (where 0 is the mean age of the sample). B_3 represents the interaction effect between X and M on Y . The conditional effect estimates how much the difference in Y between two cases that differ by a unit on X changes as M changes by one unit, in other words, it evaluates whether the effect of X on Y depends on M .

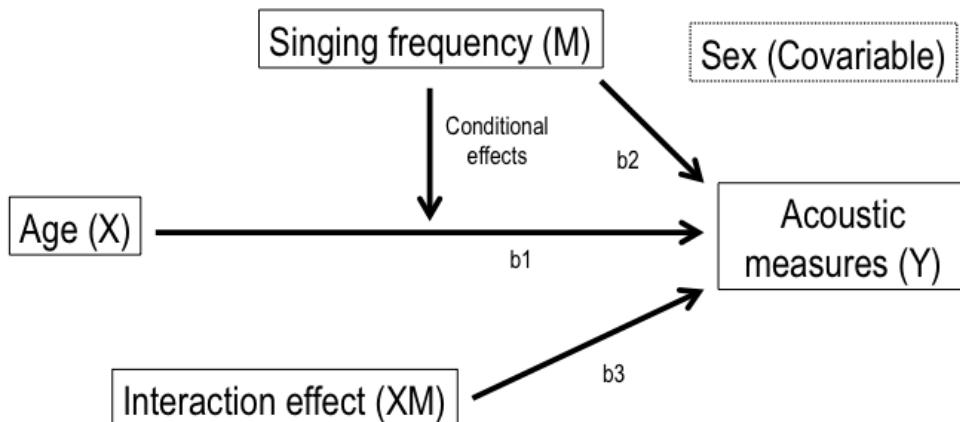


Figure 21. Conceptual moderation model used to uncover the moderating effect of singing frequency on the relationship between age and voice acoustics.

The moderation analyses were conducted using the PROCESS macro (model #1) for SPSS (<http://www.processmacro.org/index.html>).^{57,61,62} A bootstrapping approach was used to test for the significance of the indirect effects⁵⁹ ($P = 0.05$, using bias-corrected bootstrapping with 10,000 samples). Bootstrapping involves the repeated extraction of samples, with replacement, from a dataset and the estimation of the indirect effect in each resampled dataset. From the tables generated by PROCESS, we created graphs that illustrate the extent to which the association between age and voice depends on singing frequency.

3. Results

3.1. Associations between age and voice acoustics

3.1.1. Male voice

For men, a significant main effect of age was found on only one acoustic measure, ie, f0 SD ($F_{(2,22)}=13.31$, $p<0.01$, $\eta_p^2=0.56$). We explored the main effect of age on f0 SD using post hoc analyses, which showed that older men had significantly higher values of f0 SD than middle-aged men ($t_{(12)}=3.16$, $p<0.01$, $d=1.72$) and young adults ($t_{(16)}=4.09$, $p<0.01$, $d=2.45$) (Figure 22A). No other effect was found.

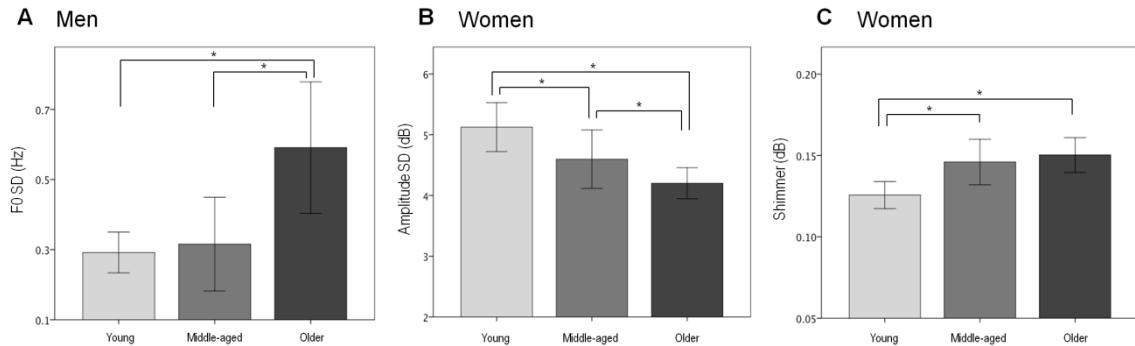


Figure 22. Age difference in voice stability. Voice f0 SD in men (**A**), amplitude SD in women (**B**), and shimmer in women (**C**) are displayed. Asterisks indicate significance at $P < 0.05$. Error bars represent the standard deviation of the mean.

3.1.2. Female voice

For women, significant main effects of age were found on most acoustic measures, including minimum f0 ($F_{(2,32)}=11.98, p<0.001, \eta_p^2=0.43$), maximum f0 ($F_{(2,33)}=10.5, p<0.001, \eta_p^2=0.39$), mean f0 ($F_{(2,33)}=10.7, p<0.001, \eta_p^2=0.39$), amplitude ($F_{(2,32)}=6.56, p<0.01, \eta_p^2=0.29$), amplitude SD ($F_{(2,32)}=12.89, p<0.001, \eta_p^2=0.45$), shimmer ($F_{(2,32)}=13.07, p<0.001, \eta_p^2=0.45$) and SFF ($F_{(2,42)}=16.03, p<0.001, \eta_p^2=0.44$). We explored the main effects of age using *post hoc* analyses, which showed that young women had higher minimum f0, maximum f0 and mean f0 values compared with middle-aged ($t_{(24)}=2.55, p<0.05, d=1$; $t_{(25)}=2.79, p<0.05, d=1.08$; and $t_{(25)}=2.77, p<0.05, d=1.07$, respectively) and older women ($t_{(19)}=4.76, p<0.001, d=2.34$; $t_{(19)}=4.66, p<0.001, d=2.29$; and $t_{(19)}=4.71, p<0.001, d=2.32$, respectively) (**Figure 24A**). Older women also had lower minimum and mean f0 values compared with middle-aged women ($t_{(21)}=3.19, p<0.01, d=1.33$; and $t_{(22)}=2.11, p<0.05, d=1$, respectively). Older women had lower voice amplitude values compared with middle-aged ($t_{(23)}=3.14, p<0.01, d=1.25$) and young women ($t_{(20)}=2.67, p<0.05, d=1.22$) (**Figure 23**). The voice of young women also had higher amplitude SD values compared with the voice of middle-aged ($t_{(24)}=2.96, p<0.01, d=1.2$) and older women ($t_{(18)}=5.96, p<0.001, d=2.8$). Middle-aged women had higher amplitude SD values compared with older women ($t_{(22)}=2.27, p<0.05, d=1.06$) (**Figure 22B**). Shimmer was higher for the older ($t_{(19)}=5.75, p<0.001, d=2.77$) and the middle-aged groups ($t_{(23)}=4.55, p<0.001, d=2.1$) than for the younger group (**Figure 22C**). Finally, the younger group had higher SFF values than the middle-aged group ($t_{(29)}=4.72, p<0.001, d=1.74$) and the older group ($t_{(25)}=5.54, p<0.001, d=2.13$) (**Figure 24B**).

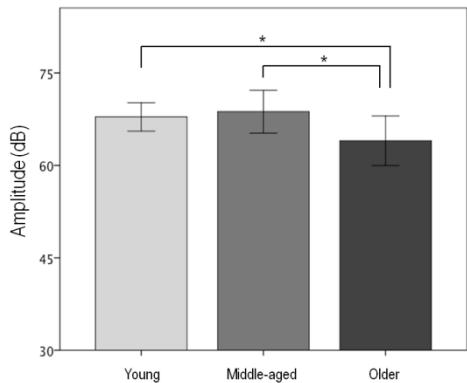


Figure 23. Age difference in mean voice amplitude in women. Asterisks indicate significance at $P < 0.05$. Error bars represent the standard deviation of the mean.

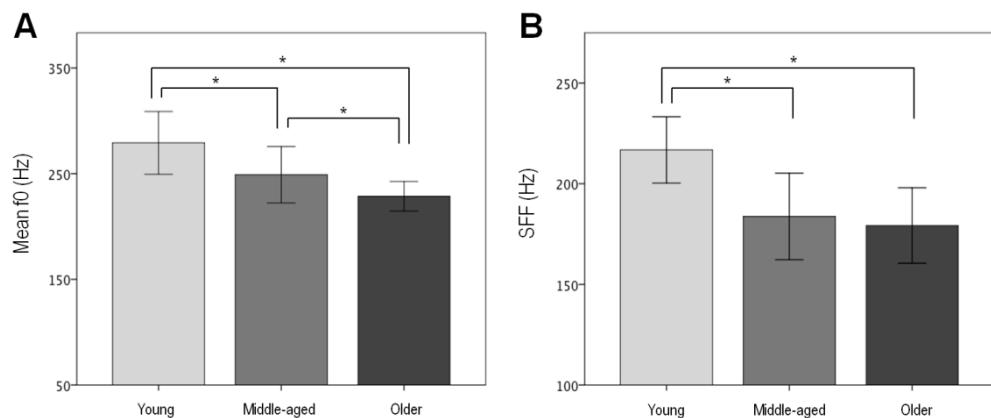


Figure 24. Age differences in mean f0 (A) and SFF (B) for women. Asterisks indicate significance at $P < 0.05$. Error bars represent the standard deviation of the mean.

3.2. Effect of singing on the relationship between age and voice acoustics

The conditional effect of age on voice (b1) was significant only for f0 SD (Figure 25). Age was associated with high f0 SD values (Table 12; age). As expected, most voice measures were affected by sex, with the exception of mean amplitude, jitter and SFF SD (st) (Table 12; sex). Interestingly, singing frequency had a significant conditional effect on many voice measures (b2) (Figure 25): it was associated with high f0 minimum, f0 maximum, and f0 mean values; and high amplitude SD values (Table 12; singing frequency). The interaction between age and singing frequency (b3) significantly influenced the same acoustic measures, plus shimmer (Figure 25). Specifically, the interaction between age and singing frequency was associated with low f0 minimum, f0 maximum and f0 mean values; low amplitude SD values; and high shimmer values (Table 12; interaction effect).

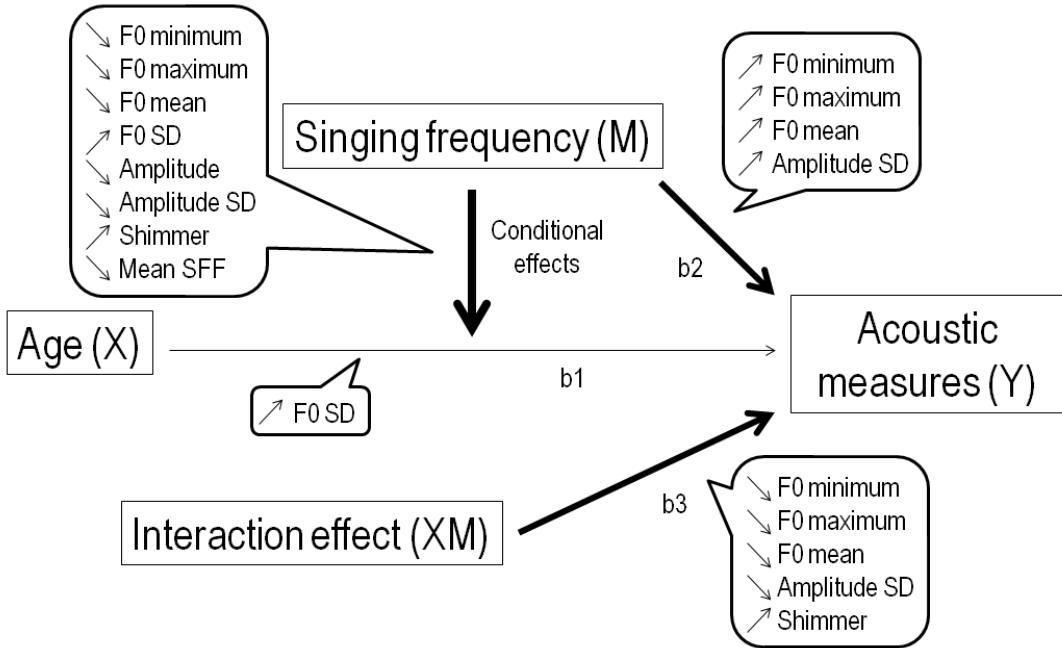


Figure 25. Results of the moderation analyses. The relationship between age and voice acoustic measures was moderated by singing frequency. The direction of the arrows indicates the direction of the effects. From the left: Age was associated with high f0 SD (b1). There was a direct effect of singing frequency on minimum, maximum, mean f0, and amplitude SD (b2). The interaction between age and singing frequency (XM) was associated with low minimum, maximum, and mean f0; low amplitude SD; and high shimmer (b3). Finally, there was a conditional effect of singing frequency on the relationship of age to voice acoustics whereby frequent singing was associated with low minimum, maximum, and mean f0; low amplitude SD; high shimmer; and low mean SFF. No singing was associated with high f0 SD, whereas occasional singing was associated with low mean amplitude.

	Age (b1)		Singing frequency (b2)		Interaction effect (b3)		Sex		Conditional effect	
	β	p	β	p	β	p	β	p	β	p
F0 minimum	8.977	0.029	-0.156	0.441	-0.515	0.007	103.37	0.000	-0.879	0.000
F0 maximum	9.346	0.027	-0.208	0.318	-0.502	0.01	105.09	0.000	-0.905	0.000
F0 mean	9.447	0.025	-0.215	0.3	-0.497	0.011	104.27	0.000	-0.905	0.000
F0 SD	-0.068	0.088	0.005	0.007	-0.003	0.062	0.31	0.000	0.005	0.007
Mean amplitude	0.312	0.607	-0.037	0.211	-0.015	0.579	-1.341	0.162	-0.048	0.036
Amplitude SD	0.213	0.011	-0.001	0.726	-0.01	0.009	2.191	0.000	-0.016	0.000
Jitter	0.000	0.67	0.000	0.712	0.000	0.221	-0.000	0.233		
Shimmer	-0.003	0.176	0.000	0.964	0.000	0.005	-0.029	0.000	0.000	0.000
HNR	0.223	0.567	-0.024	0.173	0.014	0.439	4.251	0.000		
Mean SFF	0.13	0.965	-0.294	0.063	-0.256	0.082	83	0.000	-0.669	0.000
SFF (Hz)	0.879	0.428	-0.01	0.847	-0.006	0.918	11.503	0.000		
SFF SD (st)	0.003	0.936	0.001	0.631	0.001	0.762	0.105	0.398		

Table 12. Results of the moderation analyses. For each of the different paths, the linear regressions coefficients (β) and significance (p) are reported and listed for each acoustical measure.

In our conceptual framework, singing frequency was hypothesized to moderate the relationship between age and voice acoustics. As was expected, the effect of age on most voice measures was affected by singing frequency (**Figure 25**; conditional effect). In particular, more frequent singing was associated with low f0 minimum, f0 maximum, and f0 mean values; low amplitude SD values; high shimmer values; and low SFF values. No singing was associated with high f0 SD values, whereas occasional singing was associated with low mean amplitude values (**Table 12**; conditional effects). Some of the conditional effects of singing frequency suggest a positive effect of frequent singing on the aging voice. In particular, age was associated with higher f0 SD values in non-singers but not in occasional and frequent singers (**Figure 26**). Age was also associated with high amplitude SD values in non-singers but not in occasional or frequent singers (**Figure 27**).

For several measures, we observed that singing frequency (occasional and frequent) was associated with advantages in the young singers in terms of f0 minimum, f0 maximum, f0 mean; shimmer; and mean SFF. However, these advantages disappeared with age. Indeed, for these measures, the values observed in older non-singers were similar to those observed in occasional and frequent older singers. Of note, no effect on jitter and SFF SD (st) was found.

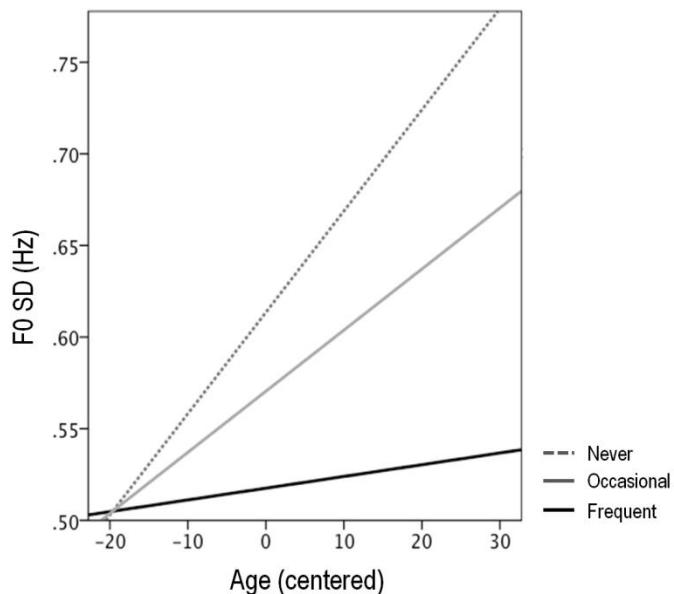


Figure 26. Conditional effects of singing frequency on the relationship between age (in years) and voice f0 SD. The variable age was mean centered to facilitate interpretation. A value of 0 thus refers to the mean age of the sample, which was 51 years. Negative values refer to participants younger than the mean, whereas positive values refer to older participants.

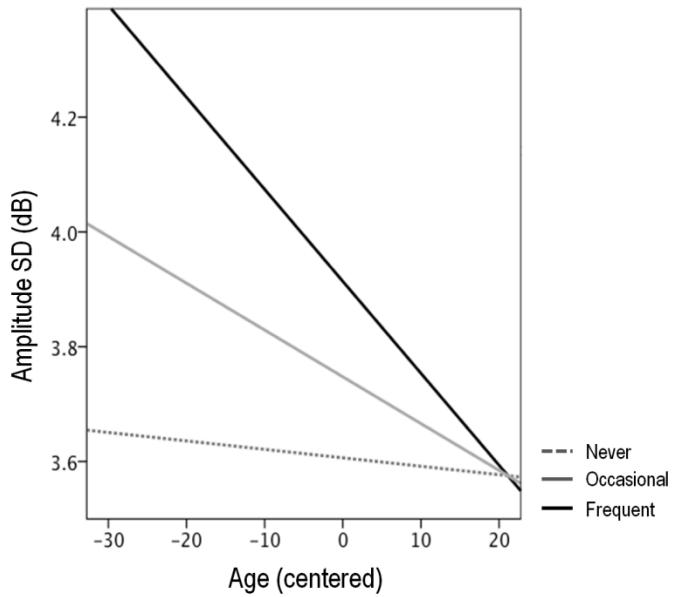


Figure 27. Conditional effects of singing frequency on the relationship between age (in years) and amplitude SD. The variable age was mean centered. A value of 0 thus refers to the mean age of the sample, which was 51 years. Negative values refer to participants younger than the mean, whereas positive values refer to older participants.

4. Discussion

The goal of this study was to characterize the relationship between aging and voice production in two different contexts (production of a sustained vowel, and overt reading of a standardized passage) in adults with different singing habits. Our results show that aging has a significant impact on most acoustic measures of women's voice in both tasks. For men, only one significant effect of age was found on the f0 SD in the sustained vowel. Importantly, our results suggest that frequent voice singing can contribute to the maintenance of certain acoustic parameters from declining throughout aging. These results are detailed in the following paragraphs.

4.1. Voice aging

Our results show vastly different age effects on the voice of men and women. For men, only a significantly higher f0 SD was found in the sustained vowel task in older men than in middle-aged and young men, in line with a previous study.²⁹ No other significant age effects were found. This is surprising, given that several studies have reported significant age effects on these acoustical measures, in particular f0.^{4,6,24,33,34} A previous study has reported that men in good physiological health have lower shimmer values than men in poor physiological health.³³ The authors observed that a better physiological health contributes to a better voice control independent of age. It is possible that men in our study were in a better physiological condition than men in previous studies, and therefore aging had less effect on their voice. However, although participants in

our study were all in good (self-reported) health, no objective measure of global health was taken. Additionally, our sample was not completely balanced in terms of gender with 30 men and 44 women. The lack of a health measure, and the relatively small and unbalanced sample, could have contributed to the differences found between men and women. In women, in contrast, we confirmed the significant decrease in f0 values with age.^{4,21,24-27} We also observed a diminution of amplitude SD (ie, better control over amplitude variations) and an augmentation of shimmer with aging. Those results corroborate previous reports,^{24,34} and may be related to physiological and hormonal changes that occur in aging such as vocal fold bowing and increased glottal gap.^{1,10,13,20,63} Interestingly, we found no significant effect of aging on jitter values in men or in women. As mentioned in the introduction, jitter is the acoustic measure showing the least consistency across studies in the literature.^{4,24,29-33} Interestingly, an effect of voice amplitude on jitter and shimmer measurements has been documented, with higher voice amplitude associated with more regular vocal fold vibration, and thus with reduced jitter values.^{35,37} It is thus possible that age effects on jitter were attenuated in the present study because we controlled for voice amplitude during the recordings (80 dB SPL). When not given specific instructions and feedback about voice amplitude, older adults may speak with a softer and possibly less stable voice, which would lead to age differences, as shown in a previous work.²⁹ Taken together, our results show multifaceted impacts of age on the female voice and more circumscribed age effects on the male voice.

4.2. Singing and the aging voice

The present study aimed to investigate the potentially positive effect of singing on the normal aging of voice. Our general hypothesis was that singing would help enhance voice control and therefore reduce perturbations and variations in the acoustic voice signal. The most important finding of this study is that, to a certain extent, singing does protect the voice from the decline in stability associated with normal aging, at least within the age range that we studied (20–93 years). Consistent with this finding, a recent study involving younger and older Carnatic classical singers and non-singers reported significant effects of singing and age on several acoustic measures of the voice, including the highest f0 value reached using a crescendo method.⁴³ A previous study has shown that vocal function exercise (VFE) can help mitigate physiological changes occurring in aging in singers.⁴⁴ The impact of training was observed on a small population of aging community of choral singers and reflected by an improvement on maximum duration time, jitter, shimmer, and HNR measures. VFE is often used in clinical settings and by professional singers to strengthen laryngeal muscles and to facilitate efficient vocal fold vibration. VFE was also shown to widen phonation range in teachers,⁶⁴ and to improve noise and aerodynamic measures in young singers.⁶⁵

A positive effect of singing on voice aging may result from different mechanisms, including better control of air pressure, vocal fold adduction and laryngeal position, which helps maintain a good output-cost ratio (ie, ratio of

the acoustic output amplitude to the stress imposed on the vocal folds during adduction). For instance, resonant voice, which is used by singers, has been shown to effectively and effortlessly convert the aerodynamic energy into acoustic energy.⁶⁶ Singers also learn to modify the configuration of their vocal tract to produce different pitch, timbre, and voice effects.^{67,68} A tendency to produce different articulatory configurations has been reported for singers (ie, widening of the lips and the pharynx, jaw opening, and raising of the tongue dorsum).^{68,69} Thus, singers' ability to finely control the shape of their vocal tract to obtain specific sounds may serve as a compensatory mechanism in aging. Furthermore, specific warm-ups are known to influence aerodynamic and electroglottographic measures in singers (ie, semi-occluded vocal tract as lip thrill and humming).⁷⁰ In sum, through regular exercises, singers learn to control respiratory, phonation, and resonance mechanisms to obtain stability of the vibration of the vocal folds effortlessly.^{64,67-69}

However, it is important to point out that voice registers are not affected in the same way by singing training,⁷¹ and that laryngeal control is not equivalent between singing techniques.⁶⁷ Moreover, a recent study found that different singing styles engaged laryngeal and pharyngeal structures in distinct manners and to different extents, and that rock singing seemed to be the style with the highest degree of both laryngeal and pharyngeal activity in healthy singers.⁷² Yet a previous study indicated that rock singers who use growling voice and reinforced falsetto did not show any significant difference from pop singers for acoustic and perceptual assessment of speaking voice, and did not show any major vocal fold pathology.⁷³ Taken together, these findings suggest that singing can be used to help alleviate voice issues occurring through normal aging, although different singing styles may have distinct effects given that they engage laryngeal structures in distinct ways. Understanding the nature and extent of age-related voice decline, as well as the positive impact of specific vocal habits including singing, is key to developing new interventions to delay the onset of—and potentially prevent—these difficulties. The present study is a step toward that broad and important goal. Future research needs to clarify the parameters that most benefit from singing, and whether all types of singing have a similar positive effect.

Importantly, in the present study, we showed positive effects of singing on pitch and voice amplitude in frequent singers. This is consistent with a previous study in which Pizolato and colleagues⁶⁴ demonstrated, in a sample of 102 teachers, that voice exercises targeting amplitude and pitch (tongue or lip thrills) associated with vocal hygiene guidance can have an immediate impact on voice acoustics, but must be used regularly to maintain this effect. Hence, although the present study shows a beneficial effect of singing on the aging of several voice acoustic parameters, additional studies are needed to clarify the intensity and frequency of singing needed to obtain long-term positive effects on voice.

5. Limitations

The present study provides interesting new evidence on the positive effect of singing on the aging voice. Nevertheless, the study does present a few limitations including a cross-sectional design, the lack of an objective measure of global health, a small sample size, heterogeneity in singing habits in the sample, and a relatively rough characterization of singing frequency. Although our global sample included 72 adults, this sample was broken down in subgroups for the analyses, which comprised 20-26 participants each. Moreover, because of a limited sample size with heterogeneous singing habits, we could not control for the kind of vocal training that participants received and for the singing style that participants performed. However, weekly singing frequency, which could be studied, proved to be an important moderating factor for voice aging. Yet a more detailed description of the participants' singing habits could help clarify the effect of singing on voice aging. For example, knowing the number of minutes each participant sang when they sang could reveal whether singing for a longer time but less frequently rather than singing often but briefly is more beneficial. Finally, because of the cross-sectional nature of the study, we cannot exclude that other factors related to singing habits may contribute to explaining the moderating effect of singing frequency on the aging of voice. Further studies are needed with large sample sizes, more controlled singing habits, and ideally a longitudinal design. Nevertheless, we do believe that the present findings are important as they pave the way to further, more detailed investigations of the positive effect of singing on voice aging.

6. Conclusions

This study contributes to current understanding of the normal aging of the human voice and provides new and important information on the relation between singing frequency and voice aging. Our results suggest that frequent singing can moderate negative age-related effects on voice, in particular in terms of the stability of pitch and amplitude, two important voice parameters that can significantly affect the effectiveness of communication. Based on our results, we hypothesize that singing, which represents a form of muscular training, helps maintain muscular strength and control over voice stability even in the presence of physiological changes that appear in aging. Although additional research is needed to guide clinical practice, these results are among the first to provide empirical evidence that singing exercises could be a low-cost alternative, or a complement, to traditional voice therapy, which could be self-administered at home.

6. Acknowledgments

This work was supported by grants from the Fonds Québécois de la Recherche–Société et Culture (FRQ-SC), from the Fonds Québécois de la Recherche–Santé (FRQ-S) to P. Tremblay, as well as from start-up funds from the Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (IUSMQ) also to P. Tremblay. P. Tremblay holds a

Career Award from the “Fonds de Recherche du Québec – Santé” (FRQS). We thank Mylène Bilodeau-Mercure, Carol-Ann Boudreault, Léonie Bourassa, and Claudie Ouellet for their help collecting data. We thank Isabelle Deschamps, Jessie Weber and Kristy Findlay for their comments on previous versions of this article. Thanks also to all participants.

7. Conflict of interest statement

All authors report no conflict of interest and no constraints on publishing.

8. References

1. Biever DM, Bless DM. Vibratory characteristics of the vocal folds in young adult and geriatric women. *J Voice*. 1989;3:120–131. doi:10.1016/S0892-1997(89)80138-9.
2. Honjo I, Isshiki N. Laryngoscopic and voice characteristics of aged persons. *Arch Otolaryngol*. 1980;106:149–150. doi:10.1001/archtol.1980.00790270013003.
3. Baken RJ. The aged voice: a new hypothesis. *J Voice*. 2005;19:317–325. doi:10.1016/j.jvoice.2004.07.005.
4. Goy H, Fernandes DN, Pichora-Fuller MK, et coll. Normative voice data for younger and older adults. *J Voice*. 2013;27:545–555. doi:10.1016/j.jvoice.2013.03.002.
5. Hunter EJ, Kapsner-Smith M, Pead P, et coll. Age and speech production: a 50-year longitudinal study. *J Am Geriatr Soc*. 2012;60:1175–1177. doi:10.1111/j.1532-5415.2012.03983.x.
6. Stathopoulos ET, Huber JE, Sussman JE. Changes in acoustic characteristics of the voice across the life span: measures from individuals 4–93 years of age. *J Speech Lang Hear Res*. 2011;54:1011–1021. doi:10.1044/1092-4388(2010/10-0036).
7. Verdonck-de Leeuw IM, Mahieu HF. Vocal aging and the impact on daily life: a longitudinal study. *J Voice*. 2004;18:193–202. doi:10.1016/j.jvoice.2003.10.002.
8. Hollien H. “Old voices”: what do we really know about them? *J Voice*. 1987;1:2–17. doi:10.1016/S0892-1997(87)80018-8.
9. Plank C, Schneider S, Eysholdt U, et coll. Voice- and health-related quality of life in the elderly. *J Voice*. 2011;25:265–268. doi:10.1016/j.jvoice.2009.11.002.
10. Bloch I, Behrman A. Quantitative analysis of videostroboscopic images in presbylarynges. *Laryngoscope*. 2001;111:2022–2027. doi:10.1097/00005537-200111000-00029.
11. Ximenes Filho JA, Tsuji DH, do Nascimento PHS, et al. Histologic changes in human vocal folds correlated with aging: a histomorphometric study. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2003;112:894–898. doi:10.1177/000348940311201012.
12. Kersing W, Jennekens FG. Age-related changes in human thyroarytenoid muscles: a histological and histochemical study. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2004;261:386–392. doi:10.1007/s00405-003-0702z.
13. Pontes P, Brasolotto A, Behlau M. Glottic characteristics and voice complaint in the elderly. *J Voice*. 2005;19:84–94. doi:10.1016/j.jvoice.2004.09.002.
14. Pontes P, Yamasaki R, Behlau M. Morphological and functional aspects of the senile larynx. *Folia Phoniatr Logop*. 2006;58:151–158.
15. Sato K, Umeno H, Nakashima T. Functional histology of the macula flava in the human vocal fold—Part 2: its role in the growth and development of the vocal fold. *Folia Phoniatr Logop*. 2010;62:263–270. doi:10.1159/000316962.
16. Sato K, Umeno H, Ono T, et al. Histopathologic study of human vocal fold mucosa unphonated over a decade. *Acta Otolaryngol*. 2011;131:1319–1325. doi:10.3109/00016489.2011.615067.
17. Teles-Magalhães LC, Pegoraro-Krook MI, Pegoraro R. Study of the elderly females’ voice by phonotography. *J Voice*. 2000;14:310–321. doi:10.1016/S0892-1997(00)80077-6.

18. Ramig LO, Gray S, Baker K, et coll. The aging voice: a review, treatment data and familial and genetic perspectives. *Folia Phoniatr Logop.* 2001;53:252–265. doi:10.1159/000052680.
19. Sauder C, Roy N, Tanner K, et coll. Vocal function exercises for presbylaryngis: a multidimensional assessment of treatment outcomes. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2010;119:460–467. doi:10.1177/000348941011900706.
20. Kuhn MA. Histological changes in vocal fold growth and aging. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2014;22:460–465. doi:10.1097/MOO.0000000000000108.
21. Ma EPM, Love AL. Electroglossographic evaluation of age and gender effects during sustained phonation and connected speech. *J Voice.* 2010;24:146–152. doi:10.1016/j.jvoice.2008.08.004.
22. Schneider B, van Trotsenburg M, Hanke G, et coll. Voice impairment and menopause. *Menopause.* 2004;11:151–158. doi:10.1097/01.GME.0000094192.24934.46.
23. D’Haeseleer E, Depypere H, Claeys S, et coll. The impact of menopause on vocal quality. *Menopause.* 2011;18:267–272. doi:10.1016/j.jvoice.2011.11.011.
24. Dehghan A, Scherer RC, Dashti G, et al. The effects of aging on acoustic parameters of voice. *Folia Phoniatr Logop.* 2012;64:265–270. doi:10.1159/000343998.
25. Torre P, Barlow JA. Age-related changes in acoustic characteristics of adult speech. *J Commun Disord.* 2009;42:324–333. doi:10.1016/j.jcomdis.2009.03.001.
26. Da Silva PT, Master S, Andreoni S, et coll. Acoustic and long-term average spectrum measures to detect vocal aging in women. *J Voice.* 2011;25:411–419. doi:10.1016/j.jvoice.2010.04.002.
27. Awan SN. The aging female voice: acoustic and respiratory data. *Clin Linguist Phon.* 2006;20:171–180. doi:10.1080/02699200400026918.
28. Linville SE, Fisher HB. Acoustic characteristics of perceived versus actual vocal age in controlled phonation by adult females. *J Acoust Soc Am.* 1985;78:40–48.
29. Lortie CL, Thibeault M, Guitton MJ, et coll. Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice. *Age (Omaha).* 2015;37:117. doi:10.1007/s11357-015-9854-1.
30. Linville SE. Acoustic-perceptual studies of aging voice in women. *J Voice.* 1987;1:44–48. doi:10.1016/S0892-1997(87)80023-1.
31. Bier SD, Watson CI, McCann CM. Using the perturbation of the contact quotient of the EGG waveform to analyze age differences in adult speech. *J Voice.* 2014;28:267–273. doi:10.1016/j.jvoice.2013.10.021.
32. Wilcox KA, Horii Y. Age and changes in vocal jitter. *J Gerontol.* 1980;35:194–198.
33. Ramig LA, Ringel RL. Effects of physiological aging on selected acoustic characteristics of voice. *J Speech Hear Res.* 1983;26:22–30. doi:10.1044/jshr.2601.22.
34. Xue SA, Deliyski DD. Effects of aging on selected acoustic voice parameters: preliminary normative data and educational implications. *Educ Gerontol.* 2001;27:159–168. doi:10.1080/03601270151075561.
35. Brockmann M, Storck C, Carding PN, et al. Voice loudness and gender effects on jitter and shimmer in healthy adults. *J Speech Lang Hear Res.* 2008;51:1152–1161. doi:10.1044/1092-4388(2008/06-0208).
36. Orlikoff RF, Kahane JC. Influence of mean sound pressure level on jitter and shimmer measures. *J Voice.* 1991;5:113–119. doi:10.1016/S0892-1997(05)80175-4.
37. Brockmann M, Drinnan MJ, Storck C, et al. Reliable jitter and shimmer measurements in voice clinics: the relevance of vowel, gender, vocal intensity, and fundamental frequency effects in a typical clinical task. *J Voice.* 2011;25:44–53. doi:10.1016/j.jvoice.2009.07.002.
38. Sataloff RT, Rosen DC, Hawkshaw M, et al. The aging adult voice. *J Voice.* 1997;11:156–160. doi:10.1016/S0892-1997(97)80072-0.
39. Wolf SK, Stanley D, Sette WJ. Quantitative studies on the singing voice. *J Acoust Soc Am.* 1935;6:255.
40. Awan SN. Phonetographic profiles and F0-SPL characteristics of untrained versus trained vocal groups. *J Voice.* 1991;5:41–50. doi:10.1016/S0892-1997(05)80162-6.
41. Awan SN, Ensslen AJ. A comparison of trained and untrained vocalists on the dysphonia severity index. *J Voice.* 2010;24:661–666. doi:10.1016/j.jvoice.2009.04.001.
42. Mendes AP, Rothman HB, Sapienza C, et al. Effects of vocal training on the acoustic parameters of the singing voice. *J Voice.* 2003;17:529–543. doi:10.1067/S0892-1997(03)00083-3.

43. Maruthy S, Ravibabu P. Comparison of dysphonia severity index between younger and older carnatic classical singers and nonsingers. *J Voice*. 2015;doi:10.1016/j.jvoice.2014.05.001.
44. Tay EYL, Phyland DJ, Oates J. The effect of vocal function exercises on the voices of aging community choral singers. *J Voice*. 2012;26:672, e19-672.e27. doi:10.1016/j.jvoice.2011.12.014.
45. Barlow C, Howard DM. Electrolaryngographically derived voice source changes of child and adolescent singers. *Logoped Phoniatr Vocol*. 2005;30:147–157. doi:10.1080/14015430500294031.
46. Fuchs M, Meuret S, Thiel S, et al. Influence of singing activity, age, and sex on voice performance parameters, on subjects' perception and use of their voice in childhood and adolescence. *J Voice*. 2009;23:182–189. doi:10.1016/j.jvoice.2007.09.007.
47. Prakup B. Acoustic measures of the voices of older singers and nonsingers. *J Voice*. 2012;26:341–350. doi:10.1016/j.jvoice.2011.05.007.
48. Brown WS, Morris RJ, Hicks DM, et al. Phonational profiles of female professional singers and nonsingers. *J Voice*. 1993;7:219–226. doi:10.1016/S0892-1997(05)80330-3.
49. Brown WS, Morris RJ, Michel JF. Vocal jitter and fundamental frequency characteristics in aged, female professional singers. *J Voice*. 1990;4:135–141. doi:10.1016/S0892-1997(05)80138-9.
50. Brown WS, Morris RJ, Hollien H, et al. Speaking fundamental frequency characteristics as a function of age and professional singing. *J Voice*. 1991;5:310–315. doi:10.1016/S0892-1997(05)80061-X.
51. Yesavage JA, Brink TL, Rose TL, et al. Development and validation of a geriatric depression screening scale: a preliminary report. *J Psychiatr Res*. 1983;17:37–49. doi:10.1016/0022-3956(82)90033-4.
52. Nasreddine ZS, Chertkow HP, Phillips N, et coll. Sensitivity and specificity of the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) for detection of mild cognitive deficits. *Can J Neurol Sci*. 2003;30:30.
53. International Phonetic Association. *Handbook of the International Phonetic Association: A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*. Cambridge : Cambridge University Press; 1999. doi:10.2277/0521652367.
54. Boersma P, Weenink D. Praat: doing phonetics by computer. 2013.
55. Orlikoff RF, Baken RJ. Consideration of the relationship between the fundamental frequency of phonation and vocal jitter. *Folia Phoniatr Logop*. 1990;42:31–40. doi:10.1159/000266017.
56. Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *J R Stat Soc Ser B*. 1995;57:289–300. doi:10.2307/2346101.
57. Hayes AF. *Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis: A Regression-Based Approach*. New York : The Guilford Press; 2013.
58. Baron RM, Kenny DA. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations. *J Pers Soc Psychol*. 1986;51:1173–1182. doi:10.1037/0022-3514.51.6.1173.
59. Shrout PE, Bolger N. Mediation in experimental and nonexperimental studies: new procedures and recommendations. *Psychol Methods*. 2002;7:422. doi:10.1037//1082-989x.7.4.422.
60. MacKinnon DP, Fairchild AJ, Fritz MS. Mediation analysis. *Annu Rev Psychol*. 2007;58:593–614. doi:10.1146/annurev.psych.58.110405.085542.
61. Preacher KJ, Hayes AF. Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behav Res Methods*. 2008;40:879–891. doi:10.3758/BRM.40.3.879.
62. Preacher KJ, Hayes AF. SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. *Behav Res Methods Instrum Comput*. 2004;36:717–731. doi:10.3758/BF03206553.
63. Gracco C, Kahane JC. Age-related changes in the vestibular folds of the human larynx: a histomorphometric study. *J Voice*. 1989;3:204–212. doi:10.1016/S0892-1997(89)80002-5.
64. Pizolato RA, Beltrati Cornacchioni Rehder MI, Dos Santos Dias CT, et al. Evaluation of the effectiveness of a voice training program for teachers. *J Voice*. 2013;27:603–610. doi:10.1016/j.jvoice.2013.04.013.
65. Wrycza Sabol J, Lee L, Stemple JC. The value of vocal function exercises in the practice regimen of singers. *J Voice*. 1995;9:27–36. doi:10.1016/S0892-1997(05)80220-6.
66. Titze IR. Acoustic interpretation of resonant voice. *J Voice*. 2001;15:519–528. doi:10.1016/S0892-1997(01)00052-2.

67. Kochis-Jennings KA, Finnegan EM, Hoffman HT, et al. Laryngeal muscle activity and vocal fold adduction during chest, chestmix, headmix, and head registers in females. *J Voice*. 2012;26:182–193. doi:10.1016/j.jvoice.2010.11.002.
68. Echternach M, Traser L, Richter B. Vocal tract configurations in tenors' passaggio in different vowel conditions—a real-time magnetic resonance imaging study. *J Voice*. 2014;28:262, e1-262.e8. doi:10.1016/j.jvoice.2013.10.009.
69. Echternach M, Sundberg J, Arndt S, et al. Vocal tract in female registers—a dynamic real-time MRI study. *J Voice*. 2010;24:133–139. doi:10.1016/j.jvoice.2008.06.004.
70. Dargin TC, Searl J, City K. Semi-occluded vocal tract exercises: aerodynamic and electroglottographic measurements in singers. *J Voice*. 2015;29:155–164. doi:10.1016/j.jvoice.2014.05.009.
71. Mendes AP, Brown WS, Rothman HB, et al. Effects of singing training on the speaking voice of voice majors. *J Voice*. 2004;18:83–89. doi:10.1016/j.jvoice.2003.07.006.
72. Guzman M, Barros M, Espinoza F, et al. Laryngoscopic, acoustic, perceptual, and functional assessment of voice in rock singers. *Folia Phoniatr Logop*. 2014;65:248–256. doi:10.1159/000357707.
73. Guzman M, Lanas A, Olavarria C, et al. Laryngoscopic and spectral analysis of laryngeal and pharyngeal configuration in non-classical singing styles. *J Voice*. 2015;29:130, e21-130.e28. doi:10.1016/j.jvoice.2014.05.004.

7 Étude 3 : Age differences in the voice of smoking and non-smoking adults: a cross-sectional study

Auteurs : Catherine L. Lortie^{1,2,3}, Mélanie Thibeault⁴, Matthieu J. Guitton^{2,3}, Pascale Tremblay^{1,3}

Affiliations : ¹Département de réadaptation, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada.

²Département d'Otorhinolaryngologie et d'Ophtalmologie, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada.

³Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (CRIUSMQ);

Québec, Québec Canada. ⁴Nuance communications Inc.; Montréal, Québec, Canada.

Référence complète : Lortie, C. L., Thibeault, M., Guitton, M. J., & Tremblay, P. Age differences in the voice of smoking and non-smoking adults: a cross-sectional study. En préparation.

Résumé : *Objectif* : Le vieillissement et le tabagisme font partie des premières causes de détérioration de la voix. Cependant, l'interaction entre le vieillissement et le tabagisme sur les propriétés acoustiques de la voix chez les hommes et les femmes est très peu connue. *Méthode* : Cent trente-neuf adultes (dont 59 adultes fumeurs) âgés de 19 à 75 ans ont participé à cette étude transversale. Nous avons examiné les différences liées à l'âge sur les propriétés acoustiques de la voix et les mécanismes de contrôle de la voix d'adultes fumeurs et non-fumeurs lors de productions de voyelles soutenues et de discours spontané, ainsi que l'association entre la sévérité du tabagisme, la durée du tabagisme et les propriétés acoustiques de la voix.

Résultats : Une différence a été observée entre l'amplitude de la voix des adultes fumeurs et non-fumeurs, les adultes fumeurs ayant une plus faible amplitude dans toutes les tâches effectuées. En discours spontané, cette différence dépendait de l'âge du locuteur. Des différences liées au statut tabagique ont également été observées sur les mesures de stabilité de la voix dans les conditions de faible et de haute amplitude/fréquence de la voix, mais pas en voix normale. La sévérité et la durée des habitudes de consommation de la cigarette étaient négativement associées à la fréquence fondamentale moyenne des jeunes hommes et positivement associées à l'instabilité de la fréquence fondamentale et de l'amplitude de la voix chez les femmes et les hommes fumeurs plus âgés. *Discussion* : En somme, nos résultats ont révélé des différences liées au tabagisme à la fois dépendantes et indépendantes de l'âge du locuteur, qui nuisent à la stabilité et à l'amplitude de la voix.

Abstract: Purpose: Aging and cigarette smoking are among the leading causes of voice degradation. However, little is known about the interaction between aging and smoking on voice acoustics in men and women. Method: 139 adults (including 59 cigarette smoking adults) ranging in age from 19 to 75 years old participated in this cross-sectional study. We examined age differences in voice acoustics and voice control mechanisms in smoking and non-smoking adults during the production of sustained vowels and connected speech, as well as the relationship between smoking extent, smoking duration and voice acoustics. Results: A difference in normal voice amplitude between smoking and non-smoking adults was found, with lower amplitude in smoking adults in all tasks. In connected speech, this difference was age-dependent. Smoking-related differences were also observed on voice stability measures in low and high amplitude/frequency voices, but not in normal voice. The extent and duration of smoking habits were negatively correlated with f0 values in young males and positively correlated with instability of f0 and amplitude in older male and female smoking adults. Conclusions: Taken together, our results reveal both age-dependent and age-independent smoking differences on voice acoustics, affecting the stability and amplitude of the voice.

1. Introduction

Cigarette smoking and aging are among the leading causes of voice degradation. Because of the negative effects that it has on the larynx (Auerbach, Hammond, & Garfinkel, 1970; Hirabayashi et al., 1990; Pinto, Crespo, & Mourao, 2014), cigarette smoking affects different aspects of voice acoustics, including fundamental frequency (f_0) and voice stability measures. Smoking-related changes to f_0 have been found in several studies, including significantly lower mean f_0 values for sustained phonation in smoking compared with non-smoking young women (Gonzalez & Carpi, 2004; Vincent & Gilbert, 2012) and older men (Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004). Others have observed a trend for lower mean f_0 values in smoking men and women (Guimaraes & Abberton, 2005; Sorensen & Horii, 1982) or in men only (Gonzalez & Carpi, 2004; Pinto et al., 2014). Lower connected speech f_0 (SFF) values were also observed in smoking compared with non-smoking women (Gilbert & Weismer, 1974) and men (Sorensen & Horii, 1982). A few studies have found higher jitter values (i.e., decreased stability of the vocal fold vibration) in smoking compared with non-smoking young women (Vincent & Gilbert, 2012), in young adults and especially men (Gonzalez & Carpi, 2004), in middle-aged men (Chai et al., 2011) and in middle-aged men and women (Guimaraes & Abberton, 2005; Pinto et al., 2014). Higher shimmer values (i.e., increased cycle-by-cycle irregularity of voice amplitude) have been observed in smoking compared with non-smoking young women (mean age: 28, range 19-48 years) (Vincent & Gilbert, 2012), middle-aged men (mean age: 44 ± 7.64 years) (Chai et al., 2011) and middle-aged adults (mean age: 48, range 35-60 years) (Pinto et al., 2014), although two studies did not find significant differences between smoking and non-smoking young men (mean age: 22, range 20-34 years) (Pinar, Cincik, Erkul, & Gungor, In press) and young adults (mean age: 22, range 20-29 years) (Gonzalez & Carpi, 2004) on shimmer values. Finally, although two study observed lower Harmonicto- Noise Ratio (HNR) values in the voice of smoking compared with non-smoking adults (Chai et al., 2011; Pinto et al., 2014), others did not (Gonzalez & Carpi, 2004; Pinar et al., In press; Vincent & Gilbert, 2012). In sum, the impact of smoking on voice acoustics is both strong and multidimensional, affecting numerous voice parameters.

The natural aging process also produces many changes to the anatomy and functioning of the vocal folds, negatively affecting voice stability and amplitude in a sex-dependent manner (Dehqan, Scherer, Dashti, Ansari-Moghaddam, & Fanaie, 2012; Goy, Fernandes, Pichora-Fuller, & van Lieshout, 2013; Lortie, Thibeault, Guitton, & Tremblay, 2015). For instance, men generally show gradually higher mean f_0 values with age (Dehqan et al., 2012; Honjo & Isshiki, 1980; Torre & Barlow, 2009), while women exhibit lower mean f_0 values with age (Dehqan et al., 2012; Goy et al., 2013; Torre & Barlow, 2009). The effect of age on voice perturbation measures is less clear: although some studies have shown that voice stability defined as jitter and shimmer was lower with age (Dehqan et al., 2012; Wilcox & Horii, 1980), another did not find significant differences between age groups (Goy et al., 2013). Although much is known about the effect of age and smoking on voice

production, the combined effect of age and smoking on voice production remains unknown. Indeed, studies on the effects of smoking on voice production have focused mainly on young adults under 30 years of age (Awan & Alphonso, 2007; Awan, 2011; Gonzalez & Carpi, 2004) up to middle-aged adults under 60 years of age (Chai et coll., 2011; Gilbert & Weismer, 1974; Pinar et al., In press; Pinto et coll., 2014; Sorensen & Horii, 1982; Vincent & Gilbert, 2012). To our knowledge, only one study has examined the effects of smoking on voice production in adults over 60 years of age (Verdonck-de Leeuw & Mahieu, 2004). Only men were included in this study. Furthermore, many studies examining the effects of smoking on voice production have focused on standard sustained vowel production tasks (Awan & Alphonso, 2007; Awan, 2011; Chai et coll., 2011; Gonzalez & Carpi, 2004; Pinar et al., In press; Pinto et coll., 2014; Vincent & Gilbert, 2012), and only a few have included a more naturalistic measure such as spontaneous speech (Gilbert & Weismer, 1974; Guimaraes & Abberton, 2005; Sorensen & Horii, 1982). Thus, the main objective of the present study was to examine age differences in the voice acoustics of smoking and non-smoking adults during the production of both sustained vowels and connected speech, information that will help tease apart normal from pathological changes in the voice of older smoking adults. Our general hypothesis was that the effect of smoking on voice production would be stronger in older adults, particularly in terms of voice stability decline.

However, smoking is not simply a dichotomous factor. Indeed, smoking varies in both extent (number of cigarettes consumed per day) and duration, which may have an impact on voice acoustics. However, only very few studies have examined the relationship between voice production and these important smoking-related factors. In one of these studies, higher jitter values were found in a group of heavy-smoking adults (average of 21 cigarettes per day) compared with light-smoking adults (average of 7.4 cigarettes per day) (Guimaraes & Abberton, 2005). Another study reported that young women who smoke more than 10 cigarettes per day had lower minimum, maximum and mean f₀ during sustained phonation compared with women who smoke fewer than 10 cigarettes per day (Gonzalez & Carpi, 2004). Vincent and Gilbert (2012) observed that women who smoked for at least 10 years had lower f₀ and higher shimmer values than women who smoked for less than 10 years, demonstrating an effect of smoking duration on voice acoustics. However, a recent study reported no significant relationship between voice acoustics in young women (i.e., jitter, F_{high}, l_{low}, and MPT) and the number of cigarettes consumed per day or smoking duration (Awan, 2011). Of note, Awan' study (2011) included only very young women (mean age: 21, range 18-24 years) having a short active smoking history ranging from 1 to 7 years, while in Vincent and Gilbert study (2012) the effect of smoking duration was observed on women who smoke for at least 10 years, with a range of 10 to 25 years (mean of 17 years). It is therefore possible that the effect of smoking duration emerges only after many years of smoking. Here, we aimed to examine the relationship between smoking extent, smoking duration and voice acoustics in adults ranging in age from 19 to 75 years. Knowing how these factors affect voice acoustical properties will contribute

to identifying the limits of normality in aging populations with a range of smoking habits. We hypothesized that smoking extent and duration would be negatively associated with voice stability measures.

Most previous studies have focused on voice acoustics rather than measures of voice control such as the ability to modulate the voice amplitude and frequency. Yet, humans can modulate the amplitude and frequency of their voice according to the communication context (e.g., to increase voice amplitude in a noisy environment), but also to reflect their emotional state (Banse & Scherer, 1996; Scherer, 1989) or to differentiate a question from a statement, etc. (for a review on speech prosody, see Cutler, Dahan, & van Donselaar [1997]). The ability to regulate these important voice parameters is thus essential to efficient communication. However, very little is known about the factors, such as age, sex and smoking, which modulate the ability to control the frequency and amplitude of voice. A prior study from our group suggests that amplitude and frequency control mechanisms are preserved in older adults (Lortie et al., 2015), consistent with previous reports on voice amplitude control in aging (Bier, Watson, & McCann, 2014; Mazzetto de Menezes, Master, Guzman, Borthem, & Ramos, 2014). However, only non-smoking adults were included in these studies. The effect of smoking on voice control mechanisms has been assessed indirectly in a study in which the Dysphonia Severity Index (DSI) was administered on smoking and non-smoking young women (Awan, 2011). The DSI evaluates the severity of dysphonia using a combination of voice measures extracted during maximal performance task, including the highest phonational frequency (F_{high}), the lowest amplitude attainable (I_{low}), the jitter and the Maximal Phonation Time (MPT) (Wuyts et al., 2000). The results of the study show significant differences in maximal performances between smoking and non-smoking women, with smoking women exhibiting sub-optimal performances in I_{low} and F_{high} , suggesting that voice control mechanisms are less efficient in smoking adults (Awan, 2011). Thus, another objective of the present study was to examine age and sex differences in smoking and non-smoking adults on voice amplitude and frequency control mechanisms. Our hypothesis, based on Awan' results (2011) and on our own previous findings (Lortie et al., 2015), was that mean amplitude and frequency values would be lower in smoking compared with non-smoking adults in maximal performance voice conditions, independent of age.

In summary, in the present study, we examined age differences on the voice acoustics of smoking and non-smoking males and females in different contexts (steady vowel utterances and connected speech), in terms of voice amplitude, f_0 and stability. We also examined age differences on voice amplitude and frequency control mechanisms in smoking and non-smoking adults, and the relationship between smoking extent, smoking duration and voice acoustics.

2. Methods

2.1. Participants

142 healthy adults ranging in age from 19 to 75 years old were recruited from the general community in Quebec City (QC, Canada) through emails, flyers, journal ads, and posters from February 2014 to August 2015. All participants were native speakers of Canadian French. At the time of recording, the participants had no respiratory infection or allergy, and were free of voice complaints. Exclusion criteria included self-reported history of diagnosed respiratory restrain or speech, voice, language, swallowing, hearing, neurological, or neurodegenerative disorder; a history of acute or chronic respiratory disorder (asthma, bronchitis, etc.); dysphagia; or any laryngeal trauma or disorders including surgically treated nodules, polyps, or Reinke's edema. Of the original sample, three participants were excluded because they did not meet the inclusion criteria; and the remaining 139 participants were included in the analysis (overall mean age \pm standard deviation [SD] 50.96 ± 16.39). Of these, 59 adults (27 women, 32 men) were regular cigarette smoking adults (16.86 ± 10.07 cigarette per day, range: 3-55 cigarettes, 26.24 ± 13.8 years of regular smoking, range: 2-60 years), and 80 adults (35 women, 45 men) were non-smoking adults or had stopped smoking at least one year prior to the study. A French version of the Mini Mental State Examination (MMSE) (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975; Hudon et al., 2009) confirmed that their cognitive functioning was within normal limits given their age (29.18 ± 1.17 , range: 21-30 points). This was measured to ensure that instructions were understood by all participants. An analysis of the non-smoking group has been published elsewhere (Lortie et coll., 2015). Voice usage, singing practice, laryngopharyngeal reflux, cigarette smoke exposure and presence of dental prosthesis were documented, along with menopause status when applicable.

Our sample size ($N = 139$) was derived from a power analysis, which was based on the results of two previous studies that observed smoking effects (Vincent & Gilbert, 2012) and age effects (Lortie et al., 2015) on voice acoustics. In these studies, the effect sizes (Cohen d) for the differences between smoking and non-smoking adults were high (jitter: 1.27, shimmer: 1.43); and so was the effect sizes for the differences between young and older non-smoking adults (jitter: 0.86, shimmer: 1.13). Thus, assuming an alpha level (α) of 0.05 and a statistical power ($1-\beta$) of 0.80, the sample size needed was 11 participants per group to be able to detect group differences (Cohen d) of a minimal magnitude of 0.86 (the smallest reported effect size of interest). The current sample of 139 adults, divided into four groups of 30, 29, 30 and 50 participants each (based on age and smoking status), was thus adequate to test our hypotheses. Even when taking sex into consideration, no sub-group was smaller than 13 participants.

The sample was separated into four groups based on age and smoking status (**Table 13**). The cut off value of 50 years was used to distinguish younger from older participant based on the well-established finding that several voice changes occur during the fifth decade of life, including mean f0 in men (Dehqan et al., 2012; Honjo & Isshiki, 1980; Ma & Love, 2010; Torre & Barlow, 2009). In addition, the average age at menopause in Canada is 51 years (Society of Obstetricians and Gynaecologists of Canada, 2002). Thus, 50 years old cut off appears appropriate to study age differences in voice acoustics. All procedures were approved by the Institutional Ethical Committee of the “Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec” (protocol #353-2014) and the “CHU de Québec” (protocol #C14-01-1908). Informed written consent was obtained from all participants, and they were compensated for their participation.

Smoking status	Age group			Age		Cigarettes per day		Years of active smoking		Menopause			LPR	
		N	N women	mean \pm SD	range	mean \pm SD	range	mean \pm SD	range	Pre	In	Post	Occasional	Treated
Smoker	Young	30	14	35.47 (9.29)	19-49	11.68 (6.32)	3-25	16.93 (9.42)	2-35	13	1	0	2	1
	Older	29	13	56.9 (5.59)	50-75	22.21 (10.5)	8-55	35.86 (10.67)	8-60	1	4	8	5	3
Non-smoker	Young	30	15	34.1 (9.56)	20-49	3.36 (6.97)	0-30	4.12 (7.03)	0-20	14	1	0	1	1
	Older	50	20	66.94 (5.56)	51-75	10.23 (16.84)	0-75	10.67 (13.51)	0-45	1	0	19	7	4

Table 13. Participants' characteristics for each age group and smoking status. LPR: laryngopharyngeal reflux. Past cigarette habits (cigarettes consumed per day and years of active smoking) are reported for the non-smoking groups.

2.2. Voice recording

All recordings were performed by the same examiner under identical conditions in a quiet (but not soundproof) testing room at the CRIUSMQ, using an headset microphone (Beta 53, Shure, Illinois, United States) placed at 5cm at a 45° angle to the subject's mouth to decrease aerodynamic noise from the mouth. A headset microphone was used to ensure that the distance between the microphone and the mouth was kept constant throughout the procedure and across participants. The microphone was connected to an Edirol U-25EX analog interface, which was connected to a laptop computer. The recordings were performed using the Audacity software (version 2.0.3; Free Software Foundation, Maine, United States) at a sampling signal of 44.1 kHz and 32 bits of quantization. Throughout the experiment, short breaks and water were given to the participants as needed. Participants generally completed the session within 10 minutes.

2.2.1. Sustained vowel

Participants were given two trials for each task. First, they were asked to produce a sustained vowel /a/ at comfortable frequency and amplitude levels, i.e., under “normal talking voice” condition for as long as possible

following a deep breath. Next, they were asked to produce the vowel /a/ for approximately 3 seconds in four other conditions using an intersperse sustained vowel approach (Brockmann, Drinnan, Storck, & Carding, 2011; Goy et al., 2013): (1) lowest amplitude (without whispering) with normal pitch, (2) highest amplitude (without yelling) with normal pitch, (3) lowest frequency (normal amplitude), and (4) highest frequency (normal amplitude). Frequency and amplitude levels were self-determined by the participants in a manner similar to that implemented in previous studies (Bier et al., 2014; Mazzetto de Menezes et al., 2014). A demonstration of expected amplitude and frequency levels was given to each participant by the same examiner. All vowels were produced as steadily as possible, with no amplitude or frequency variation. The task order was identical across all participants in order to avoid contamination effects across voice conditions (in particular from the high amplitude and high frequency voice conditions). Because of the very short duration of the procedure (less than 10 minutes), no fatigue or habituation effects were expected.

2.2.2. Connected speech

Participants were asked to narrate, using their own words and in their native language (French Canadian), two popular story tales (i.e., “Red riding hood” and “Three little pigs”) at comfortable frequency, amplitude and rate. The participants were given a representative illustration of the story tale to help recall. If the story tale was unknown to the participant, he/she was asked to describe the given illustration instead.

2.3. Acoustic analysis

Vocal recordings were analyzed using Praat, version 5.3.39 (Boersma & Weenink, 2013). The acoustical parameters used in this study have been published elsewhere (Lortie et al., 2015).

2.3.1. Sustained vowel

All voice recordings were visually inspected to identify segments with artefacts such as extraneous noise, laughter or coughing. These segments were excluded from the analysis. Then, the longest and most stable central segments of each vowel were manually selected excluding voice onset and offset (mean duration \pm SD: normal voice 12.24 ± 6.7 sec; low amplitude : 2.59 ± 1.27 sec; high amplitude 2.7 ± 1.2 sec; low frequency : 2.79 ± 1.23 sec; high amplitude : 2.26 ± 1.19 sec). A Praat script was applied on that central section to automatically extract all acoustical measures, i.e., mean f0 (Hz) and f0 SD (semitones; st), mean amplitude and SD (dB), relative jitter (%), shimmer (dB), and HNR (dB). Relevant acoustic measures were selected based on the literature on smoking and on prior voice analyses from our group (Lortie, Rivard, Thibeault, & Tremblay, 2016; Lortie et al., 2015). The minimum and maximum f0 target values extracted with our scripts were adjusted according to the sex of the speaker (men 65-300 Hz; women 80-550 Hz). These

segments were visually inspected to correct for f0 disruptions manually if necessary, which was not the case here. For each participant, data from the two trials were averaged together for each acoustical measure and for each vowel task.

2.3.2. *Connected speech*

All voice recordings were first inspected to identify passages with artefacts such as extraneous noise, laughter or coughing, and caricatured voices. A 10 sec central section of each recording was manually selected, avoiding such passages. All acoustical measures (i.e., mean f0 [Hz] and f0 SD [st], mean amplitude and SD [dB], and HNR [dB]) were extracted using a Praat script applied on these 10 sec sections.

2.4. Statistical analyses

Statistical analyses were conducted using SPSS Statistics 22 (IBM SPSS Statistics, Armonk, NY). For all statistical procedures, $\alpha = 0.05$ was used to establish significance and a false discovery rate (FDR) correction was applied (Benjamini & Hochberg, 1995). Age was used as a dichotomous independent variable in the ANOVAs and in the regressions analyses described below. Participants were divided into two age groups (i.e., young: 19-49; and older: 50-75 years old). Sex was included as a categorical variable in most analyses to investigate potential sex-specific associations between smoking and voice acoustics. The only exception was for the regression analyses, which were performed separately for men and women. Measures of effect sizes are provided in the form of partial eta squared (η_p^2), which are reported for all main effects and interactions, along with Cohen d statistics when comparing means. For the regression analyses, the effect sizes are provided in the form of r^2 statistics.

2.4.1. *ANOVAs on the five sustained vowels*

To examine age differences between smoking and non-smoking adults on voice amplitude and frequency control mechanisms, two series of FDR corrected mixed model 3x2x2x2 ANOVAs were conducted. This was done because voice amplitude control mechanisms and frequency control mechanisms were evaluated separately, and therefore cannot be analyzed together.

In the first series of ANOVAs, voice amplitude (3 levels; low, normal, high) was used as a within-subject factor to compare the acoustic measures extracted from the normal, the low amplitude and the high amplitude sustained vowel tasks. To assess age and sex differences in voice acoustics in smoking and non-smoking adults, age group (2 levels; young: 19-49, older: 50-75 years), smoking status (2 levels; smoking, non-smoking) and sex (2 levels; men, women) were used as categorical between-subject factors.

In the second series of ANOVAs, voice frequency (3 levels; low, normal, high) was used as a within-subject factor to compare the acoustic measures extracted from the normal vowel with the low frequency and the high frequency sustained vowel tasks. The acoustical parameters of each of the five sustained vowels were used as dependent variables (mean f0, f0 SD, mean amplitude, amplitude SD, jitter, shimmer, HNR; FDR per dependent variable [acoustical measures] : i=15, q=.05). To assess age and sex differences in voice acoustics in smoking and non-smoking adults, age group (2 levels; young: 19-49, older: 50-75 years), smoking status (2 levels; smoking, non-smoking) and sex (2 levels; men, women) were used as categorical between-subject factors. Only contrasting results of the two series of ANOVAs (voice amplitude control versus voice frequency control) are presented; redundant result are not reported.

2.4.2. ANOVAS on connected speech vs. normal sustained vowel

First, the acoustical measures computed from the two different story tales (i.e., “Red riding hood” and “Three little pigs”) were compared using FDR corrected (i=5, q=.05) t-tests for dependent samples to ensure that they did not differ significantly. Results demonstrated no significant difference between the acoustical measures across the two connected speech recordings; therefore, a mean value was calculated for each acoustic parameter and used in the statistical analyses.

Next, to assess context differences (sustained vowels and connected speech) in voice acoustics in smoking and non-smoking adults as a function of age, a series of FDR corrected mixed model 2x2x2x2 ANOVAs was performed. The acoustical parameters extracted in both the sustained vowel and the connected speech tasks were used as dependent variables (mean f0, f0 SD, mean amplitude and amplitude SD, HNR; FDR per dependent variable [acoustical measures]: i=15, q=.05). For these analyses, the context (2 levels; normal sustained vowel, connected speech) was used as a within-subject variable, while age group (2 levels; young: 19-49, older: 50-75 years), smoking status (2 levels; smoking, non-smoking) and sex (2 levels; men, women) were used as categorical between-subject factors.

2.4.3. Smoking extent and duration

First, to assess age and sex differences in smoking extent and smoking duration in the smoking group, two univariate ANOVAs were performed (**Table 14**). The number of cigarettes per day and the number of active smoking years were used as dependent variables. For these analyses, age group (2 levels; young: 19-49, older: 50-75 years) and sex (2 levels; men, women) were used as categorical between-subject factors.

Next, to assess the relationship between smoking extent and voice acoustics, as well as the relationship between smoking duration and voice acoustics, a series of linear regression analyses were performed on

several acoustical parameters of the normal sustained vowel as dependent variables (mean f0, f0 SD, mean amplitude, amplitude SD, jitter, shimmer, HNR) separately for men and women. For these analyses, only the smoking group was included. Age was used as a categorical independent variable (2 levels; young: 19-49, older: 50-75 years). The number of active smoking years and the number of cigarettes per day were used as continuous independent variables.

Smoking adults			Cigarettes per day		Years of active smoking	
Age group	Sex	N	mean ± SD	range	mean ± SD	range
Young	Men	16	12.63 ± 7	3-25	18.25 ± 10.07	3-35
	Women	14	10.61 ± 5.48	3-20	15.43 ± 8.75	2-30
Older	Men	16	21.19 ± 5.85	10-30	36.44 ± 9.44	20-60
	Women	13	23.46 ± 14.54	8-55	35.15 ± 12.37	8-50

Table 14. Smoking adults' characteristics by age group and sex.

3. Results

Outliers, defined as values that were three median absolute deviations away from the median of each acoustical measure in each group (age and smoking status grouping, in addition to sex grouping for mean f0), were removed from the statistical analyses. After excluding outliers, 90.95% of data was suitable for statistical analyses. The smoking and non-smoking groups did not differ on any of the complementary measures (voice usage, singing practice, laryngopharyngeal reflux, cigarette smoke exposure and dental prosthesis; $\chi^2=0.01$ to 4.64 , $p=0.2$ to 0.99 , $\eta^2=0.01$ to 0.18). The mean age of the non-smoking group was a little higher than that of the smoking group ($t_{(137)}=3.3$, $p=0.001$, $d=0.56$), and as a result it also had a higher proportion of postmenopausal women ($\chi^2=10.94$, $p=0.004$, $\eta^2=0.28$).

3.1. ANOVAs on the five sustained vowels

Statistically significant main effects of smoking were identified on mean f0 ($F_{(1,99)}=15.42$, $p<0.001$, $\eta^2=0.13$), mean amplitude ($F_{(1,109)}=16.92$, $p<0.001$, $\eta^2=0.13$) and HNR ($F_{(1,105)}=5.82$, $p=0.038$, $\eta^2=0.05$). Mean f0 values were lower in smoking compared with non-smoking adults (non-smoking: 143.27 ± 45.69 Hz; smoking: 130.15 ± 38.26 Hz), as well as mean amplitude values (non-smoking: 59.94 ± 4.09 dB; smoking: 57.41 ± 5.06 dB) (Figure 28A). On the opposite, HNR values were higher in smoking compared with non-smoking adults (non-smoking: 18.56 ± 3.38 dB; smoking: 19.02 ± 3.72 dB). Main effects of age were identified on five acoustic measures, namely mean f0 ($F_{(1,97)}=11.75$, $p=0.002$, $\eta^2=0.11$), f0 SD ($F_{(1,96)}=32.07$, $p<0.001$, $\eta^2=0.25$), jitter

($F_{(1,91)}=17.24$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.16$), shimmer ($F_{(1,100)}=13.18$, $p=0.003$, $\eta_p^2=0.12$) and HNR ($F_{(1,105)}=24.87$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.19$). The older group showed higher f0 SD values (young: 0.19 ± 0.06 st; older: 0.25 ± 0.1 st), higher jitter values (young: 0.005 ± 0.001 %; older: 0.006 ± 0.002 %) and higher shimmer values (young: 0.04 ± 0.01 dB; older: 0.05 ± 0.2 dB) than the younger group, in addition to lower mean f0 values (young: 143.18 ± 47.67 Hz; older: 133.41 ± 38.84 Hz) and lower HNR values (young: 19.99 ± 2.55 dB; older: 17.84 ± 3.86 dB) than the younger group. Significant main effects of sex were observed on mean f0 ($F_{(1,97)}=690.56$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.88$), f0 SD ($F_{(1,96)}=7.61$, $p=0.02$, $\eta_p^2=0.07$) and amplitude SD ($F_{(1,96)}=42.17$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.3$), which confirmed that women had significantly higher mean f0 than men (men: 103 ± 12.54 Hz; women: 181.15 ± 23.51 Hz). Women also had higher amplitude SD values compared with men (men: 13.87 ± 0.38 dB; women: 14.16 ± 0.43 dB), but lower f0 SD values than men (men: 0.24 ± 0.09 st; women: 0.2 ± 0.09 st).

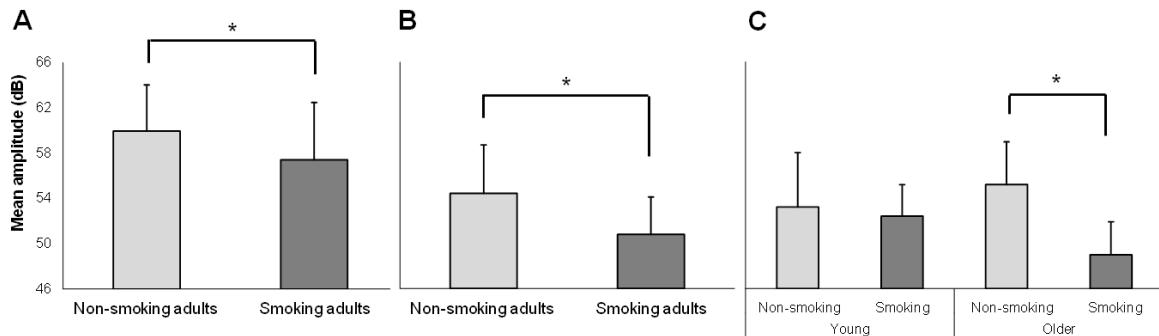


Figure 28. Main effect of smoking on sustained vowels (A) and connected speech (B) mean amplitude, and two-way interaction between smoking status and age on mean amplitude in connected speech (C). Asterisks indicate significance at $p\leq0.05$ (FDR-corrected). Error bars represent the standard deviation of the mean.

A two-way interaction was observed between smoking and age on shimmer ($F_{(1,97)}=7.05$, $p=0.04$, $\eta_p^2=0.07$). There was no age difference in shimmer values in non-smoking adults ($t_{(68)}=-1.92$, $p=0.06$, $d=0.48$), whereas there was an age effect on shimmer values for the smoking adults ($t_{(53)}=-2.28$, $p=0.03$, $d=0.63$) (Figure 29). A two-way interaction was also observed between smoking and amplitude on f0 SD ($F_{(1,96)}=7.91$, $p=0.002$, $\eta_p^2=0.08$). Non-smoking adults had significantly higher f0 SD values than smoking adults in the low amplitude voice ($t_{(123)}=3.28$, $p=0.001$, $d=0.59$), which was not observed in normal amplitude ($t_{(125)}=-1.35$, $p=0.18$, $d=0.26$) or high amplitude voice ($t_{(121)}=1.53$, $p=0.13$, $d=0.28$) (Figure 30). Two-way interactions were observed between smoking and frequency on shimmer ($F_{(1,100)}=6.36$, $p=0.01$, $\eta_p^2=0.06$) and HNR ($F_{(1,105)}=4.22$, $p=0.04$, $\eta_p^2=0.04$). Results showed that non-smoking adults had significantly higher shimmer values in the low frequency voice ($t_{(126)}=3.28$, $p=0.001$, $d=0.62$), but lower shimmer values in the high frequency voice condition ($t_{(123)}=-2.63$, $p=0.01$, $d=0.56$), than smoking adults (Figure 31A). Shimmer values in the normal voice condition did not differ ($t_{(123)}=1.11$, $p=0.27$, $d=0.19$). Results also revealed that HNR values between smoking and non-

smoking adults were not significantly different in the low frequency ($t_{(122)}=1.39$, $p=0.17$, $d=0.26$) and normal voice conditions ($t_{(130)}=-0.74$, $p=0.46$, $d=0.13$). However, smoking adults had lower HNR values than non-smoking adults in the high frequency voice ($t_{(130)}=3.1$, $p=0.002$, $d=0.56$) (**Figure 31B**).

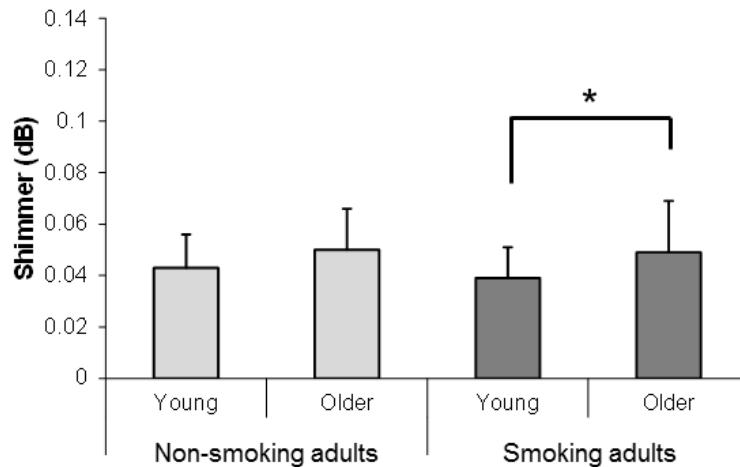


Figure 29. Two-way interaction between smoking status and age on shimmer in sustained vowels. Asterisks indicate significance at $p\leq 0.05$ (FDR-corrected). Error bars represent the standard deviation of the mean.

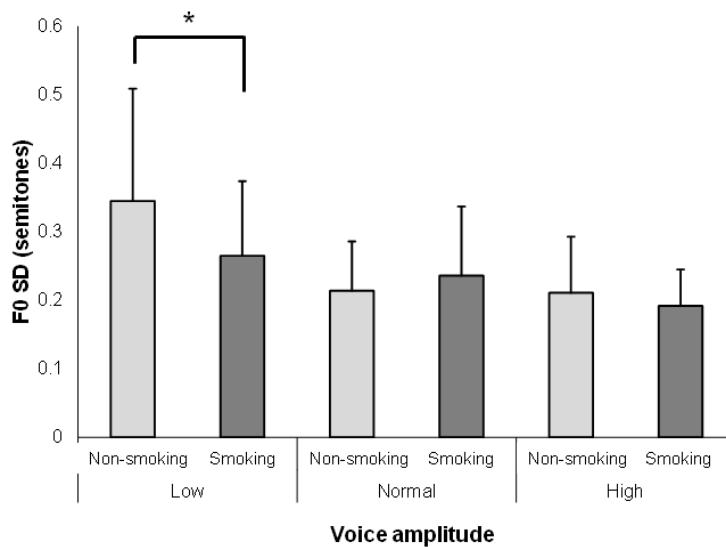


Figure 30. Two-way interaction between smoking status and voice amplitude on f0 SD in sustained vowels. Asterisks indicate significance at $p\leq 0.05$ (FDR-corrected). Error bars represent the standard deviation of the mean.

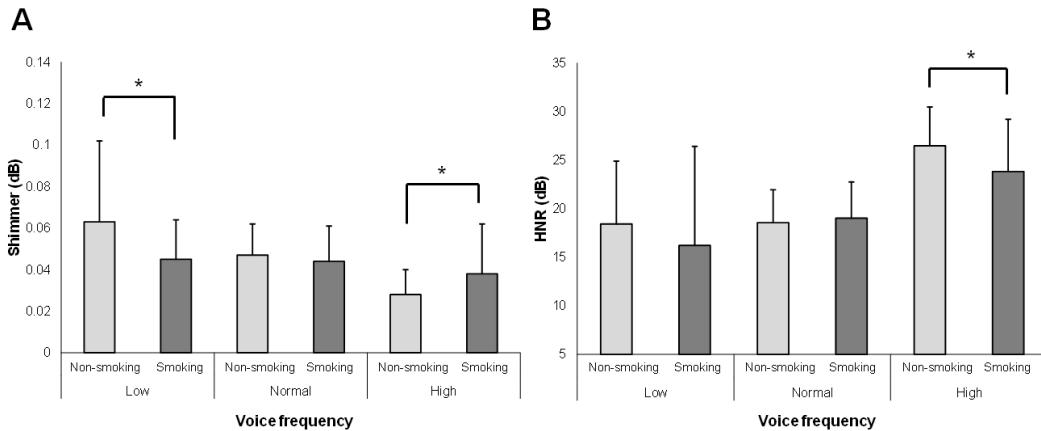


Figure 31. Two-way interactions between smoking status and voice frequency on shimmer (A) and HNR (B) in sustained vowels. Asterisks indicate significance at $p \leq 0.05$ (FDR-corrected). Error bars represent the standard deviation of the mean.

A three-way interaction was observed between smoking, age and sex on mean f0 ($F_{(1,97)}=6.7$, $p=0.02$, $\eta_p^2=0.06$) and HNR ($F_{(1,105)}=7.64$, $p=0.02$, $\eta_p^2=0.07$). Results revealed that mean f0 values were similar between smoking and non-smoking young men ($t_{(27)}=0.66$, $p=0.52$, $d=0.24$), young women ($t_{(23)}=1.04$, $p=0.32$, $d=0.45$) and old men ($t_{(38)}=1.73$, $p=0.09$, $d=0.55$), but were significantly lower in smoking compared with non-smoking older women ($t_{(28)}=5.52$, $p<0.001$, $d=2.01$) (Figure 32). Results also showed that HNR values were similar between smoking and non-smoking young men ($t_{(27)}=0.05$, $p=0.96$, $d=0.02$), young women ($t_{(25)}=0.21$, $p=0.84$, $d=0.08$) and old women ($t_{(28)}=1.27$, $p=0.22$, $d=0.46$), but showed a tendency toward HNR values being higher in smoking compared with non-smoking older men ($t_{(44)}=-1.9$, $p=0.06$, $d=0.6$). A three-way interaction was also observed between smoking, age and amplitude on shimmer ($F_{(1,97)}=10.13$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.09$). For the young adults, results revealed that the shimmer values between smoking and non-smoking adults did not differ in low amplitude and normal voice conditions (low: $t_{(56)}=1.17$, $p=0.25$, $d=0.97$; normal: $t_{(51)}=-1.83$, $p=0.07$, $d=0.32$), whereas the shimmer values were higher for smoking compared with non-smoking adults in high amplitude voice ($t_{(53)}=-3.44$, $p=0.001$, $d=0.6$) (Figure 33A). For the older adults, shimmer values did not differ between smoking and non-smoking adults in low amplitude and normal voice conditions also (low : $t_{(65)}=0.18$, $p=0.86$, $d=0.63$; normal : $t_{(69)}=0.73$, $p=0.47$, $d=0.05$). However, in the high amplitude voice, the shimmer values were lower in smoking compared with non-smoking older adults ($t_{(69)}=2.51$, $p=0.01$, $d=0.24$), in the opposite direction than what was found for the younger adults (Figure 33B).

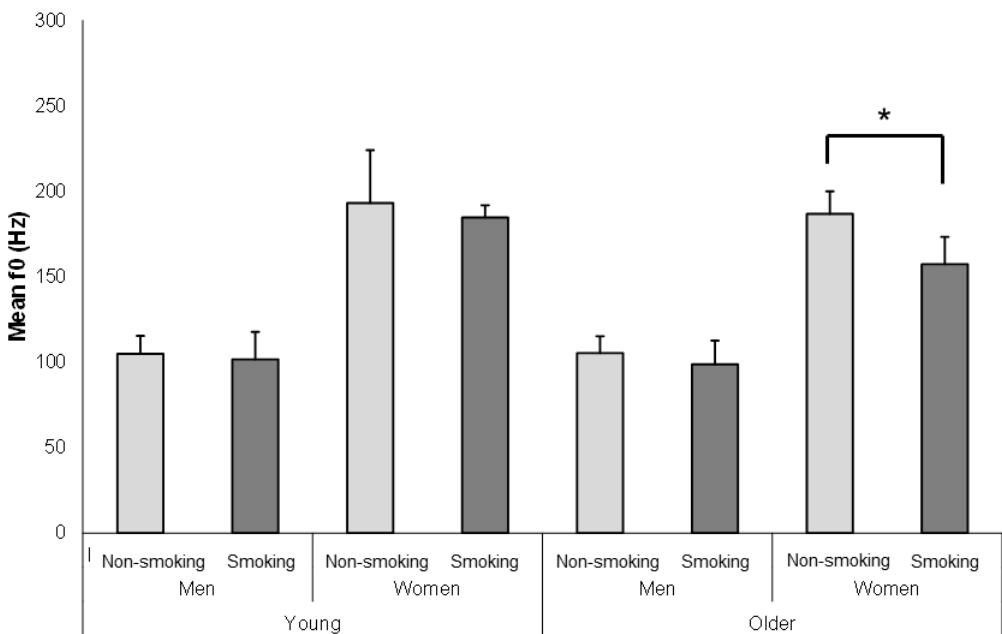


Figure 32. Three-way interaction between smoking status, age and sex on mean f0 in sustained vowels. Asterisks indicate significance at $p \leq 0.05$ (FDR-corrected). Error bars represent the standard deviation of the mean.

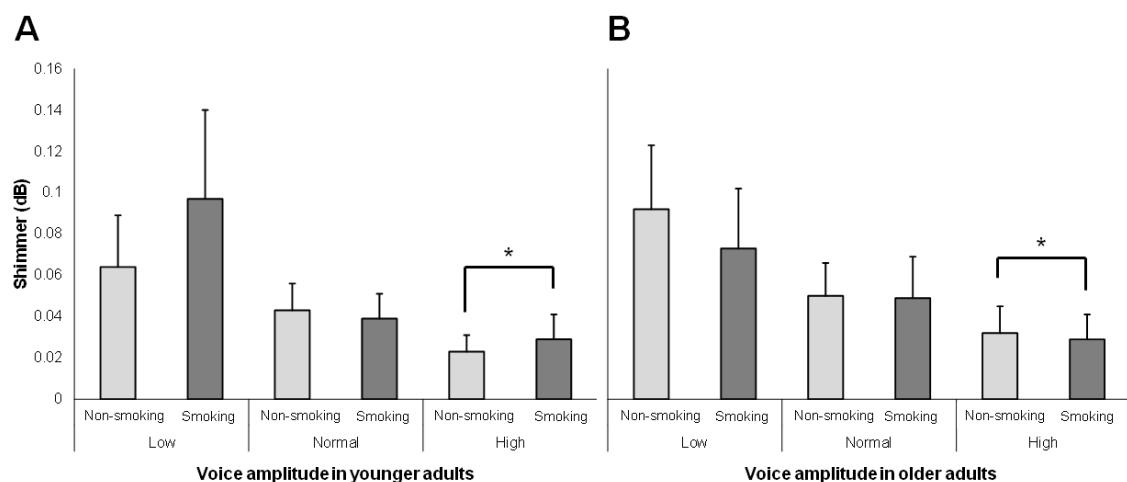


Figure 33. Three-way interaction between smoking status, age and voice amplitude on shimmer of the younger adults (A) and older adults (B) in sustained vowels. Asterisks indicate significance at $p \leq 0.05$ (FDR-corrected). Error bars represent the standard deviation of the mean.

Finally, a four-way interaction was observed between frequency, age, sex and smoking on mean f0 ($F_{(1,97)}=11.72$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.11$). To decompose this four-way interaction, post-hoc 2x2x3 ANOVAs were performed on mean f0 as dependant variable separately for each sex. For these analyses, the age group (2 levels; young: 19-49, older: 50-75 years), smoking status (2 levels; smoking, non-smoking) and voice

frequency (3 levels; low, normal, high) were used as categorical between-subject factors. For men: A two-way interaction was observed between smoking and age ($F_{(1,50)}=4.1$, $p=0.048$, $\eta_p^2=0.07$). There was no difference in mean f0 values between smoking and non-smoking young adults ($t_{(27)}=0.66$, $p=0.52$, $d=0.24$), whereas older smoking adults showed a tendency to have lower mean f0 values than older non-smoking adults ($t_{(38)}=1.73$, $p=0.09$, $d=0.55$) that did not reach statistical significance. A three-way interaction was also observed between smoking, age and voice frequency ($F_{(1,50)}=17.42$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.26$). Results revealed that, for younger adults, mean f0 values were higher in non-smoking compared with smoking adults in high frequency voice ($t_{(25)}=4.14$, $p<0.001$, $d=1.6$) (**Figure 34A**). However, for the older adults, mean f0 values showed an opposite pattern: they were lower in non-smoking compared with smoking adults in high frequency voice again ($t_{(37)}=-2.56$, $p=0.02$, $d=0.82$) (**Figure 34B**). There was no significant difference between mean f0 values of smoking and non-smoking adults in low frequency and normal voice in both young and older men. For women: A main effect of age was identified ($F_{(1,46)}=15.41$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.25$). Older women showed lower mean f0 values than the younger group ($t_{(53)}=2.6$, $p=0.01$, $d=0.70$). There was no interaction between smoking and sex; sex and voice amplitude; between smoking, sex and voice frequency/amplitude; age, sex and voice amplitude; smoking, age and voice frequency; smoking, age, sex and voice amplitude.

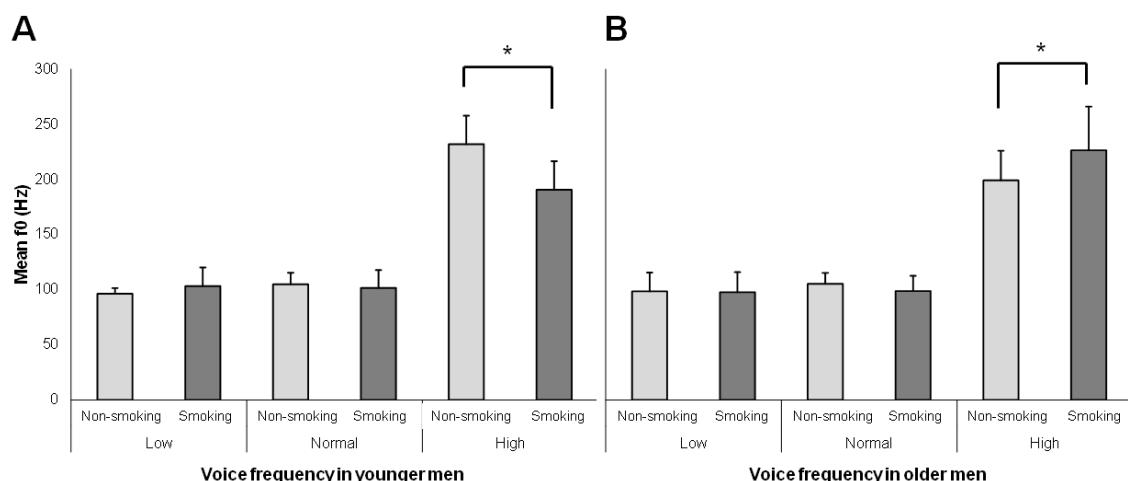


Figure 34. Three-way interaction between smoking status, age and voice frequency on mean f0 in younger adults (A) and older adults (B) in sustained vowels. Asterisks indicate significance at $p \leq 0.05$ (FDR-corrected). Error bars represent the standard deviation of the mean.

3.2. ANOVAS on connected speech vs. normal sustained vowel

Statistically significant main effects of smoking were identified on mean f0 ($F_{(1,109)}=20.894$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.16$) and mean amplitude ($F_{(1,116)}=24.47$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.17$). Mean f0 values were lower in smoking compared with

non-smoking adults (non-smoking: 156.13 ± 47.06 Hz; smoking: 143.66 ± 42.1 Hz), as well as mean amplitude values (non-smoking : 54.4 ± 4.28 dB; smoking : 50.77 ± 3.3 dB) (**Figure 28B**). Two-way interactions were observed between smoking and age on mean f0 ($F_{(1,109)}=6.88$, $p=0.04$, $\eta_p^2=0.06$) and mean amplitude ($F_{(1,116)}=18.53$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.14$). There was no difference in mean amplitude between smoking and non-smoking young adults ($t_{(57)}=0.8$, $p=0.43$, $d=0.21$), whereas older smoking adults had significantly lower mean amplitude values than older non-smoking adults ($t_{(71)}=7.24$, $p<0.001$, $d=1.85$) (**Figure 28C**). Differences on mean f0 between smoking and non-smoking young ($t_{(50)}=0.9$, $p=0.38$, $d=0.25$) and older adults ($t_{(75)}=1.4$, $p=0.17$, $d=0.32$) were not significant.

Two-way interactions were also observed between age and context on mean f0 ($F_{(1,109)}=6.76$, $p=0.03$, $\eta_p^2=0.06$) and f0 SD ($F_{(1,111)}=14.26$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.11$). The difference in mean f0 values between sustained vowel and connected speech had a tendency to be larger for the older adults ($t_{(68)}=-7.16$, $p<0.001$, $d=0.40$) than the young adults ($t_{(47)}=-2.69$, $p=0.01$, $d=0.15$), even if mean f0 was lower in sustained vowel than connected speech for both groups. The f0 SD values were also lower in sustained vowel compared with connected speech for both young adults ($t_{(49)}=-26.23$, $p<0.001$, $d=6.95$) and older adults ($t_{(68)}=-27.14$, $p<0.001$, $d=6.03$). A two-way interaction was observed between sex and context on f0 SD ($F_{(1,111)}=23.71$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.18$). In sustained vowel, men had high f0 SD values than women ($t_{(125)}=2.4$, $p=0.02$, $d=0.42$), whereas men had lower f0 SD values than women in connected speech ($t_{(128)}=-4.85$, $p<0.001$, $d=0.86$). There was no interaction between smoking and sex; smoking, age and sex; smoking and context; age, sex and context; smoking, age and context; smoking, sex and context; smoking, age, sex and context.

3.3. Smoking extent and duration

A main effect of age was identified on the number of cigarettes smoked per day ($F_{(1,55)}=22.1$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.29$), older adults smoking more cigarettes per day than younger adults (young: 11.68 ± 6.32 ; older: 22.21 ± 10.5). A main effect of age was also identified on the number of years of active smoking ($F_{(1,55)}=50.83$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.48$), older adults smoking for a longer time than younger adults (young: 16.93 ± 9.42 ; older: 35.86 ± 10.67). There was no main effect of sex and no interaction between age and sex.

Linear regression analyses revealed a negative relationship between the number of cigarettes smoked per day and amplitude SD in young men ($r^2=0.27$, $\beta=-0.52$, $p=0.048$) (**Figure 35**). Other relationships between the number of cigarettes smoked per day and amplitude SD were not significant (older men: $r^2=0.03$, $\beta=0.17$, $p=0.55$; young women: $r^2=0.1$, $\beta=0.31$, $p=0.3$; older women: $r^2=0.28$, $\beta=0.53$, $p=0.09$).

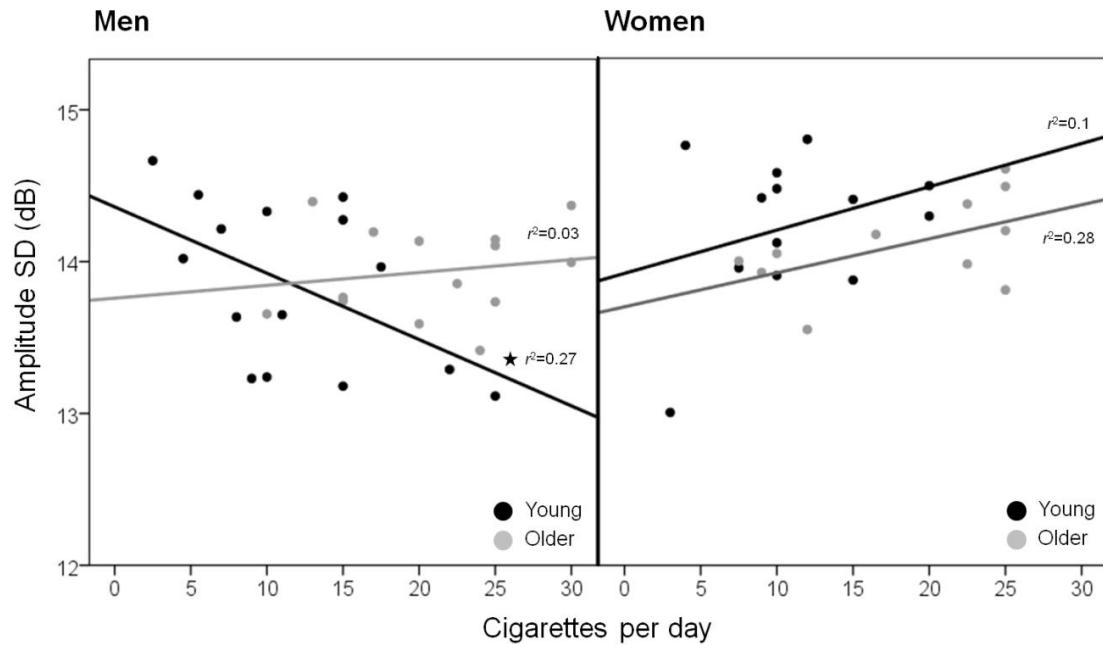


Figure 35. Relationship between the number of cigarettes consumed per day and voice amplitude SD in smoking men and women. Significant relations are identified with a star.

The number of years of active smoking was negatively associated with mean f0 in young men ($r^2=0.25$, $\beta=-0.5$, $p=0.048$) (Figure 36A). Other relationships between the number of years of active smoking and mean f0 were not significant (older men: $r^2=0.05$, $\beta=-0.22$, $p=0.45$; young women: $r^2=0.007$, $\beta=-0.08$, $p=0.81$; older women: $r^2=0.09$, $\beta=-0.3$, $p=0.33$). The number of years of active smoking was positively associated with f0 SD for older men ($r^2=0.27$, $\beta=0.52$, $p=0.04$) (Figure 36B). Other relationships between the number of years of active smoking and f0 SD were not significant (young men: $r^2=0.16$, $\beta=0.4$, $p=0.15$; young women: $r^2=0.1$, $\beta=0.32$, $p=0.27$; older women: $r^2=0.15$, $\beta=0.39$, $p=0.21$). Finally, the number of years of active smoking was positively associated with amplitude SD values in older women ($r^2=0.41$, $\beta=0.64$, $p=0.03$) (Figure 37). Other relationships between the number of years of active smoking and amplitude SD values were not significant (young men: $r^2=0.02$, $\beta=-0.14$, $p=0.63$; older men: $r^2=0.05$, $\beta=0.22$, $p=0.45$; young women: $r^2=0.00$, $\beta=0.02$, $p=0.96$).

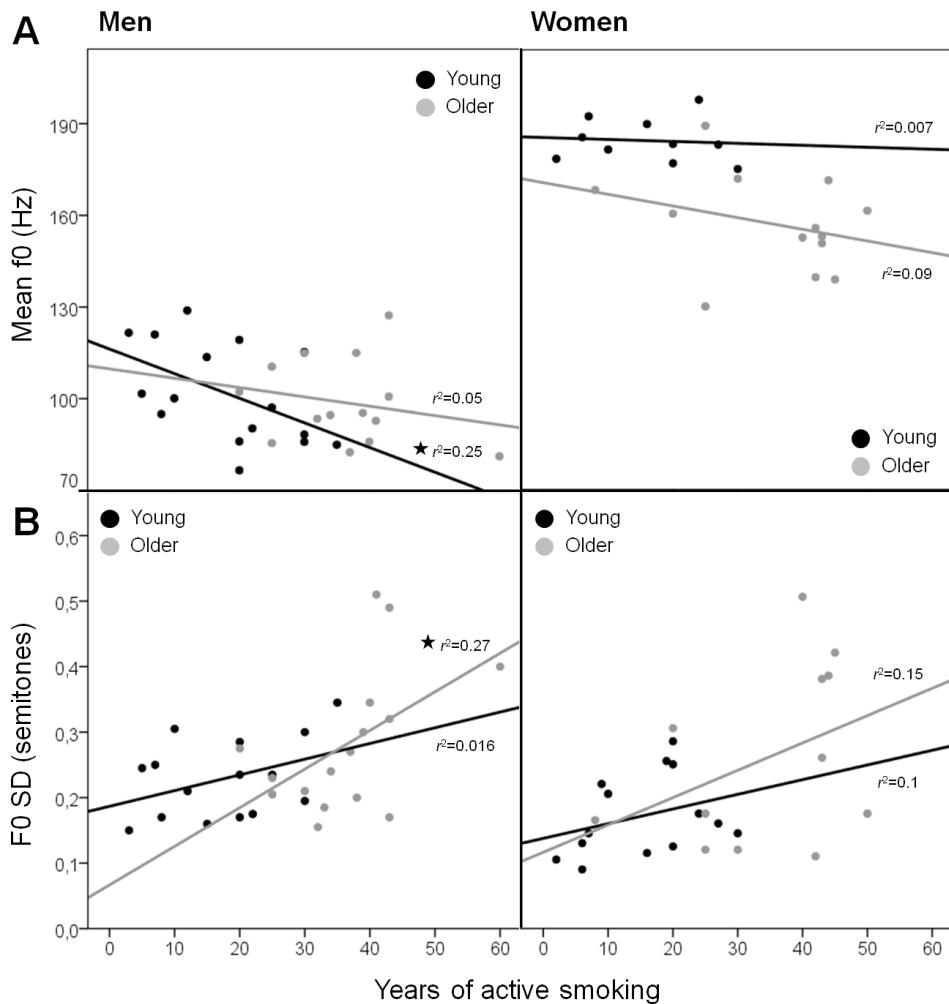


Figure 36. Relationship between years of active smoking and voice mean f0 (A) and between years of active smoking and voice f0 SD (B) in smoking men and women. Significant relations are identified with a star.

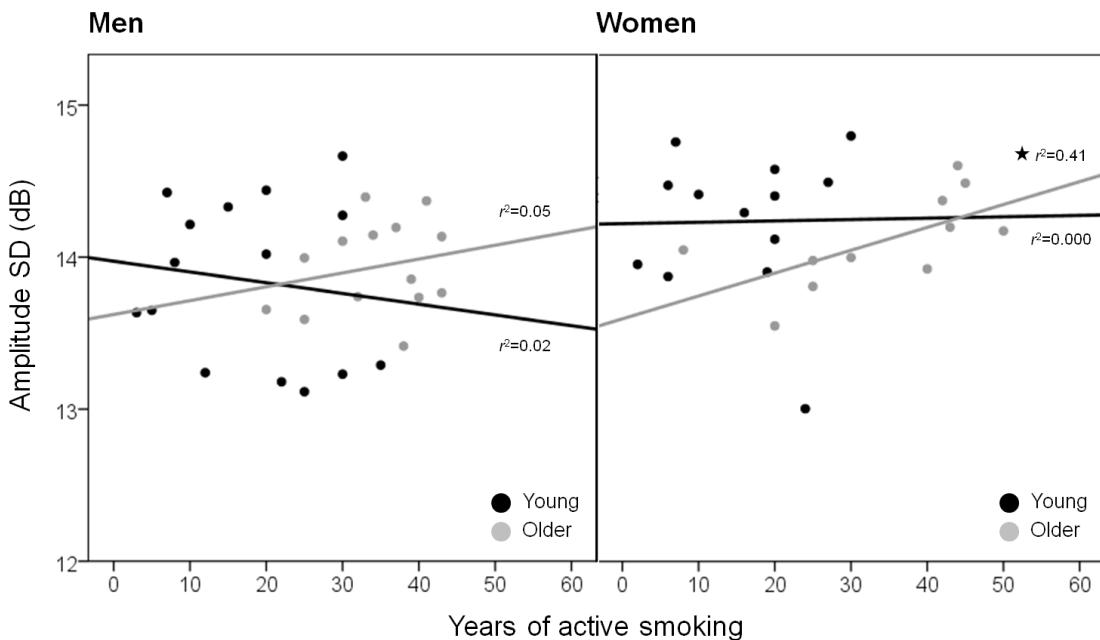


Figure 37. Relationship between years of active smoking and voice amplitude SD in smoking men and women. Significant relations are identified with a star.

4. Discussion

The primary goal of this study was to explore age differences in voice acoustics between smoking and non-smoking adults using a quasi-experimental cross-sectional design. Overall, our results demonstrate both age-dependent and age-independent effects of smoking on voice acoustics. Specifically, our results show a difference in the voice amplitude of smoking and non-smoking adults in all voice tasks, and demonstrate that this difference is age-dependent, but only in connected speech. Smoking-related differences were also found on shimmer, jitter and f0 but not on conversational voice. Interestingly, our results show no sex differences between smoking and non-smoking adults in either sustained vowels or connected speech. Finally, our results reveal significant associations between smoking extent and duration and voice acoustics in young men and older adults in general. These results are detailed in the following paragraphs.

4.1. Smoking, age and voice production

Because it is well known that, with age, the human voice undergoes important changes, we hypothesized that differences in voice acoustics between smoking and non-smoking adults would be dependent of age in all vocal tasks, with a stronger degradation in older smoking adults compared to non-smoking older adults. This pattern of results was found, but only for two parameters: voice amplitude and shimmer.

For voice amplitude, our results show lower amplitude in smoking compared with non-smoking adults, in both sustained vowels and in connected speech. We also show that this difference was particularly salient in older smoking adults. Indeed, voice amplitude during connected speech was lower in older smoking adults compared with older non-smoking adults, a difference not seen in young adults, which may indicate that smoking duration is negatively associated with voice amplitude. Age differences in mean voice amplitude between smoking and non-smoking adults had never been directly assessed before in any context, it is therefore difficult to evaluate our findings against the literature. Since no anatomical or physiological measures of the larynx were taken in the present study, it is not possible to attribute amplitude changes to precise causes. However, it is possible that swelling due to inflammation caused by cigarette smoking may hinder sealing the vocal folds, thereby affecting the ability to raise subglottal pressure, which could be associated with a diminished ability to speak loudly. Of note, older smoking adults obviously smoked for a longer time but also consumed more cigarettes per day than younger smoking adults. Therefore, the effects of smoking on voice may be a dose-dependent effect and would particularly affect the voice amplitude of older and/or heavier smoking adults.

Our results also show that shimmer values in sustained vowel production were higher in older smoking adults compared with younger smoking adults, a difference that was not observed in non-smoking adults. Of note, the age difference in non-smoking adults almost reached significance, in line with a previous study from our group that observed an increase in shimmer values with age (Lortie et al., 2015). In sum, these results suggest that cigarette smoking may induce an increase in shimmer values superior to the effect of age alone. No other age-dependent differences were observed.

In this study, we compared conversational voice in two contexts (steady vowel production in normal voice and connected speech). Our results revealed no interaction between smoking and context on voice acoustics, suggesting that differences between smoking and non-smoking adults are similar in the two contexts. Only three studies investigating smoking and voice production have reported recording both sustained vowel and connected spontaneous speech (Gilbert & Weismer, 1974; Guimaraes & Abberton, 2005; Sorensen & Horii, 1982); however, none of these examined potential context differences in voice acoustics between smoking and non-smoking adults. Further studies are therefore needed to establish if recording context could influence the differences between smoking and non-smoking adults voice acoustics, though the current results suggest that context is not the main contributing factor.

4.2. Amplitude and frequency control

One of the hypothesis that we tested in this work, which was based on Awan' results (2011) and previous work from our group (Lortie et al., 2015), was that voice amplitude and frequency control mechanisms would be less

efficient in smoking compared with non-smoking adults in an age-independent manner. Awan (2011) observed that smoking adults exhibited different maximal amplitudes and frequencies than non-smoking adults. Here, in contrast, there were no significant differences between smoking and non-smoking adults on the ability to increase and decrease the amplitude and frequency of voice in terms of *mean amplitude* and *mean f0* reached in each voice condition. The lack of an age effect is consistent with a previous study from our group, in which we found that amplitude and frequency control mechanisms were preserved in older non-smoking adults (Lortie et al., 2015). This is also consistent with previous reports on voice amplitude control in aging (Bier et al., 2014; Mazzetto de Menezes et al., 2014). Therefore, it is possible that the ability to modulate the amplitude and frequency of the voice is resilient to factors altering voice acoustical properties such as age and cigarette smoking. However, smoking did affect voice *stability* in the low and high amplitude/frequency voices. In particular, smoking adults showed less f0 SD in low amplitude voice and less shimmer in low frequency voice than non-smoking adults. Low amplitude and low frequency voice involve reduced vocal folds and laryngeal muscles tension, which generates a lower collision intensity of the vocal folds (Baken, 1987; Berry et al., 2001; Isshiki, 1964). These results therefore suggest that smoking adults have better voice stability than non-smoking adults when the impact quotient on the vocal folds [i.e., vocal fold impact stress (Verdolini, Chan, Titze, Hess, & Bierhals, 1998)] is low, such as during low amplitude and low frequency voice.

In contrast, high frequency voice demands enhanced vocal folds and laryngeal muscles tension, which causes great impact stress on the vocal folds (Hirano, Ohala, & Vennard, 1969; Linville, 1992). Interestingly, in the high frequency voice condition, the voice of smoking adults was less stable and noisier than that of non-smoking adults, displaying higher shimmer and lower HNR values. Thus, it seems that smoking has a deleterious effect on voice stability when the vocal effort needed is high, such as during high frequency voice. Furthermore, the high amplitude voice showed age interactions, as young smoking adults had higher shimmer values than young non-smoking adults, whereas older smoking adults had lower shimmer values than older non-smoking adults. In summary, smoking-related differences on voice control mechanisms were found in voice stability measures, and were dependent on the level of vocal effort and, to a lesser extent, on the speaker's age. This information could contribute to distinguishing normal from pathological voice changes in older smoking adults in clinical settings. For instance, the incapacity to produce high frequency voice in older smoking adults could be indicative of pathology, given that the present findings suggest that this ability is preserved in a large group of smoking adults.

4.3. *Smoking extent and duration*

Little is known about the relationships between smoking extent, smoking duration and voice acoustics. Only three studies have examined smoking extent and duration, but they did so on the voice of young women

(Awan, 2011), young adults (Gonzalez & Carpi, 2004) or young and middle-aged women (Vincent & Gilbert, 2012). This is therefore the first study, to the best of our knowledge, to examine the association between smoking extent, smoking duration and the voice acoustics of male and female adults over 50 years of age. Our results show, as we hypothesized, that the duration of smoking is associated with an increase in voice instability (measured by f0 and amplitude SD) in addition to a decrease in mean f0 values. Indeed, the number of years of active smoking was associated with lower mean f0 values in young men. Previous investigations have found negative associations between smoking extent and mean f0 in young and middle-aged women (Vincent & Gilbert, 2012), and when comparing young women smoking less than 10 cigarettes per day to young women smoking over 10 cigarettes per day (Gonzalez & Carpi, 2004). The reduction of mean f0 associated with cigarette smoking could be the result of edema of the vocal folds, which could increase the mass and size of the vocal folds and thus cause them to vibrate at a lower frequency (Gilbert & Weismier, 1974; Marcotullio, Magliulo, & Pezone, 2002). Another finding is that longer smoking duration was associated with high f0 SD and amplitude SD values in older adults during the production of sustained vowels. This result is consistent with Vincent and Gilbert's findings (Vincent & Gilbert, 2012), who also observed that longer smoking duration was associated with more instable voice as measured by jitter and shimmer values. Histological changes associated with cigarette smoke, including vocal folds stiffening, swelling and increased mass (Auerbach et al., 1970; Hirabayashi et al., 1990), may negatively affects the regularity of their vibration and lead to lower voice stability in long-term smoking adults. In contrast to smoking duration, smoking extent appear to be a less powerful predictor of voice degradation, as the number of cigarettes consumed per day was only associated with a decrease in voice stability (measured amplitude SD) in young men. This is consistent with a previous study that observed a significant relationship between smoking duration and voice/respiratory control, but not the number of cigarettes consumed per day (Awan & Alphonso, 2007). However, it should be noted that the number of cigarettes smoked per day is dependent upon the accuracy of the participants' estimation, as it is a self-reported measure. Nevertheless, the present findings of a stronger negative relationship between duration of smoking and voice acoustics compared with the relationship between smoking extent and voice acoustics is a step toward better understanding the parameters that most affect voice acoustics. Knowing how smoking extent and duration affect voice acoustical properties will contribute to identifying the limits of normality in aging populations with a range of smoking habits and thus could inform clinical practice.

4.4. Conclusion

In this study we examined age differences in voice acoustics between smoking and non-smoking healthy adults using a comprehensive set of voice measures and two different experimental contexts. Overall, our results demonstrate smoking differences in a number of acoustic measures (mean amplitude, mean f0,

shimmer, HNR). Our results show that the smoking-related differences in mean amplitude and shimmer are age-dependant, while smoking-related differences in other parameters (mean f0, HNR) are age-independent. Smoking-related differences in acoustic measures (f0 SD, shimmer, HNR) were also observed in voice production conditions involving enhanced vocal effort. Conversational voice was therefore better preserved in smoking adults compared with voice conditions requiring more vocal effort. Given the inherent limitations of cross-sectional studies, these findings need to be replicated ideally using a longitudinal study design, and with older adults (80+). Nevertheless, the present results provide a first step towards identifying the isolated and combined influence of age and cigarette smoking on voice acoustics, which is useful to guide clinical practice. Since voice integrity is inextricably related to quality of life, in particular to the desire to interact socially, understanding the factors that modulate the characteristics of voice is crucial.

5. Acknowledgments

This study was supported by grants to P.T. from the “Fonds de la Recherche du Québec Société-Culture” (FRQ-SC) and the “Fonds de la Recherche du Québec en Santé” (FRQS). C.L.L was funded through a graduate scholarship from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC). P.T. and M.J.G. hold Career Awards from the “Fonds de Recherche du Québec – Santé” (FRQS). The authors thank all the participants.

6. Conflict of interest statement

All authors report no conflict of interest and no constraints on publishing.

7. References

- Auerbach, O., Hammond, E. C., & Garfinkel, L. (1970). Histologic changes in the larynx in relation to smoking habits. *Cancer*, 25(1), 92–104. <http://doi.org/10.1002/1097-0142>
- Awan, S. N. (2011). The effect of smoking on the dysphonia severity index in females. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 63(2), 65–71. <http://doi.org/10.1159/000316142>
- Awan, S. N., & Alphonso, V. A. (2007). Effects of smoking on respiratory capacity and control. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 21(8), 623–636. <http://doi.org/10.1080/02699200701427401>
- Baken, R. J. (1987). *Clinical measurement of speech and voice*. *Journal Of Speech And Hearing Research* (Second). San Diego : Singular Thomson Learning.
- Banse, R., & Scherer, K. R. (1996). Acoustic profiles in vocal emotion expression. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70(3), 614–636. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.70.3.614>
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 57(1), 289–300. <http://doi.org/10.2307/2346101>
- Berry, D., Verdolini, K., Montequin, D. W., Hess, M. M., Chan, R. W., & Titze, I. R. (2001). A quantitative output-cost ratio in voice production. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 44(1), 29–37. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/003\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/003))

- Bier, S. D., Watson, C. I., & McCann, C. M. (2014). Using the perturbation of the contact quotient of the EGG waveform to analyze age differences in adult speech. *Journal of Voice*, 28(3), 267–273. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.10.021>
- Boersma, P., & Weenink, D. (2013). Praat: doing phonetics by computer. Amsterdam, The Netherlands.
- Brockmann, M., Drinnan, M. J., Storck, C., & Carding, P. N. (2011). Reliable jitter and shimmer measurements in voice clinics: the relevance of vowel, gender, vocal intensity, and fundamental frequency effects in a typical clinical task. *Journal of Voice*, 25(1), 44–53. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.07.002>
- Chai, L., Sprecher, A. J., Zhang, Y., Liang, Y., Chen, H., & Jiang, J. J. (2011). Perturbation and nonlinear dynamic analysis of adult male smokers. *Journal of Voice*, 25(3), 342–347. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.01.006>
- Cutler, A., Dahan, D., & van Donselaar, W. (1997). Prosody in the Comprehension of Spoken Language: A Literature Review. *Language and Speech*, 40(2), 141–201. <http://doi.org/10.1177/002383099704000203>
- D'haeseleer, E., Depypere, H., Claeys, S., Baudonck, N., & Van Lierde, K. (2011). The impact of menopause on vocal quality. *Menopause*, 18(3), 267–272. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.11.011>
- D'haeseleer, E., Depypere, H., Claeys, S., Van Borsel, J., & Van Lierde, K. (2009). The menopause and the female larynx, clinical aspects and therapeutic options: a literature review. *Maturitas*, 64(1), 27–32. <http://doi.org/10.1016/j.maturitas.2009.06.009>
- Dehqan, A., Scherer, R. C., Dashti, G., Ansari-Moghaddam, A., & Fanaie, S. (2012). The effects of aging on acoustic parameters of voice. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 64(6), 265–270. <http://doi.org/10.1159/000343998>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198. [http://doi.org/0022-3956\(75\)90026-6 \[pii\]](http://doi.org/0022-3956(75)90026-6 [pii])
- Gilbert, H. R., & Weismer, G. G. (1974). The effects of smoking on the speaking fundamental frequency of adult women. *Journal of Psycholinguistic Research*, 3(3), 225–231. <http://doi.org/10.1007/BF01069239>
- Gonzalez, J., & Carpi, A. (2004). Early effects of smoking on the voice: a multidimensional study. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 10(12), 649–656.
- Goy, H., Fernandes, D. N., Pichora-Fuller, M. K., & van Lieshout, P. (2013). Normative voice data for younger and older adults. *Journal of Voice*, 27(5), 545–555. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.03.002>
- Guimaraes, I., & Abberton, E. (2005). Health and voice quality in smokers: an exploratory investigation. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 30(3-4), 185–191. <http://doi.org/10.1080/14015430500294114>
- Hirabayashi, H., Koshii, K., Uno, K., Ohgaki, H., Nakasone, Y., Fujisawa, T., Hirabayashi, K. (1990). Laryngeal epithelial changes on effects of smoking and drinking. *Auris Nasus Larynx*, 17(2), 105–114. [http://doi.org/10.1016/S0385-8146\(12\)80192-1](http://doi.org/10.1016/S0385-8146(12)80192-1)
- Hirano, M., Ohala, J., & Vennard, W. (1969). The function of laryngeal muscles in regulating fundamental frequency and intensity of phonation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 12, 616–628.
- Honjo, I., & Isshiki, N. (1980). Laryngoscopic and voice characteristics of aged persons. *Archives of Otolaryngology*, 106(3), 149–150. <http://doi.org/10.1001/archotol.1980.00790270013003>
- Hudon, C., Potvin, O., Turcotte, M.-C., D'Anjou, C., Dube, M., Preville, M., & Brassard, J. (2009). Normalisation du Mini-Mental State Examination (MMSE) chez les Québécois francophones âgés de 65 ans et plus résidant dans la communauté. *Canadian Journal on Aging / La Revue Canadienne Du Vieillissement*, 28(04), 347. <http://doi.org/10.1017/S0714980809990171>
- Isshiki, N. (1964). Regulatory mechanism of voice intensity variation. *Journal of Speech & Hearing Research*, 7(1), 17.
- Linville, S. E. (1992). Glottal gap configurations in two age groups of women. *Journal of Speech and Hearing Research*, 35(6), 1209–1215.
- Lortie, C. L., Rivard, J., Thibeault, M., & Tremblay, P. (2016). The Moderating Effect of Frequent Singing on Voice Aging. *Journal of Voice*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.02.015>
- Lortie, C. L., Thibeault, M., Guittion, M. J., & Tremblay, P. (2015). Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice. *Age*, 37(6), 1–24. <http://doi.org/10.1007/s11357-015-9854-1>

- Ma, E. P. M., & Love, A. L. (2010). Electroglossographic Evaluation of Age and Gender Effects During Sustained Phonation and Connected Speech. *Journal of Voice*, 24(2), 146–152. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.08.004>
- Marcotullio, D., Maglilio, G., & Pezone, T. (2002). Reinke's edema and risk factors: clinical and histopathologic aspects. *American Journal of Otolaryngology*, 23(2), 81–84. <http://doi.org/10.1053/ajot.2002.30961>
- de Menezes, M., Keyla, S., Master, S., Guzman, M., Bortnem, C., & Ramos, L. R. (2014). Differences in acoustic and perceptual parameters of the voice between elderly and young women at habitual and high intensity. *Acta Otorrinolaringologica Espanola*, 65(2), 76–84. <http://doi.org/10.1016/j.otoeng.2013.11.012>
- Pinar, D., Cincik, H., Erkul, E., & Gungor, A. (2015). Investigating the Effects of Smoking on Young Adult Male Voice by Using Multidimensional Methods. *Journal of Voice*, 1–5. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.07.007>
- Pinto, A. G. L., Crespo, A. N., & Mourao, L. F. (2014). Influence of smoking isolated and associated to multifactorial aspects in vocal acoustic parameters. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 80(1), 60–67. <http://doi.org/10.5935/1808-8694.20140013>
- Scherer, K. R. (1989). Vocal correlates of emotion. In A. Manstead & H. Wagner (Eds.), *Handbook of psychophysiology: Emotion and social behavior* (pp. 165–197). London : Wiley.
- Schneider, B., van Trotsenburg, M., Hanke, G., Bigenzahn, W., & Huber, J. (2004). Voice impairment and menopause. *Menopause*, 11(2), 151–158. <http://doi.org/10.1097/01.GME.0000094192.24934.46>
- Society of Obstetricians and Gynaecologists of Canada. (2002). The Canadian Consensus Conference on Menopause and Osteoporosis 2002 Update. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*, 24(10), 1–91.
- Sorensen, D., & Horii, Y. (1982). Cigarette smoking and voice fundamental frequency. *Journal of Communication Disorders*, 15(2), 135–144. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(82\)90027-2](http://doi.org/10.1016/0021-9924(82)90027-2)
- Torre, P., & Barlow, J. A. (2009). Age-related changes in acoustic characteristics of adult speech. *Journal of Communication Disorders*, 42(5), 324–333. <http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2009.03.001>
- Verdolini, K., Chan, R., Titze, I. R., Hess, M., & Bierhals, W. (1998). Correspondence of electroglossographic closed quotient to vocal fold impact stress in excised canine larynges. *Journal of Voice*, 12(4), 415–423.
- Verdonck-de Leeuw, I. M., & Mahieu, H. F. (2004). Vocal aging and the impact on daily life: a longitudinal study. *Journal of Voice*, 18(2), 193–202. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2003.10.002>
- Vincent, I., & Gilbert, H. R. (2012). The effects of cigarette smoking on the female voice. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 37(1), 22–32. <http://doi.org/10.3109/14015439.2011.638673>
- Wilcox, K. A., & Horii, Y. (1980). Age and changes in vocal jitter. *Journal of Gerontology*, 35(2), 194–198. <http://doi.org/doi : 10.1093/geronj/35.2.194>
- Wuyts, F. L., De Bodt, M. S., Molenberghs, G., Remacle, M., Heylen, L., Millet, B., ... Van de Heyning, P. H. (2000). The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *Journal of Speech, Language, & Hearing Research*, 43(3), 796–809. <http://doi.org/10.1044/jslhr.4303.796>

8. Supplementary material

Here, we report all the results of the FDR corrected mixed model 3x2x2x2 and 2x2x2x2 ANOVAs that were not included in the main article.

3.1. ANOVAs on the five sustained vowels

A two-way interaction was observed between sex and age on mean f0 ($F_{(1,97)}=13.09$, $p=0.001$, $\eta_p^2=0.12$). There was no difference in mean f0 values between young and older men ($t_{(67)}=0.02$, $p=0.98$, $d=0.005$), whereas mean f0 values were significantly lower in older women compared with young women ($t_{(53)}=2.6$, $p=0.01$, $d=0.7$).

Two-way interactions were observed between frequency and sex on mean f0 ($F_{(1,97)}=161.35$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.62$) and amplitude SD ($F_{(1,96)}=5.59$, $p=0.02$, $\eta_p^2=0.05$). Results revealed that mean f0 significantly differed across the experimental conditions, with mean f0 in the low frequency condition being the lowest, followed by normal and high frequency voice, for both men and women. However, the difference in mean f0 between frequency conditions tended to be larger for women (low vs. normal: $t_{(51)}=-7.82$, $p<0.001$, $d=1.08$; normal vs. high: $t_{(53)}=-26.51$, $p<0.001$, $d=4.96$; low vs. high: $t_{(53)}=-11.72$, $p<0.001$, $d=4.99$) than for men (low vs. normal: $t_{(63)}=-2.71$, $p=0.009$, $d=0.33$; normal vs. high: $t_{(57)}=-22.74$, $p<0.001$, $d=4.64$; low vs. high: $t_{(58)}=-22.56$, $p<0.001$, $d=4.34$). Also, results showed that, for men, the amplitude SD values are lower in low ($t_{(66)}=-12.86$, $p<0.001$, $d=2.42$) and high frequency conditions ($t_{(59)}=6.94$, $p<0.001$, $d=1.33$) compared with normal frequency. However, for women, the amplitude SD values in the normal and high frequency conditions are not different ($t_{(49)}=1.59$, $p=0.12$, $d=0.36$).

A two-way interaction was observed between frequency and age on HNR ($F_{(1,105)}=12.29$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.1$). Results showed that young adults had higher HNR values than older adults in the low frequency ($t_{(122)}=4.72$, $p<0.001$, $d=0.85$) and normal voice condition ($t_{(130)}=3.84$, $p<0.001$, $d=0.67$). However, HNR values were not different between the age groups in high frequency voice ($t_{(130)}=1.46$, $p=0.15$, $d=0.25$).

Two-way interactions were observed between amplitude and age on mean f0 ($F_{(1,99)}=5.94$, $p=0.009$, $\eta_p^2=0.06$) and f0 SD ($F_{(1,96)}=5.67$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.06$). Results revealed that mean f0 values between young and older adults were not significantly different in the normal voice ($t_{(122)}=1.22$, $p=0.22$, $d=0.23$) and high amplitude conditions ($t_{(124)}=0.65$, $p=0.52$, $d=0.12$). However, the older adults had lower mean f0 values than the young adults in low amplitude voice ($t_{(130)}=2.02$, $p=0.045$, $d=0.36$). Results also revealed that f0 SD significantly differed across the experimental conditions, with f0 SD in the low amplitude condition being the highest, followed by normal and high amplitude voice, for both young and older adults. However, the difference in f0 SD

between amplitude conditions tended to be larger for older (low vs. normal: $t_{(66)}=6.01$, $p<0.001$, $d=0.93$; normal vs. high: $t_{(64)}=2.23$, $p=0.03$, $d=0.36$; low vs. high: $t_{(64)}=7.95$, $p<0.001$, $d=1.22$) than for young adults (low vs. normal: $t_{(47)}=3.61$, $p=0.001$, $d=0.71$; normal vs. high: $t_{(49)}=2.2$, $p=0.03$, $d=0.29$; low vs. high: $t_{(46)}=4.94$, $p<0.001$, $d=0.93$).

A three-way interaction was observed between frequency, age and sex on HNR ($F_{(1,105)}=11.41$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.1$). Results revealed that, for young and old men, HNR values are higher in high frequency voice compared with normal (young men: $t_{(27)}=-6.43$, $p<0.001$, $d=0.88$; older men: $t_{(43)}=-8.23$, $p<0.001$, $d=1.73$) and low frequency voice (young men: $t_{(27)}=-4.9$, $p<0.001$, $d=1.31$; older men: $t_{(43)}=-6.48$, $p<0.001$, $d=1.36$), but that HNR values between normal and low frequency voice conditions do not differ (young men: $t_{(26)}=-0.3$, $p=0.76$, $d=0.07$; older men: $t_{(45)}=-0.05$, $p=0.97$, $d=0.01$). However, for young women, HNR values are higher in low frequency ($t_{(21)}=3.02$, $p=0.007$, $d=0.8$) and high frequency voice ($t_{(24)}=-6.49$, $p<0.001$, $d=1.93$) compared with normal voice, and it is the low and high frequency voices that do not differ ($t_{(19)}=-1.68$, $p=0.11$, $d=0.47$). Finally, for older women, the HNR values in all three frequency conditions are significantly different, from lowest in low frequency voice followed by normal voice and high frequency voice (low vs. normal: $t_{(23)}=-2.62$, $p=0.02$, $d=0.69$; normal vs. high: $t_{(29)}=-5.8$, $p<0.001$, $d=1.25$; low vs. high: $t_{(25)}=-6.31$, $p<0.001$, $d=1.49$).

3.2. ANOVAS on connected speech vs. normal sustained vowel

Main effects of age were identified on two acoustic measures, namely f0 SD ($F_{(1,111)}=21.58$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.16$) and HNR ($F_{(1,120)}=16.48$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.12$). The older group showed higher f0 SD values (young: 2.94 ± 0.75 st; older: 3.56 ± 1.05 st) and lower HNR values (young: 13.45 ± 2.52 dB; older: 12.03 ± 3.07 dB) than the younger group. Significant main effects of sex were observed on mean f0 ($F_{(1,109)}=842.05$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.89$), f0 SD ($F_{(1,111)}=19.15$, $p<0.001$, $\eta_p^2=0.15$) and HNR ($F_{(1,120)}=13.0$, $p=0.002$, $\eta_p^2=0.1$), which confirmed that women had significantly higher mean f0 values than men (men: 114.67 ± 18.41 Hz; women: 194.85 ± 24.05 Hz). Women also had higher f0 SD values (men: 2.97 ± 0.91 st; women: 3.75 ± 0.91 st) and HNR values (men: 11.83 ± 2.02 dB; women: 13.71 ± 3.52 dB) than men.

A two-way interaction was also observed between age and sex on mean f0 ($F_{(1,109)}=5.81$, $p=0.045$, $\eta_p^2=0.05$). There was no difference in mean f0 between young and older women ($t_{(56)}=0.47$, $p=0.64$, $d=0.13$), whereas older men had significantly higher mean f0 values than young men in connected speech ($t_{(69)}=-2.09$, $p=0.04$, $d=0.5$).

8 Étude 4 : *Age differences in voice evaluation: from auditory-perceptual evaluation to social interactions*

Auteurs : Catherine L. Lortie^{1,2,3}, Isabelle Deschamps^{1,3}, Matthieu J. Guitton^{2,3}, Pascale Tremblay^{1,3}

Affiliations : ¹Département de réadaptation, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada.

²Département d’Otorhinolaryngologie et d’Ophtalmologie, Faculté de Médecine; Université Laval; Québec, Québec, Canada. ³Centre de Recherche de l’Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec (CRIUSMQ); Québec, Québec Canada.

Référence complète : Lortie, C. L., Deschamps, I., Guitton, M. J., & Tremblay, P. Age differences in voice evaluation: from auditory-perceptual evaluation to social interactions. Corrections submitted to *Journal of Speech, Language and Hearing Research* on December 1st, 2016.

Résumé : *Objectif* : Les facteurs qui influencent l’évaluation de la voix, ainsi que les conséquences de tels changements sur les interactions sociales, sont peu compris. Dans cette étude, nous avons examiné les effets de l’âge de l’évaluateur et de l’âge, du sexe et du statut tabagique du locuteur sur l’évaluation auditive-perceptuelle et psychosociale de la voix. Nous avons également examiné les facteurs pouvant influencer la propension à amorcer une interaction sociale. *Méthode* : Vingt-cinq jeunes adultes (19-37 ans) et 25 adultes plus âgés (51-74 ans) ont participé à cette étude transversale de groupe lors de laquelle ils ont évalué 80 locuteurs. *Résultats* : Les analyses statistiques ont révélé quelques différences dans l’évaluation de la voix selon l’âge de l’évaluateur, les évaluateurs âgés donnant des évaluations relativement plus favorables que les jeunes évaluateurs. De plus, l’évaluation de la voix était fortement influencée par l’âge du locuteur. Ces différences étaient dépendantes du sexe et du statut tabagique du locuteur. Finalement, les analyses de corrélations ont démontré que les facteurs psychosociaux étaient plus fortement associés à la propension à entrer en relation avec une personne que les facteurs auditifs-perceptuels. *Discussion* : En somme, ces résultats suggèrent que l’âge est une composante centrale de l’évaluation de la voix. La qualité psychosociale perçue d’une voix pourrait être déterminante aux interactions sociales, alors que la qualité acoustique perçue et le débit semblent être moins pertinents.

Abstract: Purpose: The factors that influence the evaluation of voice in adulthood, as well as the consequences of such evaluation on social interactions, are not well understood. Here, we examined the effect of listeners' age and talkers' age, sex and smoking status on the auditory-perceptual and psychosocial evaluation of voice. We also examined the factors affecting the propensity to engage in social interactions. Method: 25 young (19-37 years) and 25 older (51-74 years) healthy adults participated in this cross-sectional group study consisting in evaluating 80 talkers. Results: Statistical analyses revealed a few differences in voice evaluation depending on the listeners' age. Older listeners provided relatively more favorable voice ratings than younger listeners. In addition, voice evaluation was strongly influenced by the talkers' age. These effects were dependent upon talkers' sex and smoking status. Finally, correlation analyses demonstrated that psychosocial factors were more strongly associated with the propensity to engage in social interactions with a person than auditory-perceptual factors. Conclusions: Taken together, these results suggest that age is a central component of voice evaluation. The perceived psychosocial quality of a voice may be an important determinant of social interactions, whereas perceived acoustic quality and speech rate appear to be less relevant.

1. Introduction

Voice is the foundation of human verbal communication, carrying prosodic information as well as information about the talker including their age and sex (Ptacek & Sander, 1966; Shipp & Hollien, 1969a), and it is an important component of social interactions. Studies have demonstrated that listeners excel at identifying age (Harnsberger et al., 2010, 2008; Huntley, Hollien, & Shipp, 1987; Ryan & Burk, 1974; Shipp & Hollien, 1969b) and sex (Amir et al., 2012; Schwartz & Chatterjee, 2012) based on voice characteristics, when no other information is available. In addition to providing information about age and sex, the human voice provides information about a person's emotional state (Scherer, 1995) and psychosocial traits, such as friendliness and trustworthiness (McAleer et al., 2014; Ryan & Johnston, 1987; Zuckerman & Driver, 1989). Interestingly, listeners show high consistency in their ratings of perceived psychosocial traits in short utterances containing limited information (Aronovitch, 1976; McAleer et al., 2014).

The attribution of psychosocial characteristics based on a rapid evaluation of voice may be important in selecting approach/avoidance behaviors and could thus be a critical component of interpersonal relationships (Lallh & Rochet, 2000; McAleer et al., 2014; Mulac & Giles, 1996; Plank et al., 2011). Indeed, it is widely known that humans make use of rapid judgments to guide their social interactions (Ambady, Bernieri, & Richeson, 2000; Richeson & Ambady, 2001). Social encounters, occupational possibilities and overall quality of life can all be affected by the way an individual is perceived by others (Ambady et al., 2006; Pittinsky, Shih, & Ambady, 2000; Zuckerman & Driver, 1989). The voice of a person is a contributing factor to these social evaluations, as listeners form judgments about a variety of talker's characteristics upon hearing their voice (Banse & Scherer, 1996; Klofstad, Anderson, & Peters, 2012; Mulac & Giles, 1996). These perceptions may, in turn, influence interactions with a conversational partner, especially if negative stereotypes based on the perceived age of a talker are triggered (Ryan et al., 1986; Ryan & Laurie, 1990). For instance, a person interacting with a talker who is being perceived negatively (e.g. as less competent) may act differently (e.g., use exaggerated intonation and more repetition (Kemper, Ferrell, Harden, Billington, & Finter-Urczyk, 1998)) and even refrain from pursuing social interactions with that person (Amir & Levine-Yundof, 2013; Lallh & Rochet, 2000). In other words, talkers whose voice is negatively evaluated on either psychosocial dimensions related to sociability (e.g. likability, extraversion) or auditory-perceptual dimensions related to perceived voice quality (e.g. breathiness, roughness), or both, may also be negatively evaluated on other domains including the desire to interact with them, as is the case with faces (Zebrowitz & Montepare, 2008).

A number of talker and listener factors appear to influence voice psychosocial evaluation. For instance, it has been shown that older-sounding talkers are perceived more negatively than younger-sounding talkers (Benjamin, 1986; Mulac & Giles, 1996; Ryan & Capadano, 1978). A study has also observed more negative

attitudes toward female than male voices in dysphonic adults (Amir & Levine-Yundof, 2013). Female voices were also attributed more undesirable psychosocial traits associated with gender stereotypes (i.e., more submissive and dependant) than male voices in another study (Mulac & Giles, 1996). In addition to age and sex, cigarette smoking could also influence voice evaluation. Indeed, smoking, like aging, is associated with wide-ranging voice acoustic changes (Gonzalez & Carpi, 2004; Guimarães & Abberton, 2005; Lortie, Thibeault, Guitton, & Tremblay, Revisions submitted; Pinto, Crespo, & Mourão, 2014). It has been shown that these changes can be detected by listeners (Vincent & Gilbert, 2012). Yet, the influence of talkers' smoking status on voice auditory-perceptual and psychosocial evaluation has not been examined. Understanding the factors that affect voice evaluation could facilitate voice clinical interventions with older populations by revealing the most functionally relevant targets for voice intervention, that is, those parameters that have the most negative effect on social evaluation.

Differences in voice evaluation may also reflect listener's biases rather than acoustic differences between talkers. Specifically, the age of the listener could play a role in the evaluation of voices (Linville, 1987) as well as their concept of "oldness" (Eppley & Mueller, 2001). However, previous studies on voice evaluation have mainly used college undergraduates as talkers (Markel et al., 1972), listeners (Mulac & Giles, 1996; Ryan & Capadano, 1978) or both (Aronovitch, 1976; McAleer et al., 2014; Zuckerman & Driver, 1989), thus limiting the ability to draw conclusions about the impact of listeners' characteristics, such as age, on voice evaluation. Yet, a few studies have shown that young adults were better at estimating age than older adults (Huntley et al., 1987; Linville, 1987). Moreover, it has been shown that older adults provide significantly more favorable voice ratings of male and female talkers than younger and middle-aged adults, which could be attributed to a greater acceptance toward various voices (Hollien et al., 1991). However, the literature is not clear about whether the influence of listeners' age on voice ratings is stable across talkers' types and perceptual attributes. In fact, in a recent study, the listeners' age did not affect their attitude toward dysphonic talkers (Amir & Levine-Yundof, 2013). Moreover, other studies have found that young listeners were more positive towards older compared to younger voices on competence judgments when communication effectiveness was manipulated (Ryan & Johnston, 1987) and that they provided more positive evaluation of activity and intelligence factors for elderly voices compared to older listeners (Benjamin, 1986). Because various measures of auditory-perceptual (e.g. loudness, roughness, tremor, etc.) and psychosocial traits (e.g. pleasantness, naturalness, flexibility, enthusiasm, honesty, etc.) have been used in voice evaluation studies (Benjamin, 1986; Goy, Pichora-Fuller, & van Lieshout, 2016; Ryan & Capadano, 1978), it remains unclear if some measures are better at highlighting listeners' differences, distinguishing between groups of talkers, and whether these auditory-perceptual and psychosocial factors are related to each other. Hence, while it is possible that young and older adults differ in the manner in which they perceive and evaluate voices, the influence of listener's age on voice evaluation needs further examination. Indeed, very few studies have investigated the interactive effect of talkers' and

listeners' age on voice evaluation (Goy et al., 2016), which might lead to a better understanding of the factors that affect communication and social interactions in older ages. In sum, many questions remain about the impact of talker and listener factors on voice auditory-perceptual and psychosocial evaluation, and about the relationship between voice evaluation and social interactions.

The overall objective of this study was to further current understanding of talker and listener factors that affect the auditory-perceptual and psychosocial evaluation of voices. The first specific objective was to examine the role of listeners' age on voice auditory-perceptual and psychosocial evaluation. The second specific objective was to examine the role of three talker factors, i.e., age, sex and smoking status, on voice auditory-perceptual and psychosocial evaluation. The third specific objective was to identify the factors associated with the propensity to interact with a person, including auditory-perceptual evaluation, perceived speech rate and perceived psychosocial traits, and to determine whether the impact of these factors differs as a function of the age of the listeners. The first hypothesis was that voice evaluation would differ between young and older listeners, and that older listeners would have a more positive evaluation of older talkers than younger listeners. Our second hypothesis was that older and smoking talkers would receive more negative evaluations than younger and non-smoking adults. Our third hypothesis was that the propensity to interact with a person would be positively associated with perceived psychosocial traits and auditory-perceptual evaluations for both listener groups.

2. Methods

2.1 Listeners

Fifty-one healthy non-smoking native speakers of Canadian French with no self-reported history of speech, voice, language, hearing, neurological or neurodegenerative disorder, and no self-reported history of drug or alcohol abuse were recruited from the general community in Quebec City (QC, Canada) through advertisements placed in local newspapers, flyers distributed to the general public at various local events (public conferences, open house events, etc.) as well as posters in strategic locations within the communities (e.g. drugstores, bingo halls). Recruitment emails were also sent to the Université Laval and the research center using mailing lists targeting students, professors and staff. To ensure that listeners understood the instructions, cognitive functioning was evaluated using the Montreal Cognitive Assessment scale (MoCA) (Nasreddine et al., 2005). One listener was excluded because he did not meet the pass level. The remaining 50 listeners were divided into two groups: 25 young adults (mean \pm standard deviation [SD] 26.96 ± 4.38 years old, range 19–37 years; 16.4 ± 1.91 years of education, range 12–20 years) and 25 older adults (62.48 ± 7.52 years old, range 51–74 years; 15 ± 3.44 years of education, range 11–23 years). Listeners' characteristics are reported in **Table 15**. The procedures were approved by the Institutional Ethical Committee of the "Institut

Universitaire en Santé Mentale de Québec (IUSMQ)" (protocol #353-2014). Informed written consent was obtained from all listeners, and they were compensated for their participation (20\$ CAN).

Our sample size ($N = 50$ listeners) was derived from a power analysis, which was based on the results from two previous studies that observed smoking effects (Vincent & Gilbert, 2012) and age effects (Lortie et al., 2015) on voice acoustics. In these studies, the effect sizes (Cohen d) for the differences between the voice of smoking and non-smoking adults were high (for jitter: 1.27, for shimmer: 1.43); and so was the effect sizes for the differences between young and older non-smoking adults (jitter: 0.86, shimmer: 1.13). Thus, assuming an alpha level (α) of 0.05 and a statistical power ($1-\beta$) of 0.80, the sample size needed was 11 participants per group to be able to detect listeners' differences (Cohen d) of a minimal magnitude of 0.86 (the smallest reported effect size of interest). The current sample of 50 adults, divided into two groups of 25 participants, was thus more than adequate to test hypotheses about listeners' age on voice evaluation. The sample size was also adequate to detect differences across categories of talkers, given that all listeners evaluated all the voices. To examine differences between listener' age groups on age judgments and voice evaluations, previous studies have recruited either listeners of continuous (Amir & Levine-Yundof, 2013; Huntley et al., 1987) or discontinuous age (Eppley & Mueller, 2001; Goy et al., 2016), with noticeably more convincing results obtained with the latter. A discontinuous age-split method of the listener group was thus favored here.

	Age		Education (in years)		HAD		MoCA		Right PTA		Left PTA	
	Mean (SD)	Range	Mean (SD)	Range	Mean (SD)	Range	Mean (SD)	Range	Mean (SD)	Range	Mean (SD)	Range
Young	26.96 (4.38)	19-37	16.4 (1.91)	12-20	6.04 (4.12)	1-20	28.68 (1.24)	26-30	3.73 (3.43)	-2-12	2.82 (4.14)	-5.33-15
Older	62.48 (7.52)	51-74	15 (3.44)	11-23	5.12 (2.96)	0-11	27.48 (2.1)	23-30	14.86 (9.1)	2.33-36.67	12.96 (7.99)	0.33-39.33
Total	44.72 (18.94)	19-74	15.7 (2.84)	11-23	5.58 (3.58)	0-20	28.08 (1.81)	23-30	9.3 (8.83)	-2-36.67	7.89 (8.11)	-5.33-39.33

Table 15. Participants' characteristics, for each age group and overall. HAD = Hospital Anxiety and Depression Scale. MoCA = Montreal Cognitive Assessment scale. PTA = Pure-Tone Average. HAD scale ranges from 0 to 42. For this test, a cut-off score of 20 optimizes of detection of major depressive episode. The MoCA score ranges from 0 to 30 and a cut-off score between 20 to 23 optimizes sensitivity and specificity of detection of impairment (Waldron-Perrine & Axelrod, 2012).

2.2 Stimuli

Voice samples were selected from recordings of popular story tales (i.e., "Red riding hood" and "Three little pigs") narrated by 80 native talkers of Canadian French recruited using the same method described in section 2.1. These talkers were recruited as part of previous experiments (Lortie et al., in preparation; Lortie, Thibeault, Guitton, & Tremblay, 2015). Exclusion criteria included self-reported history of diagnosed

respiratory, speech, voice, language, swallowing, hearing, neurological, or neurodegenerative disorder; a history of acute or chronic respiratory disorder (asthma, bronchitis, etc.); dysphagia; or any laryngeal trauma or disorders including surgically treated nodules, polyps, or Reinke's edema. At the time of recording, the talkers were free of voice ailments and reported no allergy or respiratory infection. The talkers were given an illustration of the story tale to help recall. The stories were narrated at comfortable voice frequency, amplitude and rate. All recordings were performed by the same examiner under identical conditions in a quiet (but not soundproof) testing room at the IUSMQ, using a headset microphone (Microflex Beta 53, Shure) placed at 5 cm (45° angle) from the talkers' mouth to decrease aerodynamic noise from the mouth. A headset microphone was used to ensure that the distance between the microphone and the mouth was kept constant throughout the procedure and across listeners. The microphone was connected to an analog interface (Edirol U-25EX, Roland) connected to laptop computer. The recordings were performed using the Audacity software (version 2.0.3; Free Software Foundation) at a sampling signal of 44.1 kHz and 32 bits of quantization.

An analysis of the talkers' voices revealed that voice parameters were within normal limits (Goy et al., 2013). The detail of this analysis is provided in supplementary material 2. In addition, young (5.22 ± 5.6) and older talkers scores (4.45 ± 6.3) on the Voice Handicap Index (Jacobson et al., 1997) were well within the normal limits (threshold for mild voice handicap: 33/120), revealing that their voices do not have a negative impact on their daily activities.

The 80 recordings were separated into four categories ($N = 20$ each) based on age (young: 20-49 years old, older: 50-75 years old) and smoking status (smoking, non-smoking). Smokers were regular tobacco consumers, with an average of 17.4 ± 10.9 cigarette consumed per day and 25.1 ± 14.8 years of regular smoking. Non-smokers had never smoked or had stopped smoking at least three years prior to the study. Each talker category was composed of 10 women and 10 men (**Table 16**). Recordings were inspected to identify segments with artifacts such as extraneous noise, laughter or coughing. These segments were excluded from the analysis. For each talker, an uninterrupted and semantically coherent segment of 20 to 25 words was manually selected from one of the story tales. Selected segments varied in length from 3.4 to 14.3 sec, with mean \pm SD of 8.4 ± 2.4 sec. We decided to control for word number rather than the length in seconds based on previous studies (Amir & Levine-Yudof, 2013; Goy et al., 2016; Huntley et al., 1987; Ryan & Capadano, 1978), and to ensure that the semantic content was coherent in all sample. For instance, we avoided breaking down sentences since semantic content may influence voice evaluation (Ryan & Johnston, 1987). The amplitude of the segments was normalized to 70 dB SPL in order to prevent masking of other perceptual dimensions (Kempster, Kistler, & Hillenbrand, 1991) or influence evaluation (Hollien et al., 1991).

	Young talkers		Older talkers	
	Smoking	Non-smoking	Smoking	Non-smoking
Mean age \pm SD	33.85 \pm 8.90	34.1 \pm 8.91	58.25 \pm 5.81	62.2 \pm 4.77
Male/female ratio	10/10	10/10	10/10	10/10

Table 16. Talker's characteristics.

2.3 Procedure

The study consisted in 2 parts: (1) hearing assessment, (2) voice sample evaluation task.

2.3.1 Hearing assessment

To ensure that listeners' hearing was normal, an audiometric evaluation was performed in a double-walled soundproof room (Génie Audio Inc.). This was necessary given the auditory nature of the main task. Pure tone audiometry was performed using a clinical audiometer (AC40, Interacoustic) and TDH-39 earphones for each ear separately, for the following frequencies: .25, .5, 1 and 2 kHz. For each listener, a standard pure tone average (PTA: average of threshold at .5, 1 and 2 kHz) was computed for the left and right ear (Stach, 2010). Listeners' PTA hearing thresholds were under 20 dB HL (young) or 40 dB HL (older), which confirmed that their hearing capacities were within normal limits according to their age (Blanchet et al., 2008).

2.3.2. Voice evaluation task

Listeners evaluated the 80 voices recordings through a rigorous computer-based procedure. For this task, listeners were comfortably seated in a double-walled soundproof room, facing a computer screen. The stimuli were presented auditorily using Presentation (Version 18.1, NeuroBehavioural Systems) through a Quartet soundcard (Apogee Electronics) and a high quality, closed and dynamic headset (DT 770 Pro, Beyerdynamic) at an individually adjusted intensity. All voice samples were presented binaurally.

Standardized instructions were presented on the computer screen. Before beginning the experiment, a training session was conducted, during which listeners evaluated a sample of 10 voices that were not included in the main experiment. This was done to ensure that participants understood the instructions. The voice evaluation was done through 16 different questions, organised into three blocks: (1) talker identification, (2) auditory-perceptual evaluation, and (3) psychosocial evaluation (see **Figure 38**). In the identification block, listeners identified the age of the talkers on a 7-point scale (20-29; 30-39; 40-49; 50-59; 60-69; 70-79 and 80+ years old) as well as their sex (male, female). In the auditory-perceptual block, which was inspired from the clinical Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V) (Kempster et al., 2009), listeners scored talkers' voice on 6 factors (i.e., trouble, roughness, strain, high pitch, low pitch, breathiness). The loudness

factor of the CAPE-V has become obsolete because of the normalized amplitude of the voice samples and was thus removed. Instead, the pitch factor was divided in low pitch and high pitch factors. Other factors (trouble, roughness, strain and breathiness) remained untouched. Visual-analog scales were transformed into 5-point Likert scales, ranging from 0=Not at all to 5=Extremely. Therefore, a low score on auditory-perceptual factors reflects a positive evaluation. In the Psychosocial block, which was based on Oswald' situational empathy scale (Oswald, 1996), listeners evaluated seven "social" aspects of the voices (i.e., warmth, agreeableness, perceived speech rate, easy to work with [work affinity], cheerfulness, confidence, enjoyable to speak with [conversational affinity]), also using 5-point Likert scales, ranging from 0=Very difficult to 5=Very easy or similar scales. Therefore, a low score on psychosocial factors reflects a negative evaluation. The words used in the scales (e.g. warmth) were selected from everyday language to avoid misunderstandings; thus, no further definitions were provided to the listeners. Perceived speech rate was included in the psychosocial block because, in the literature, slow speech rate has been associated with poor ratings on psychosocial scales in young adults (Aronovitch, 1976) and in young and older adults (Ryan & Johnston, 1987). Thus, slower perceived speech rate could negatively affect voice ratings and should be included in voice psychosocial evaluation. For a complete list of all questions, see **Supplementary material 1**.

During the main experiment, listeners first listened to a voice sample, and then they were asked to rate it using a computer keyboard. Listeners were asked to try and use the entire scales for all the questions. Throughout the experiment, water and short breaks were given to the listeners as needed. The task was self-paced and listeners typically completed the experiment within 120 to 150 minutes.

Each voice sample was evaluated three times (once for each block of questions: auditory-perceptual, identification and psychosocial) across six different experimental runs (**Figure 38**). Each run contained half the stimuli (40 voice samples) and only one type of block to avoid confusion. Thus, each listener performed a total of 240 evaluations. The rationale for having no voice segment presented twice in the same run was based on practical considerations with regards to testing time and minimizing listener fatigue. Stimuli were randomized for each listener in each run. Inter-stimuli intervals varied in length (ranging from 250 to 500 ms, randomized). The order of the runs was also randomized for each listener. Listeners were not aware that age and smoking status were of interest in the study.

Eight listeners did not complete the task within the allocated time (180 minutes) due to a very slow response rate. For these listeners, we were able to collect on average 75.78% of all data.

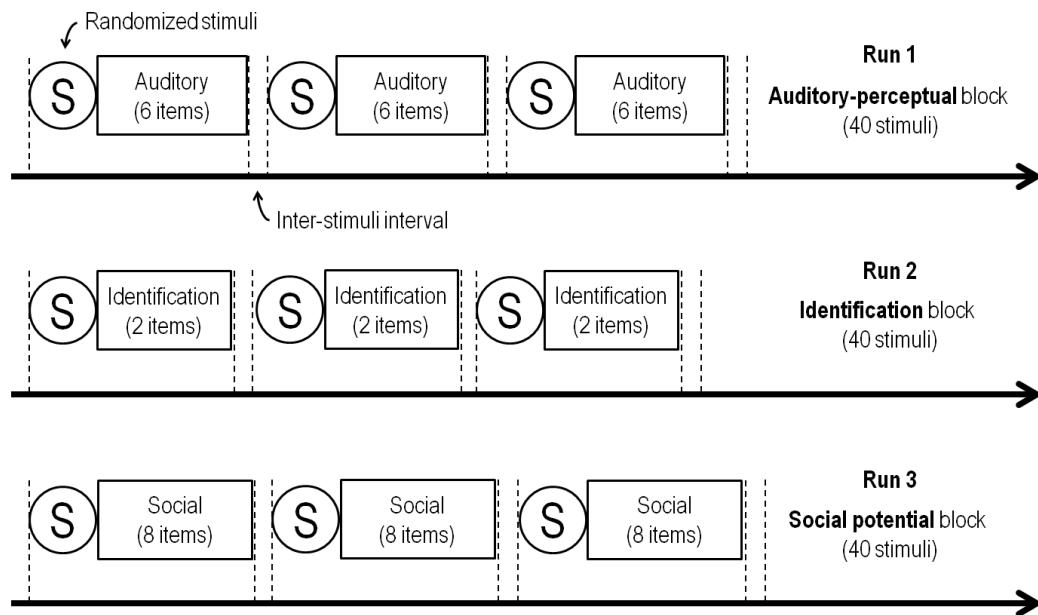


Figure 38. Experimental design. The experiment consisted in the evaluation of 240 voice samples, organized across six runs containing 40 voice samples each. Within a run, only one question block was used to avoid confusion (auditory-perceptual, identification or psychosocial).

2.4. Statistical analyses

All data were analyzed using SPSS 23 (IBM SPSS Statistics, Armonk, NY). Perceived age corresponded to the age category selected from 1 to 7, and perceived sex corresponded to the attributed sex (male, female). Listeners' evaluation of sociality measures (work affinity, conversational affinity) and the 11 remaining factors [trouble, roughness, strain, high pitch, low pitch, breathiness, warmness, agreeableness, perceived speech rate, cheerfulness, confidence] were analysed separately. Since listener's sex was shown to have little or no influence on a listener's perceptual evaluation in previous studies (Amir & Levine-Yundof, 2013; Aronovitch, 1976; Hollien et al., 1991), the sex of the listener was not analyzed here. The statistical analyses were conducted in four steps, described below. For all statistical procedures, $\alpha=.05$ was used to establish significance.

2.4.1. Age and sex identification

To determine whether talkers' age and sex were correctly identified by listeners, a series of correlations were performed between perceived and real age of the talkers for each listener. An error analysis was also performed on sex identification (percent of correctly identified voices).

2.4.2. Intra- and inter-rater reliability

First, outliers, defined as values that were three standard deviations away from the mean in each listener group (age grouping) and talker category (age, sex and smoking status grouping) were removed. After excluding outliers (337 out of 7440 values), 95.47% of the original data was included in the analyses. Next, the inter-rater reliability was assessed using Cronbach alpha coefficients. This involves measuring the relationship between each listener's rating for each voice and the group mean of all the other listeners. The intra-rater reliability was also assessed. However, because no voice segment was evaluated twice on the same factor, given time constraints, intra-rater reliability could not be assessed using a correlation between ratings of the first and second presentation of a stimulus. Instead, a split-half reliability procedure based on Cronbach (Cronbach, 1951) was used. This procedure has been successfully used by our group before (Deschamps, Hasson, & Tremblay, 2016). That is, for each listener, the evaluations of each talker category (composed of 10 different voice stimuli) were divided in two halves each containing 5 voices, resulting in two sets of voices each containing an equivalent number of stimuli per talker category. We then calculated the split-half coefficient for each listener.

2.4.3. Voice evaluation

To dissociate the effect of listener and talker factors on voice evaluation, a series of non-parametric Mann-Whitney tests for independent samples was conducted. For each listener, voice evaluations were averaged within each of the eight talkers' categories (see Table 2). Work affinity and conversational affinity were not included in these analyses. A second and more stringent outlier removal procedure was applied to the within-subject averaged data to ensure the normality of the group distribution. Outliers, defined as values that were three median absolute deviations away from the median of each dependant variable in each group (age grouping), were removed from the statistical analyses (Huber, 1981; Leys, Ley, Klein, Bernard, & Licata, 2013). After excluding outliers (712 out of 5096 values), 86.03% of the data was included in the analyses.

2.4.3.1. Young versus older listeners

To detect age differences in voice evaluation, listeners were divided in two age groups (young: 20-37, older: 51-74 years). Voice ratings between younger and older listeners for each talker category on 11 factors [trouble, roughness, strain, high pitch, low pitch, breathiness, warmness, agreeableness, perceived speech rate, cheerfulness and confidence] were compared using Mann-Whitney tests for independent samples. These results are summarized in Figure 2 in the form of radar charts. Each dimension (radii) in a radar chart corresponds to a factor. The longer the radii, the higher the score. Note that for auditory-perceptual evaluation, high scores are negative, while for the psychosocial evaluation, higher scores are positive.

2.4.3.2. Young versus older talker

To detect if young and older talker voices were differently evaluated, voice evaluations from the two listener groups were associated. Differences in voice ratings between young and older talker voices on 11 factors [trouble, roughness, strain, high pitch, low pitch, breathiness, warmness, agreeableness, perceived speech rate, cheerfulness and confidence] were compared using Mann-Whitney tests for independent samples within talker categories (female non-smoking, female smoking, male non-smoking, male smoking). These results are summarized in Figure 3 in the form of a radar chart.

2.4.4. Propensity to engage in social interactions

To identify the factors that are associated with a listener's propensity to engage in social interactions with a person, a series of non-parametric correlation analyses was performed for young and older listeners separately. Spearman correlations were used to examine the degree of relationships between sociality measures (work affinity, conversational affinity) and the other 11 factors [trouble, roughness, strain, high pitch, low pitch, breathiness, warmness, agreeableness, perceived speech rate, cheerfulness and confidence].

3. Results

3.1. Age and sex identification

The perceived age was strongly correlated with the real age of the talkers ($R=0.71$, $r^2=0.52$, $p<0.05$). The association between perceived and real age was stronger for young listeners ($R=0.78$, $r^2=0.61$, $p<0.001$) than older listeners ($R=0.63$, $r^2=0.43$, $p<0.05$), but it was positive and significant in both groups. Listeners correctly identified the sex of the talker 98.24% of the time, for a mean error rate of 1.36 talkers misidentified over 80 samples in total. The percentage of talkers' sex correctly identified was similar between young (98.4%) and older listeners (98.2%) ($t_{(79)}=-0.45$, $p=0.65$).

3.2. Intra- an inter-rater reliability

A high inter-rater reliability was observed for auditory-perceptual factors (Cronbach α ranging from 0.85 to 0.95) and Social factors (Cronbach α ranging from 0.93 to 0.97). Split-half coefficients revealed good internal consistency for each listener for auditory-perceptual factors (Cronbach α ranging from 0.78 to 0.96) and psychosocial factors (Cronbach α ranging from 0.93 to 0.98).

3.3. Voice evaluation

3.3.1. Young versus older listeners

Voice evaluations are provided as a function of listeners' age and talker category in **Table 17** and illustrated in **Figure 39**¹⁰. As can be seen in **Figure 39**, there were only a few differences in voice evaluation between listener groups, the majority of which reflecting more positive evaluations made by the older listeners (10 /11). Most of the age differences were found on the roughness parameter. In addition, older listeners had a more positive evaluation of cheerfulness and agreeability for the younger non-smoking female talkers and younger non-smoking male talkers, respectively (**Figure 39C and G**). There was only one instance of a more positive score attributed by the younger listeners. The young listeners provided a more positive rating of the warmth of older smoking female talkers (**Figure 39B**).

¹⁰ Note that lower scores on auditory-perceptual factors reflect more positive evaluations, whereas higher scores on psychosocial factors reflect more positive evaluations.

Voice evaluations		Talkers	Female talkers								Male talkers							
			Younger non-smoking		Younger smoking		Older non-smoking		Older smoking		Younger non-smoking		Younger smoking		Older non-smoking		Older smoking	
		Listeners	Y	O	Y	O	Y	O	Y	O	Y	O	Y	O	Y	O	Y	O
Auditory-perceptual scores	Trouble	Mean	1.53	1.47	1.84	1.55	1.69	1.48	1.78	1.65	1.5	1.35	1.66	1.66	1.81	1.76	1.66	1.55
		SD	0.27	0.44	0.38	0.45	0.37	0.51	0.41	0.56	0.31	0.33	0.29	0.46	0.47	0.63	0.38	0.51
	Roughness	Mean	1.35	1.21	1.39	1.23	1.32	1.17	1.59	1.42	1.46	1.28	1.7	1.37	2.17	2.01	2.07	1.66
		SD	0.22	0.16	0.15	0.19	0.25	0.20	0.26	0.24	0.36	0.25	0.41	0.26	0.47	0.62	0.27	0.40
	Strain	Mean	1.72	1.76	1.86	1.92	2.02	2	1.69	1.79	1.58	1.68	1.64	1.89	1.58	1.93	1.47	1.74
		SD	0.25	0.62	0.55	0.63	0.57	0.74	0.36	0.55	0.45	0.54	0.42	0.69	0.37	0.66	0.28	0.61
	High pitch	Mean	1.44	1.31	1.21	1.35	1.68	1.71	1.28	1.29	1	1	1	1	1	1.06	1	1.09
		SD	0.40	0.27	0.22	0.36	0.53	0.57	0.23	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.13
	Low pitch	Mean	1.13	1.07	1.08	1	1	1	1.3	1.19	1.32	1.1	1.5	1.45	1.56	1.55	1.43	1.63
		SD	0.14	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	0.26	0.20	0.33	0.12	0.31	0.39	0.27	0.46	0.21	0.60
	Breathiness	Mean	1.45	1.73	1.95	2	1.64	1.8	1.56	1.81	1.51	1.57	1.63	1.8	2.03	2.02	1.59	1.69
		SD	0.33	0.53	0.60	0.57	0.45	0.46	0.30	0.50	0.40	0.34	0.38	0.56	0.66	0.50	0.33	0.41
Psychosocial scores	Warmness	Mean	3.28	3.31	3.4	3.19	3.74	3.7	3.15	2.88	3.5	3.37	3.02	3.01	3.61	3.36	3.47	3.44
		SD	0.39	0.43	0.27	0.33	0.22	0.25	0.29	0.26	0.32	0.35	0.32	0.35	0.45	0.31	0.39	0.28
	Agreeableness	Mean	3.08	3.11	2.98	3.26	3.24	3.47	2.89	2.98	3.26	3.57	3.09	3.13	3.28	3.28	3.4	3.41
		SD	0.45	0.14	0.39	0.45	0.46	0.50	0.14	0.38	0.38	0.38	0.33	0.32	0.36	0.17	0.29	0.32
	Speech tempo	Mean	3.11	3.18	3.11	3.22	2.81	2.96	2.75	2.79	3.33	3.39	2.72	2.81	2.93	2.91	2.85	2.88
		SD	0.20	0.36	0.17	0.27	0.28	0.22	0.21	0.23	0.32	0.27	0.16	0.24	0.15	0.15	0.23	0.16
	Cheerfulness	Mean	3.27	3.57	3.3	3.38	3.74	3.57	2.81	2.96	3.37	3.53	2.7	2.88	3.04	3.02	3.1	3.12
		SD	0.30	0.17	0.29	0.25	0.28	0.25	0.29	0.47	0.26	0.24	0.30	0.37	0.29	0.40	0.28	0.39
	Confidence	Mean	3.08	3.22	2.98	3.11	3.25	3.41	2.85	2.78	3.46	3.34	2.79	2.79	3.1	3.03	3.13	2.99
		SD	0.25	0.55	0.40	0.34	0.54	0.32	0.54	0.41	0.50	0.48	0.43	0.22	0.47	0.44	0.43	0.41

Y = young listeners, O = older listener

Table 17. Voice evaluations (mean and SD) by listeners' age and talker categories. All factors are measured on a 5-point scale. Significant age differences (assessed via Mann Whitney non-parametric tests) between young and older listeners are indicated by shaded cells.

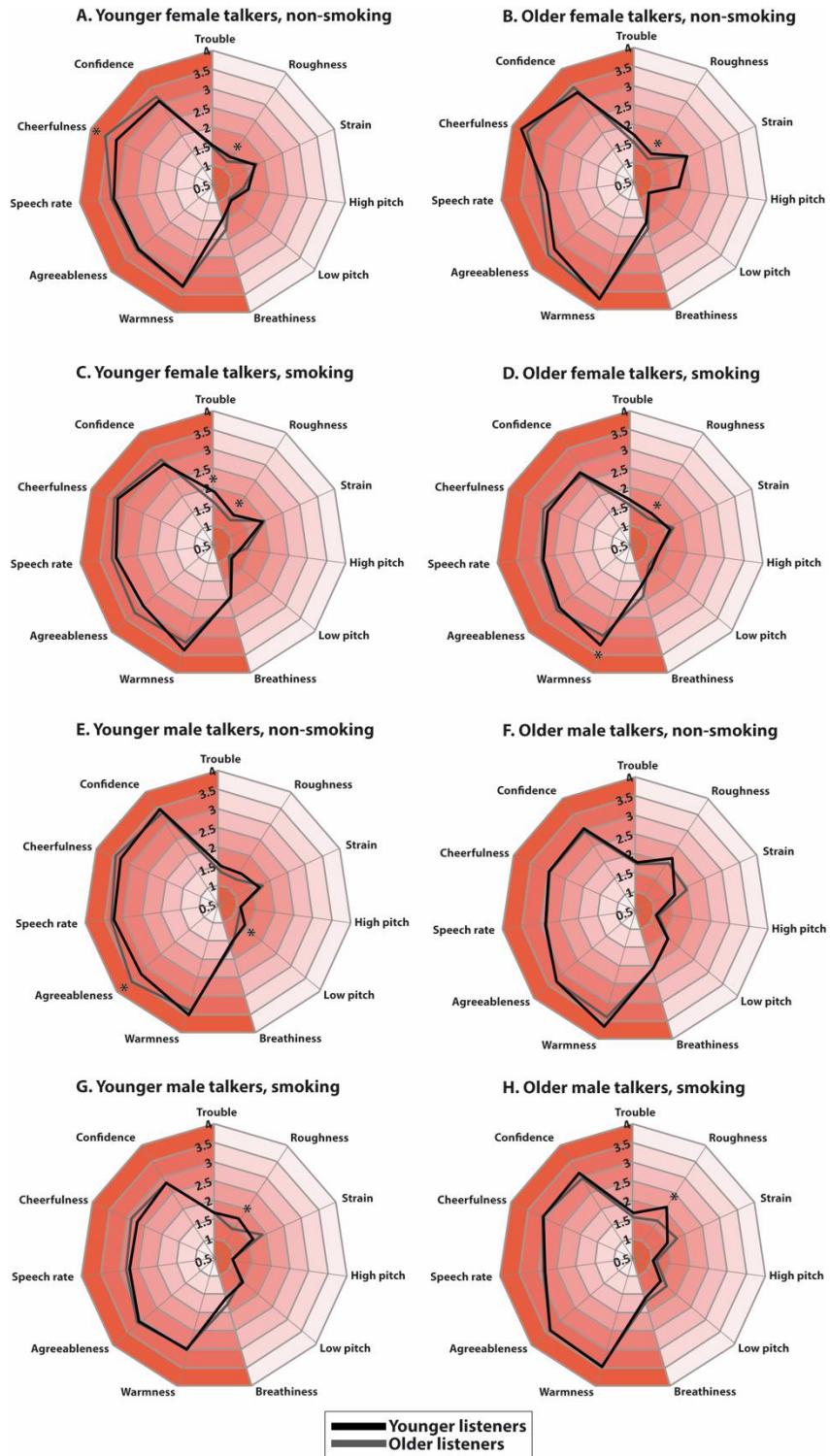


Figure 39. Age differences in voice evaluation as a function of the listeners' age. The radar chart illustrates the result of the Mann Whitney tests for the differences between young and older listeners' evaluations on 11 factors, separately for each of the eight talker categories (younger/older, female/male, smoking/non-smoking). Each dimension (radii) in a radar chart corresponds to a factor. The longer the radii, the higher the score. Note that for auditory-perceptual evaluation, high scores are negative, while for the psychosocial evaluation, higher scores are positive. Asterisks indicate significance at $p < 0.05$.

3.3.2. Young versus older talkers

Voice evaluations for all listeners are provided as a function of talker category in **Table 18** and illustrated in **Figure 40**. There were several differences in the evaluation of young and older talker, with important sex differences. For the female talkers, the Mann-Whitney tests revealed age differences that varied significantly across smoking status. Specifically, for non-smoking women, older talkers were perceived as higher pitched and slower than young talkers, but also as more warm, agreeable and cheerful than younger talkers (**Figure 40A**). Young smoking talkers were evaluated more positively than older smoking talkers on roughness, low pitch, warmth, agreeableness, speech rate, cheerfulness and confidence (**Figure 40B**). Only breathiness was evaluated more positively for the older compared to the younger talkers.

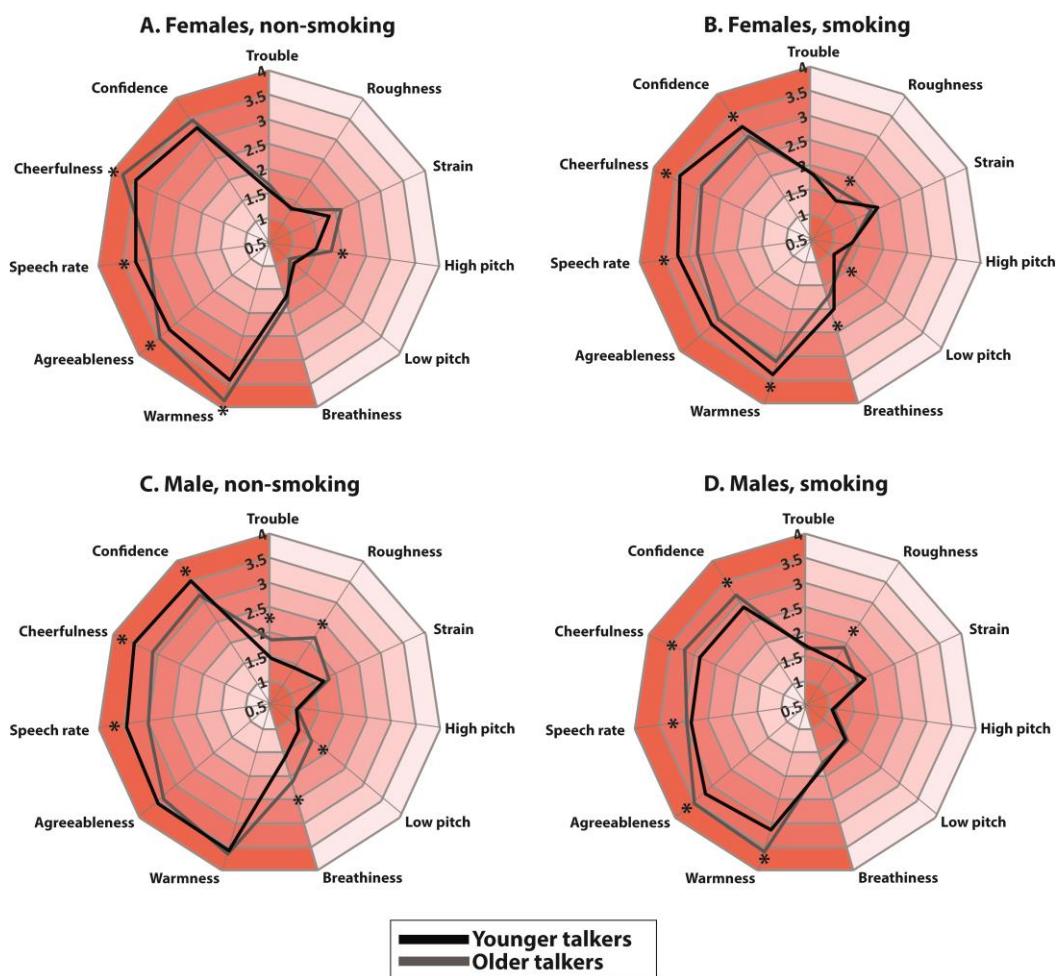


Figure 40. Age differences in voice evaluation as a function of talker's age. The radar chart illustrates the result of the Mann Whitney tests for the differences between young and older talker voices on 11 factors, separately for each talker category (female/male, smoking/non-smoking), averaged across all listeners. Asterisks indicate significance at $p < 0.05$.

A remarkably different pattern was found for the male talkers. For non-smoking men talkers, Mann-Whitney tests revealed that younger voices were perceived more positively than older talkers on several voice factors: trouble, roughness, low pitch, breathiness, perceived speech rate, cheerfulness and confidence (**Figure 40C**). For the smoking male talkers, older talkers were perceived as being warmer, more agreeable, more cheerful, more confident and having a faster speech rate compared with younger talkers (**Figure 40D**). Only roughness was evaluated more negatively for the older compared to the younger talkers.

Voice evaluations			Female talkers				Male talkers			
			Younger non-smoking	Older non-smoking	Younger smoking	Older smoking	Younger non-smoking	Older non-smoking	Younger smoking	Older smoking
Auditory-perceptual scores	Trouble	Mean	1.50	1.60	1.70	1.72	1.43	1.79	1.66	1.61
		SD	0.35	0.45	0.43	0.48	0.33	0.55	0.38	0.44
	Roughness	Mean	1.28	1.25	1.32	1.51	1.37	2.09	1.55	1.85
		SD	0.21	0.24	0.18	0.26	0.32	0.55	0.38	0.40
	Strain	Mean	1.74	2.01	1.89	1.74	1.63	1.74	1.75	1.60
		SD	0.47	0.65	0.58	0.46	0.49	0.55	0.57	0.49
	High pitch	Mean	1.39	1.70	1.28	1.29	1.00	1.03	1.00	1.04
		SD	0.35	0.54	0.30	0.30	0.00	0.07	0.00	0.10
	Low pitch	Mean	1.10	1.00	1.04	1.25	1.22	1.56	1.48	1.54
		SD	0.12	0.00	0.08	0.24	0.28	0.38	0.35	0.47
	Breathiness	Mean	1.58	1.72	1.98	1.68	1.53	2.02	1.71	1.63
		SD	0.45	0.46	0.58	0.42	0.37	0.59	0.47	0.37
Psychosocial scores	Warmness	Mean	3.29	3.72	3.30	3.04	3.43	3.50	3.01	3.46
		SD	0.40	0.24	0.32	0.30	0.34	0.41	0.33	0.35
	Agreeableness	Mean	3.09	3.35	3.10	2.94	3.41	3.28	3.11	3.40
		SD	0.37	0.49	0.44	0.29	0.41	0.30	0.32	0.30
	Speech tempo	Mean	3.14	2.87	3.16	2.77	3.36	2.92	2.77	2.86
		SD	0.29	0.26	0.23	0.22	0.29	0.15	0.20	0.20
	Cheerfulness	Mean	3.39	3.66	3.34	2.88	3.44	3.03	2.78	3.11
		SD	0.30	0.28	0.27	0.38	0.26	0.34	0.34	0.33
	Confidence	Mean	3.15	3.32	3.04	2.82	3.40	3.07	2.79	3.07
		SD	0.42	0.46	0.37	0.48	0.49	0.46	0.36	0.42

Table 18. Voice evaluations (mean and SD) by talker categories, collapsed across listeners age groups. All factors are measured on a 5-point scale. Significant age differences (assessed via Mann Whitney non-parametric tests) between young and older talkers are indicated by shaded cells.

Parameters		Roughness	Strain	High pitch	Low pitch	Breathiness	Warmness	Agreeableness	Speech tempo	Cheerfulness	Confidence	Work affinity	Conversational affinity
Trouble	Y	-0.07	0.29	0.32	0.12	0.22	0.18	-0.05	-0.02	-0.35	-0.19	-0.54	-0.37
	O	0.44	0.50	0.56	0.37	0.56	0.04	0.10	-0.11	0.25	-0.39	0.18	0.20
Roughness	Y	0.25	0.16	0.26	0.38	0.13	-0.24	0.09	0.20	-0.10	-0.52	-0.07	-0.17
	O	0.29	0.52	0.54	0.38	0.11	0.58	0.21	0.35	-0.29	0.49	0.49	0.62
Strain	Y	0.07	0.15	0.73	0.05	-0.25	0.20	-0.39	-0.36	-0.41	-0.36	-0.41	-0.38
	O	0.63	0.54	0.72	-0.04	0.11	0.36	0.23	-0.16	0.31	0.31	0.26	
High pitch	Y	0.15	0.18	0.14	-0.23	-0.31	0.14	-0.11	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	
	O	0.71	0.48	-0.11	0.24	0.29	0.14	-0.03	0.19	0.19	0.19	0.24	
Low pitch	Y	0.24	-0.15	-0.12	-0.09	-0.46	-0.06	-0.33	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	
	O	0.32	0.09	0.45	0.27	0.39	0.05	0.38	0.44	0.44	0.44	0.44	
Breathiness	Y	-0.08	-0.30	0.24	-0.17	-0.39	-0.35	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	
	O	0.06	0.36	-0.02	0.21	-0.26	0.45	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
Warmness	Y	0.40	-0.43	0.35	0.09	0.16	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	
	O	0.35	-0.24	0.58	0.07	0.24	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	
Agreeableness	Y	-0.31	0.38	0.65	0.56	0.56	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	
	O	-0.09	0.29	0.05	0.65	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	
Speech tempo	Y	-0.34	-0.26	-0.08	-0.26	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	
	O	0.27	0.19	0.07	0.07	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
Cheerfulness	Y	0.38	0.60	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
	O	-0.18	0.57	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	
Confidence	Y	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	
	O	-0.18	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	
Work affinity	Y	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
	O	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	

Table 19. Spearman correlation matrix. Significant correlations at $p<0.05$ are indicated by shaded cells. Y=Young listeners, O=Older listeners.

3.4. Factors associated with the propensity to engage in social interactions

Spearman correlations were used to examine the degree of relationships between the talker factors for young and older listeners. These analyses, shown in **Table 19**, revealed that most auditory-perceptual factors were positively associated to each other, but mainly for older listeners. A majority of psychosocial factors were also positively associated to each other for both young and older listeners. For younger listeners, high scores on auditory-perceptual factors were associated with lower scores on psychosocial factors, meaning that a negative auditory-perceptual was associated with a negative psychosocial evaluation. Correlations also revealed that high perceived speech rate was associated with lower warmth scores in young listeners. For the older listeners, high roughness evaluations were associated with higher agreeableness, work affinity and conversational affinity scores. Finally, work affinity and conversational affinity scores were highly and positively correlated for both listeners' age groups.

4. Discussion

In this study, we examined the role of talker and listener factors on voice auditory-perceptual and psychosocial evaluation. Our main finding is that talker-related factors have an overall stronger impact on voice evaluation than listeners' age. We also demonstrated that psychosocial factors are positively associated with the propensity to engage in social interactions with a person whereas most auditory-perceptual factors are negatively associated with the propensity to engage in social interactions with a person. These findings are discussed in the following sections.

4.1. Influence of a listener's age on voice evaluation

Based on the assumption that older adults may have an easier time understanding the utterances of other adults of similar age, with which they are likely to interact more often, our hypothesis was that voice evaluation would differ between young and older listeners, and in particular that older listener would judge older voices in a more favorable way than younger listeners. Our results support this hypothesis, at least to some extent. Indeed, we found that older listeners evaluated older talkers more favourably than younger listeners. However, our results also demonstrate that older listeners provided overall slightly more positive evaluations regardless of talkers' age. Most differences between listener groups were observed for auditory-perceptual factors, mainly roughness, rather than psychosocial factors. This finding is consistent with a previous study that observed that listeners' age affected auditory-perceptual ratings of non-smoking voices more so than speech ratings such as clarity and naturalness, and that young listeners tended to give more negative roughness ratings to older talkers (Goy et al., 2016). Another study also observed few differences in dysphonic voice evaluation depending on the listeners' age, whereby older listeners rated speakers more favorably than younger listeners

(Amir & Levine-Yudof, 2013). In the present study, a similar influence of listeners' age was observed on the evaluation of non-smoking and smoking normal voices using a comprehensive set of voice ratings scales. It is thus possible that older listeners are relatively more tolerant towards all types of voice, or that their voice ratings are based on different perceptual characteristics than younger listeners. However, though older listeners tended to be more positive than younger listeners, this finding did not generalise to all the factors evaluated. Moreover, the ability to estimate a talker's age based on the voice was not influenced by listeners' age, which is consistent with previous works on the same issue (Eppley & Mueller, 2001; Huntley et al., 1987). These findings may indicate that younger and older listeners respond similarly on some measures, for example chronological age, but differently on other measures such as voice perceived auditory quality. In sum, these results confirm that listener' characteristics such as age may influence the perception of a talker, but that this influence depends on the specific factor being evaluated.

4.2. Influences of talker factors on voice evaluation

Our second hypothesis was that older and smoking talkers would receive more negative evaluations than younger and non-smoking adults. Results reveal a more complex scenario. For the non-smoking talkers, consistent with the literature, older male talker voices were perceived as more hoarse, rough and noisy than younger talkers (Benjamin, 1986; Gorham-Rowan & Laures-Gore, 2006; Harnsberger et al., 2010; Mulac & Giles, 1996; Prakup, 2012; Ryan & Capadano, 1978; Ryan & Burk, 1974). This is likely a direct consequence of the physiological and acoustics changes associated with aging (Dehqan, Scherer, Dashti, Ansari-Moghaddam, & Fanaie, 2012; Stathopoulos, Huber, & Sussman, 2011; Xue & Deliyski, 2001). However, older female talker voices were not perceived differently than younger talkers with the exception of the high pitch, rated more negatively for older compared to younger adults.

Speech rate was also rated lower in older talkers than younger talkers, except for smoking male talkers, meaning that older talkers were perceived as slower than younger talkers, consistent with prior studies (Ryan & Burk, 1974, Harnsberger et al., 2010, 2008). In the literature, slow speech rate has been associated (at least in western societies) with poor ratings of self-confidence, extraversion, boldness, energy, dominance and emotion in young adults (Aronovitch, 1976) and poor psychosocial evaluation on benevolence and competence factors in young and older adults (Ryan & Johnston, 1987), thus suggesting that slower perceived speech rate negatively affect psychosocial voice evaluation.

In the present study, listeners were unaware of the fact that half of the talkers were regular smokers, which was done to avoid negative social biases. Yet, the results reveal that smoking voices were evaluated more negatively on psychosocial traits (ratings closer to zero) compared with non-smoking voices. This is consistent with a previous study showing that smoking status can be detected by listeners (Vincent & Gilbert, 2012), or at

least that these voices are perceived more negatively. Given the numerous acoustic changes caused by cigarette smoking, including a decrease in fundamental frequency and voice stability measured by jitter, shimmer and HNR indices (Gonzalez & Carpi, 2004; Guimarães & Abberton, 2005; Pinto et al., 2014; Vincent & Gilbert, 2012), it is not surprising that cigarette smoking influences voice evaluation. A study that examined auditory-perceptual evaluation of smoking and non-smoking voices also observed that smoking voices were perceived as being more strained and breathy than non-smoking voices (Dedivitis et al., 2004). However, no study, to the best of our knowledge, has investigated differences in psychosocial evaluation between non-smoking and smoking talkers. It would be interesting, in future work, to determine the specific weight of different acoustical changes in smoking adults voices on the evaluation of their voice.

Importantly, our results demonstrate that perceived differences between young and older talkers were dependent upon the talker's sex and smoking status. Specifically, our results show that, in non-smoking adults, age differences are dependent on sex. Indeed, older male voices were less positively perceived than younger male voices on all scores, whereas this difference was limited to explicit scores (i.e., auditory-perceptual and perceived speech rate scores) in female voices. Moreover, older female voices were more positively evaluated on warmth, agreeableness and cheerfulness than young female voices. Interestingly, the differences between young and older smoking male and female voices are completely different. In smoking adults, older female voices were less positively perceived than younger female voices on all scores except low pitch. In contrast, normal aging had a positive effect on smoking male voices evaluations: older male voices were more positively perceived than younger male voices on all psychosocial factors. Thus, cigarette smoking seems to take away the positive effect normal aging had on female talker evaluations and, in contrast, to have a relatively positive influence on male talker evaluations in aging.

4.3. Factors influencing the propensity to engage in social interactions

Based on the hypothesis that listeners' perception of a talker may influence their interactions and the propensity to engage in social interactions with that person (Amir & Levine-Yundof, 2013; Kemper et al., 1998; Lallh & Rochet, 2000), our third hypothesis was that the propensity to interact with a person would be positively associated with auditory-perceptual and even more so with psychosocial traits for both listener groups. Our results confirmed this hypothesis, at least in part. Indeed, most psychosocial factors were positively associated with the propensity to engage in social interactions for both young and older listeners, except for warmth and confidence which were of significance for younger listeners only. However, perceived speech rate did not affect the inclination of a listener to engage in social interactions with a person.

In the present study, most auditory-perceptual factors were positively associated to each other, but, surprisingly, only few auditory-perceptual factors were associated with psychosocial factors, suggesting that

psychosocial evaluation rely on acoustic cues different from those that were used in the auditory-perceptual evaluation. One such factor could be prosody, both emotional and linguistic. Yet, in young but not older listeners, a few auditory-perceptual factors (trouble, strain and low pitch) were negatively associated with the propensity to engage in social interactions. Furthermore, perceived roughness was positively associated with the inclination of older but not younger listeners to engage in social interactions with a person. In other words, older listeners responded more positively to rough voices. Taken together, these results suggest that listeners may base their psychosocial evaluation on distinct perceptual characteristics depending on their age (Eppley & Mueller, 2001). Taken together, these results shed new light on the factors that influence the inclination to engage in social interactions with a person. Yet, more work is needed to address the vocal characteristics that may hinder talkers' perception and, in turn, affect their social interactions and overall quality of life.

4.4. Limitations

The present study does present a few limitations worth discussing. These limitations include a moderate sample size consisting of highly educated individuals, a cross-sectional (non-causal) design, the choice of using semi-spontaneous speech samples and a focus on listener's age ignoring other potentially important characteristics. Though our global sample included 50 adults, this sample was broken down in two arbitrary age groups, which comprised 25 listeners each. As detailed in the method section, on average both groups had a high education level (~15 years of education), which corresponds approximatively to a college degree in Québec. However, according to the Institut de la Statistique du Québec, in 2015, only approximately 50% of the population in Québec held a college degree (Institut de la statistique du Québec, 2016). Additional studies are therefore needed to determine whether our results can generalise to the entire population, including individuals with lower socio-economic status. The recruitment of adults within a wider age range and education level is key to answer this question. For both scientific and practical reasons, we did not break-down our sample further. Scientifically, our main interest was in examining whether a listener's age affects the manner in which others voices are evaluated. On a practical level, including further characteristics would have required a much larger sample. Since listener's sex was shown to have little or no influence on a listener's perceptual evaluation in previous studies (Amir & Levine-Yudof, 2013; Aronovitch, 1976; Hollien et al., 1991), the sex of the listener was not analyzed here. However, it would be interesting to determine whether other listener's characteristics, such as socio-economic status and ethnicity, may have a stronger impact on voice evaluation compared to age alone.

Another limitation is the use of a cross-sectional design. Because of this design, we cannot exclude that other factors may contribute to explaining the lack of an association between the listeners' age and voice evaluation, and we cannot therefore establish causality. Further studies are needed with large sample sizes and ideally a

longitudinal design. Moreover, here we chose semi-spontaneous speech samples instead of sustained vowels or completely unconstrained speech samples. Voice evaluation is often restricted to the use of sustained vowels. Yet, voice in connected speech is not only produced in a different way from sustained vowels (Lortie et al., 2015), but may also be heard differently by listeners (Fourcin & Abberton, 2008; Maryn, Roy, De Bodt, Van Cauwenberge, & Corthals, 2009), as it offers more information about a person's voice quality and perceived psychosocial traits (Berry, 1991; Hughes & Rhodes, 2010; McAleer et al., 2014). Nonetheless, these semi-spontaneous speech samples may have led to a greater variability in the results, which could have hindered subtle perceptual effects. Finally, in this study we included talkers with self-reported normal voices. No clinical assessments were conducted (e.g., indirect laryngoscopy); nonetheless, voice analysis revealed that talkers' voice parameters were within normal limits. Although talkers were carefully selected through an interview process, we cannot exclude that some of them may have been suffering from undiagnosed voice disorders that could have influenced the results. However, the stringent outlier exclusion procedures have undoubtedly reduced such risks.

5. Conclusions

The present study demonstrates that, while young and older voices are evaluated differently, this evaluation is not affected by the age of the listener, but instead by the sex and smoking status of the speaker. Results also reveal that perceived voice amiability, but not auditory-perceptual evaluations, influence the propensity to interact with a person. While the acoustical correlates of amiability remain to be identified, these findings shed new light on the relationship between voice evaluation and social interactions. Voice is, indeed, a key component of human verbal communication and yet, few studies have examined the role of voice evaluation on human social interactions and prosocial behaviours. We do hope that the present study stimulates research on this domain.

6. Acknowledgments

The authors thank all the participants. This study was supported by grants from the "Fonds de la Recherche du Québec Société-Culture" (FRQ-SC) and the "Fonds de la Recherche du Québec en Santé" (FRQS) to P.T. and from a graduate scholarship from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) to C.L.L. P.T. and M.J.G. hold Career Awards from the "Fonds de Recherche du Québec – Santé" (FRQS).

7. Conflict of interest statement

All authors report no conflict of interest and no constraints on publishing.

8. References

- Ambady, N., Bernieri, F. J., & Richeson, J. A. (2000). Toward a histology of social behavior: Judgmental accuracy from thin slices of the behavioral stream. *Advances in Experimental Social Psychology*, 32, 201–271.
- Ambady, N., Krabbenhoft, M. A., & Hogan, D. (2006). The 30-Sec Sale: Using Thin-Slice Judgments to Evaluate Sales Effectiveness. *Journal of Consumer Psychology*, 16(1), 4–13. http://doi.org/10.1207/s15327663jcp1601_2
- Amir, O., Engel, M., Shabtai, E., & Amir, N. (2012). Identification of Children's Gender and Age by Listeners. *Journal of Voice*, 26(3), 313–321. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.06.001>
- Amir, O., & Levine-Yundof, R. (2013). Listeners' Attitude Toward People With Dysphonia. *Journal of Voice*, 27(4), 524.e1-524.e10. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.01.015>
- Aronovitch, C. D. (1976). The voice of personality: stereotyped judgments and their relation to voice quality and sex of speaker. *The Journal of Social Psychology*, 99, 207–220. <http://doi.org/10.1080/00224545.1976.9924774>
- Awan, S. N., & Morrow, D. L. (2007). Videostroboscopic characteristics of young adult female smokers vs. nonsmokers. *Journal of Voice*, 21(2), 211–23. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2005.10.009>
- Banse, R., & Scherer, K. R. (1996). Acoustic profiles in vocal emotion expression. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70(3), 614–636. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.70.3.614>
- Benjamin, B. J. (1986). Dimensions of the older female voice. *Language & Communication*, 6(1–2), 35–45.
- Berry, D. S. (1991). Accuracy in social perception: contributions of facial and vocal information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61(2), 298–307. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.61.2.298>
- Blanchet, C., Pommie, C., Mondain, M., Berr, C., Hillaire, D., & Puel, J.-L. (2008). Pure-tone threshold description of an elderly French screened population. *Otology & Neurotology*, 29(4), 432–440. <http://doi.org/10.1097/MAO.0b013e3181719746>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <http://doi.org/doi:10.1007/BF02310555>
- Dedivitis, R. a, Barros, a P. B., Queija, D. S., Alexandre, J. C. M., Rezende, W. T. M., Corazza, V. R., ... Nishimoto, I. N. (2004). Interobserver perceptual analysis of smokers voice. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences*, 29(2), 124–127. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2273.2004.00793.x>
- Deschamps, I., Hasson, U., & Tremblay, P. (2016). The structural correlates of statistical information processing during speech perception. *PLoS ONE*, 11(2), 1–19. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0149375>
- Eppley, B. D., & Mueller, P. B. (2001). Chronological age judgments of elderly speakers: The effects of listeners' age. *Contemporary Issues in Communication Science and Disorders*, 28, 5–8.
- Fourcin, A., & Abberton, E. (2008). Hearing and phonetic criteria in voice measurement: clinical applications. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 33(1), 35–48. <http://doi.org/10.1080/14015430701251574>
- Gonzalez, J., & Carpi, A. (2004). Early effects of smoking on the voice: a multidimensional study. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 10(12), 649–656.
- Goy, H., Fernandes, D. N., Pichora-Fuller, M. K., & van Lieshout, P. (2013). Normative voice data for younger and older adults. *Journal of Voice*, 27(5), 545–555. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.03.002>
- Goy, H., Pichora-Fuller, M. K., & van Lieshout, P. (2016). Effects of age on speech and voice quality ratings. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(4), 1648–1659. <http://doi.org/10.1121/1.4945094>
- Guimarães, I., & Abberton, E. (2005). Health and voice quality in smokers: an exploratory investigation. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 30(3–4), 185–191. <http://doi.org/10.1080/14015430500294114>
- Harnsberger, J. D., Brown, W. S., Shrivastav, R., & Rothman, H. (2010). Noise and tremor in the perception of vocal aging in males. *Journal of Voice*, 24(5), 523–530. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.01.003>
- Harnsberger, J. D., Shrivastav, R., Brown, W. S., Rothman, H., & Hollien, H. (2008). Speaking Rate and Fundamental Frequency as Speech Cues to Perceived Age. *Journal of Voice*, 22(1), 58–69. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.07.004>

- Hollien, H., Gelfer, M. P., & Carlson, T. (1991). Listening preferences for voice types as a function of age. *Journal of Communication Disorders*, 24(2), 157–171. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(91\)90019-F](http://doi.org/10.1016/0021-9924(91)90019-F)
- Huber, P. J. (1981). Robust statistics. New York: Wiley.
- Hughes, S. M., & Rhodes, B. C. (2010). Making age assessments based on voice : The impact of the reproductive viability. *Journal of Social, Evolutionary, and Cultural Psychology*, 4(4), 290–304. <http://doi.org/10.1037/h0099282>
- Huntley, R., Hollien, H., & Shipp, T. (1987). Influences of listener characteristics on perceived age estimations. *Journal of Voice*, 1(1), 49–52. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(87\)80024-3](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(87)80024-3)
- Institut de la statistique du Québec. (2016). Répartition de la population de 25 à 64 ans selon le plus haut niveau de scolarité atteint, la région administrative, l'âge et le sexe, Québec.
- Jacobson, B. H., Johnson, A., Grywalski, C., Silbergbeit, A., Jacobson, G., Benninger, M. S., & Newman, C. W. (1997). The Voice Handicap Index (VHI): Development and Validation. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 6(3), 66–69. <http://doi.org/10.1044/1058-0360.0603.66>
- Kemper, S., Ferrell, P., Harden, T., Billington, C., & Finter-Urczyk, A. (1998). Use of Elderspeak by Young and Older Adults to Impaired and Unimpaired Listeners. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 5(1), 43–55.
- Kempster, G. B., Gerratt, B. R., Abbott, K. V., Barkmeier-Kraemer, J., & Hillman, R. E. (2009). Consensus auditory-perceptual evaluation of voice: Development of a standardized clinical protocol. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 18(2), 124–132. [http://doi.org/10.1044/1058-0360\(2008/08-0017\)](http://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/08-0017))
- Kempster, G. B., Kistler, D. J., & Hillenbrand, J. (1991). Multidimensional scaling analysis of dysphonia in two speaker groups. *Journal of Speech & Hearing Research*, 34(3), 534–543. <http://doi.org/10.1044/jshr.3403.534>
- Klofstad, C. a., Anderson, R. C., & Peters, S. (2012). Sounds like a winner: voice pitch influences perception of leadership capacity in both men and women. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1738), 2698–2704.
- Lallh, A. K., & Rochet, A. P. (2000). The effect of information on listeners' attitudes toward speakers with voice or resonance disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(3), 782–795.
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764–766.
- Linville, S. E. (1987). Acoustic-perceptual studies of aging voice in women. *Journal of Voice*, 1(1), 44–48. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(87\)80023-1](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(87)80023-1)
- Lortie, C. L., Thibeault, M., Guitton, M. J., & Tremblay, P. (n.d.). Age and cigarette smoking on voice acoustics and voice control mechanisms: a cross-sectional study. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*.
- Lortie, C. L., Thibeault, M., Guitton, M. J., & Tremblay, P. (2015). Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice. *Age*, 37(6), 1–24. <http://doi.org/10.1007/s11357-015-9854-1>
- Markel, N. N., Phillis, J. a, Vargas, R., & Howard, K. (1972). Personality traits associated with voice types. *Journal of Psycholinguistic Research*, 1(3), 249–255. <http://doi.org/10.1007/BF01074441>
- Maryn, Y., Roy, N., De Bodt, M., Van Cauwenberge, P., & Corthals, P. (2009). Acoustic measurement of overall voice quality: a meta-analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(5), 2619–2634. <http://doi.org/10.1121/1.3224706>
- McAleer, P., Todorov, A., & Belin, P. (2014). How do you say "hello"? Personality impressions from brief novel voices. *PLoS ONE*, 9(3), 1–9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0090779>
- Mulac, A., & Giles, H. (1996). "Your're Only As Old As You Sound": Perceived Vocal Age and Social Meanings. *Health Communication*, 8(3), 199–215. <http://doi.org/10.1207/s15327027hc0803>
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., ... Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(4), 695–9. <http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>

- Oswald, P. A. (1996). The effects of cognitive and affective perspective taking on empathic concern and altruistic helping. *The Journal of Social Psychology*, 136(5), 613–623. <http://doi.org/10.1080/00224545.1996.9714045>
- Pinto, A. G. L., Crespo, A. N., & Mourão, L. F. (2014). Influence of smoking isolated and associated to multifactorial aspects in vocal acoustic parameters. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 80(1), 60–67. <http://doi.org/10.5935/1808-8694.20140013>
- Pittinsky, T., Shih, M., & Ambady, N. (2000). Will a category cue affect you? Category Cues, Positive Stereotypes and Reviewer Recall for Applicants. *Social Psychology of Education*, 4(1), 53–65.
- Plank, C., Schneider, S., Eysholdt, U., Schützenberger, A., & Rosanowski, F. (2011). Voice- and health-related quality of life in the elderly. *Journal of Voice*, 25(3), 265–268. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.11.002>
- Ptacek, P. H., & Sander, E. K. (1966). Age Recognition From Voice. *Journal of Speech, Language, & Hearing Research*, 9(2), 273–277. <http://doi.org/10.1044/jshr.0902.273>
- Richeson, J. A., & Ambady, N. (2001). Who's in charge? Effects of situational roles on automatic gender bias. *Sex Roles*, 44(9–10), 493–512.
- Ryan, E. B., & Capadano, H. L. (1978). Age perceptions and evaluative reactions toward adult speakers. *Journal of Gerontology*, 33(1), 98–102.
- Ryan, E. B., Giles, H., Bartolucci, G., & Henwood, K. (1986). Psycholinguistic and social psychological components of communication by and with the elderly. *Language & Communication*, 6(1–2), 1–24. [http://doi.org/10.1016/0271-5309\(86\)90002-9](http://doi.org/10.1016/0271-5309(86)90002-9)
- Ryan, E. B., & Johnston, D. G. (1987). The Influence of Communication Effectiveness on Evaluations of Younger and Older Adult Speakers. *Journal of Gerontology*, 42(2), 163–164.
- Ryan, E. B., & Laurie, S. (1990). Evaluations of older and younger adult speakers: influence of communication effectiveness and noise. *Psychology and Aging*, 5(4), 514–519. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.5.4.514>
- Ryan, W. J., & Burk, K. W. (1974). Perceptual and acoustic correlates of aging in the speech of males. *Journal of Communication Disorders*, 7(2), 181–192. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(74\)90030-6](http://doi.org/10.1016/0021-9924(74)90030-6)
- Scherer, K. R. (1995). Expression of emotion in voice and music. *Journal of Voice*, 9(3), 235–248. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(95\)80231-0](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(95)80231-0)
- Schvartz, K. C., & Chatterjee, M. (2012). Gender identification in younger and older adults: use of spectral and temporal cues in noise-vocoded speech. *Ear and Hearing*, 33(3), 411–420. <http://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31823d78dc>
- Shipp, T., & Hollien, H. (1969a). Perception of the aging male voice. *Journal of Speech and Hearing Research*, 12(4), 703–710. <http://doi.org/10.1044/jshr.1204.703>
- Shipp, T., & Hollien, H. (1969b). Perception of the aging male voice. *Journal of Speech and Hearing Research*, 12, 703–710.
- Stach, B. A. (2010). Clinical audiology: an introduction (Delmar). NY: Clifton Park.
- Vincent, I., & Gilbert, H. R. (2012). The effects of cigarette smoking on the female voice. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 37(1), 22–32. <http://doi.org/10.3109/14015439.2011.638673>
- Zebrowitz, L. A., & Montepare, J. M. (2008). Social Psychological Face Perception: Why Appearance Matters. *Social and Personality Psychology Compass*, 2(3), 1497.
- Zuckerman, M., & Driver, R. E. (1989). What sounds beautiful is good: The vocal attractiveness stereotype. *Journal of Nonverbal Behavior*, 13(2), 67–82. <http://doi.org/10.1007/BF00990791>

9. Supplementary material

1. Voice evaluation items

1.1. Auditory-perceptual block

- To what extent does this voice suffers from a trouble?
(Selon vous, cette voix est-elle atteinte d'un trouble?)
- To what extend is this voice rough?
(Selon vous, cette voix est-elle rauque?)
- To what extend is this voice tense?
(Selon vous, cette voix est-elle tendue sous l'effort?)
- Is this voice too high pitched?
(Selon vous, cette voix est-elle trop aigue?)
- Is this voice too low pitched?
(Selon vous, cette voix est-elle trop grave?)
- To what extend do you hear the person breath in the voice?
(À quel point entendez-vous le souffle de la personne dans la voix?)

1= Not at all, 2= A little, 3= Moderately, 4= A lot, 5= Extremely

1.2. Identification block

- How old do you think this person is?
(Selon vous, quel est l'âge de cette personne?)
- 1= 20-29, 2= 30-39, 3=40-49, 4= 50-59, 5= 60-69, 6=70-79, 7=80+
- What sex do you think this person is?
(Selon vous, quel est le sexe de cette personne?)
- 1= Male, 2=Female

1.3. Social potential block

- Is this voice warm?
(Selon vous, cette voix est-elle chaleureuse?)
- 1 = Very cool, 2 = A little cool, 3 = Neutral, 4 = A little warm, 5 = Very warm

- Is this voice agreeable?

(Selon vous, cette voix est-elle agréable?)

1 = Very irritating, 2 = A little irritating, 3 = Neutral, 4 = A little agreeable, 5 = Very agreeable

- Is this voice easy to understand?

(Selon vous, cette voix est-elle facile à comprendre?)

1 = Very difficult, 2 = A little difficult, 3 = Neutral, 4 = A little easy, 5 = Very easy

- Is the speech tempo adequate?

(Selon vous, la vitesse est-elle adéquate?)

1 = Very slow, 2 = A little slow, 3 = Neutral, 4 = A little fast, 5 = Very fast

Do you think it would be easy to work with this person?

(Croyez-vous qu'il serait facile de travailler avec cette personne?)

1 = Very difficult, 2 = A little difficult, 3 = Neutral, 4 = A little easy, 5 = Very easy

- Is this voice cheerful?

(Selon vous, cette voix est-elle enjouée?)

1 = Very dull, 2 = A little dull, 3 = Neutral, 4 = A little cheerful, 5 = Very cheerful

- Is this voice confident?

(Selon vous, cette voix est-elle hésitante?)

1 = Very hesitant, 2 = A little hesitant, 3 = Neutral, 4 = A little confident, 5 = Very confident

- Do you think it would be agreeable to have a conversation with this person?

(Croyez-vous qu'une conversation avec cette personne serait agréable?)

1 = Very irritating, 2 = A little irritating, 3 = Neutral, 4 = A little agreeable, 5 = Very agreeable

2. Voice analysis

Talkers	Young women		Older women		Young men		Older men	
	Our data Mean(SD)	Normative data Mean(SD)	Our data Mean(SD)	Normative data Mean(SD)	Our data Mean(SD)	Normative data Mean(SD)	Our data Mean(SD)	Normative data ¹¹ Mean(SD)
Mean age	33.8	18.9	60.2	71.1	34.2	19.4	60.3	73.3
Age range	19-47	18-27	51-68	63-82	20-48	18-28	51-75	65-86
Voice fundamental frequency (sustained /a/, Hertz)	187 (25)	251 (28)	172 (31)	211 (42)	102 (13)	128 (21)	108 (21)	127 (27)
Voice relative jitter (%)	0.005 (0.002)	0.37 (0.25)	0.005 (0.001)	0.47 (0.34)	0.005 (0.001)	0.38 (0.13)	0.007 (0.004)	0.48 (0.2)
Voice shimmer (dB)	0.04 (0.01)	0.21 (0.12)	0.04 (0.02)	0.25 (0.16)	0.04 (0.02)	0.24 (0.09)	0.06 (0.03)	0.37 (0.19)
Speech fundamental frequency (Hertz)	200 (20)	208 (19)	188 (38)	174 (22)	112 (12)	118 (17)	116 (23)	116 (16)

¹¹ (Goy et al., 2013) Normative data are indicated for controlled voice amplitude at 75dB SPL, which explains the lower voice f0 data observed here.

9 Discussion générale

Dans ce dernier chapitre, les résultats principaux de la thèse seront présentés et discutés de manière plus approfondie. Par la suite, la pertinence et les retombées de ces contributions ainsi que leur apport théorique seront présentés. Finalement, des perspectives de recherche complémentaires seront présentées. Plutôt que procéder en suivant la structure des études présentées précédemment, les sections suivantes seront divisées selon les trois résultats déterminants de cette thèse. Cette manière de procéder permettra d'intégrer les résultats des différentes études réalisées au cours de cette thèse et de mettre en exergue les avancées qui en résultent. Ces avancées sont : (1) le maintien du contrôle fonctionnel de l'amplitude et de la fréquence de la voix dans le vieillissement normal, (2) l'effet modérateur positif (chant) ou négatif (tabagisme) des habitudes de vie sur la phonation, et (3) l'impact distinct des facteurs propres au locuteur et à l'évaluateur sur l'évaluation de la voix, résultat majeur et novateur de cette thèse (**Figure 41**).

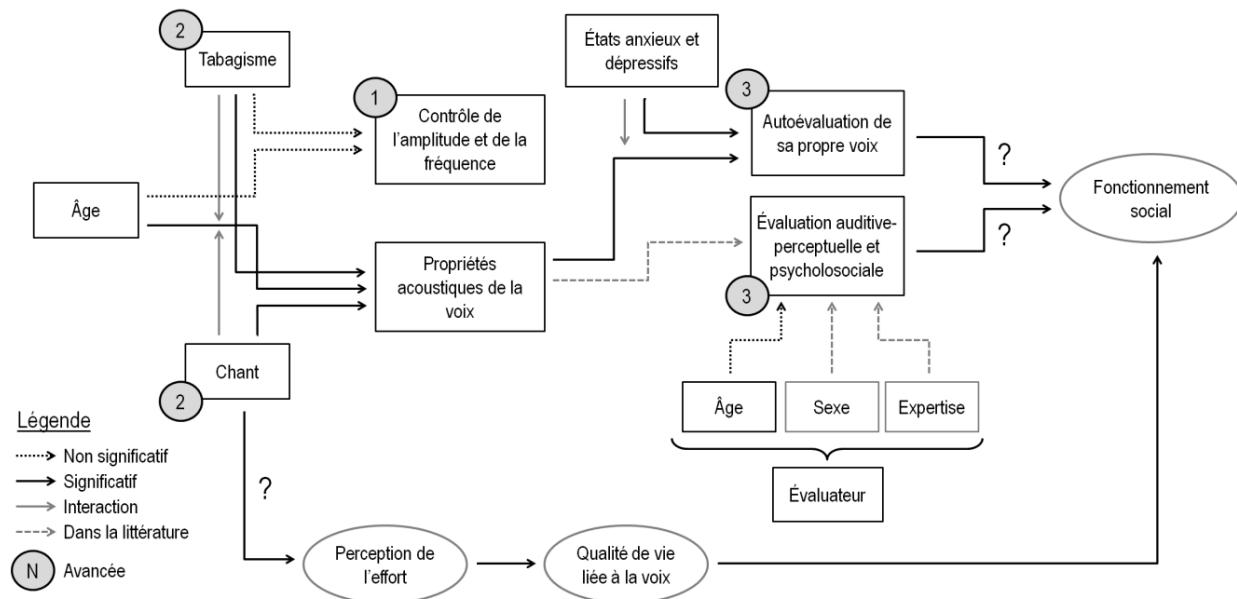


Figure 41. Représentation des principaux résultats de la thèse. Principaux résultats obtenus lors des études présentées aux Chapitres 5 à 8 de cette thèse. Trois de ces résultats représentent des avancées, et sont numérotés sur le schéma : (1) le maintien du contrôle fonctionnel de l'amplitude et de la fréquence de la voix dans le vieillissement normal, (2) l'effet modérateur positif (chant) ou négatif (tabagisme) des habitudes de vie sur la phonation, et (3) l'impact distinct des facteurs propres au locuteur et à l'évaluateur sur l'évaluation de la voix. La nature des liens qui relient les différents concepts étudiés est indiquée dans la légende. Quelques perspectives de recherche, qui seront présentées dans les sections subséquentes, sont également intégrées au schéma et identifiées avec un point d'interrogation (?).

9.1. Le contrôle fonctionnel de l'amplitude et de la fréquence de la voix dans le vieillissement normal

Les effets du vieillissement sur la capacité fonctionnelle des individus à exercer un contrôle sur l'amplitude et la fréquence de leur voix, malgré son importance potentielle dans la vie quotidienne, ont été peu étudiés. En effet, la plupart des études portant sur les effets du vieillissement sur les mécanismes de contrôle de l'amplitude et de la fréquence de la voix ont examiné les différences entre les capacités phonatoires maximales de jeunes adultes et d'adultes plus âgés, étudiant ainsi les effets du vieillissement sur les limites physiologiques de l'appareil phonatoire (Brown et al., 1993; Morris et al., 1995). Cependant, les individus n'utilisent que très rarement leurs capacités phonatoires maximales dans leur vie quotidienne. L'étude des différences entre la capacité fonctionnelle des jeunes adultes et des adultes plus âgés à produire une voix de différente amplitude et fréquence, ainsi que les propriétés acoustiques de leurs voix à différentes amplitudes et fréquences, prend alors tout son sens (Bier et al., 2014; Mazzetto de Menezes et al., 2014). Nos études ont permis de découvrir que la capacité fonctionnelle à exercer un contrôle sur l'amplitude et la fréquence de la voix, sans toutefois atteindre les limites phonatoires, est préservée dans le vieillissement autant chez les fumeurs que les non-fumeurs, et ce, jusqu'à au moins 75 ans (Chapitres 5 et 7). En effet, bien que l'âge et le tabagisme aient une influence négative importante sur les propriétés acoustiques de la voix, ces facteurs ne compromettent pas la capacité des adultes âgés à produire une voix distinctement faible ou forte en amplitude, et basse ou élevée en fréquence. Les travaux présentés dans cette thèse (Chapitres 5 et 7) sont d'ailleurs les premiers à comparer les propriétés acoustiques de la voix de jeunes adultes et d'adultes âgés à différentes fréquences.

Comme mentionné précédemment, afin d'augmenter l'amplitude de la voix, il est nécessaire d'accroître la compression médiane des plis vocaux et d'augmenter la pression sous-glottique (Isshiki, 1964; Plant & Younger, 2000; Stathopoulos & Sapienza, 1993). Toutefois, il est connu que le vieillissement entraîne une perte d'élasticité des ligaments et une atrophie des muscles laryngés tels que les muscles thyro-aryténoïdiens (Kersing & Jennekens, 2004), laquelle peut mener à une diminution de l'adduction des plis vocaux. Ainsi, le vieillissement normal aurait pu affecter négativement le contrôle fonctionnel de l'amplitude chez les personnes âgées, en particulier, la capacité à produire des voyelles soutenues à une forte amplitude. D'autre part, le contrôle de la fréquence de la voix s'effectue plutôt en étirant et en ajoutant volontairement de la tension aux plis vocaux en utilisant les muscles laryngés (Alipour et al., 2007; Hirano et al., 1969; Ohala, 1972). Néanmoins, le vieillissement entraîne une calcification et une ossification des cartilages du larynx ainsi qu'une perte d'élasticité des ligaments (Pontes et al., 2005, 2006) qui peuvent mener à une réduction de la vibration des plis vocaux, ce qui aurait pu affecter négativement la capacité fonctionnelle des personnes âgées à

contrôler la fréquence de leur voix et à produire une voyelle soutenue à une hauteur similaire à celle de jeunes adultes. Nos résultats montrent cependant que la capacité fonctionnelle des individus à exercer un contrôle important sur l'amplitude et la fréquence de leur voix est préservée dans le vieillissement normal, malgré ces changements physiologiques. Il est possible que les personnes âgées aient utilisé des mécanismes de compensation pour corriger la diminution de l'adduction des plis vocaux et maintenir leur capacité à produire une voix d'une amplitude similaire à celle de jeunes adultes, par exemple en engageant les muscles expiratoires (c'est-à-dire les muscles intercostaux internes et les muscles abdominaux) afin d'accélérer le flux d'air en expiration. Il est également possible que les personnes âgées augmentent leur pression sous-glottique afin de maintenir leur capacité à produire une voix de forte amplitude. En effet, certains auteurs ont observé que les adultes plus âgés opèrent une plus grande expansion de la poitrine et des poumons et font des mouvements abdominaux plus grands que nécessaire lorsqu'ils doivent augmenter l'amplitude de voyelles soutenues (Baker et al., 2001; Huber & Spruill, 2008; Stathopoulos & Sapienza, 1997). Il est possible que les participants de nos études aient ainsi employé des stratégies respiratoires pour produire des sons forts, une stratégie qu'ils utilisent probablement dans la vie de tous les jours. Il serait intéressant dans le futur de mesurer les mouvements du diaphragme durant la production de voyelles afin de tester cette hypothèse, et de mesurer les capacités respiratoires dans les études sur la phonation afin de mieux comprendre les mécanismes compensatoires. De même qu'avec le contrôle de l'amplitude, il est probable que les personnes âgées utilisent la pression sous-glottique en tant que mécanisme de compensation pour maintenir leur habileté à produire une voix de haute fréquence. En effet, l'augmentation de la pression sous-glottique produit également une hausse de la fréquence fondamentale en plus d'une hausse de l'amplitude de la voix (Gramming et al., 1988). L'augmentation compensatoire de la pression sous-glottique pourrait donc permettre aux personnes vieillissantes de maintenir leur contrôle fonctionnel de l'amplitude ainsi que de la fréquence de leur voix.

Des études montrent que, malgré les pertes inhérentes et souvent inévitables associées au vieillissement normal telles que les contraintes fonctionnelles et les problèmes de santé, de nombreux aînés conservent un sentiment de bien-être (Diener, Suh, Lucas, & Smith, 1999; Kunzmann, Little, & Smith, 2000). Ce phénomène est connu sous le terme de « vieillissement réussi » et réfère au processus par lequel les aînés font face aux obstacles croissants du vieillissement en poursuivant leur croissance, leur développement, ainsi que l'atteinte de leurs objectifs personnels (Ryff, 1989). Certains modèles, tels que celui bien connu de Rowe et Kahn (1987, 1997), définissent le vieillissement réussi selon des critères fixes, atteints ou non (par exemple, une faible probabilité de maladie et d'invalidité, un engagement actif et des capacités cognitives et physiques élevées). Le vieillissement réussi a ainsi reçu de multiples définitions plus ou moins restrictives au cours des dernières décennies, et est mesuré selon différentes composantes incluant le fonctionnement cognitif, la

satisfaction envers sa vie, l'engagement social, l'absence de maladie, la longévité, l'autoévaluation de sa santé et la productivité (Depp & Jeste, 2006).

L'une des métathéories les plus connues du développement (« life-span »), le modèle SOC (« Selective Optimization with Compensation », Optimisation Sélective avec Compensation) de Baltes et Baltes (1990), propose que le développement est un processus hétérogène qui emprunte de nombreuses trajectoires différentes et connaît des dénouements variés plutôt qu'une fin en soi. Le modèle SOC a été grandement utilisé pour guider la recherche sur le vieillissement normal et le vieillissement réussi (Grove, Loeb, & Penrod, 2009; Lowry, Vallejo, & Studenski, 2012; Martin et al., 2015). Toujours selon le modèle SOC, on observe d'abord des conditions préalables (par exemple, les ressources internes et externes de la personne). Selon les conditions préalables et ses objectifs, la personne emploie des stratégies de sélection, d'optimisation et de compensation. Ainsi, les personnes sélectionnent les aspects importants de leur vie, optimisent ensuite les ressources et les outils pour faciliter leur succès dans ces domaines, et utilisent des stratégies de compensation afin de s'adapter aux changements biologiques, psychologiques et socioéconomiques qui surviennent tout au long de leur vie (Freund & Riediger, 2001). Finalement, on observe les résultats de ces stratégies, par exemple la maximisation des gains et la minimalisation des pertes, le développement et la croissance personnelle, l'atteinte des objectifs, etc. (Freund & Baltes, 2002).

Malheureusement, la phonation n'est pas incluse dans les modèles de vieillissement existants, et ce, malgré son importance indiscutable sur le plan du fonctionnement social et du bien-être de l'individu. Il est donc particulièrement intéressant de tenter d'inclure la phonation aux modèles de vieillissement afin de guider l'étude des effets du vieillissement sur la voix et de ses différents mécanismes. Bien que n'ayant pas été employé jusqu'à présent pour guider la recherche sur le vieillissement de la voix en particulier, le modèle SOC pourrait être utile afin de comprendre les changements phonatoires survenant dans le vieillissement. En effet, l'augmentation de la pression sous-glottique pourrait être un exemple de stratégie de compensation possiblement utilisée afin de maintenir l'atteinte d'un objectif, ici l'efficacité communicationnelle, en présence d'un facteur de stress, tel que l'affaiblissement, l'ossification et l'augmentation de la rigidité des structures laryngées dans le vieillissement normal, dans un but global de vieillissement réussi et satisfaisant.

Limites

Les grands échantillons des études présentées aux Chapitres 5 et 7, bien que non probabilistes, nous permettent d'avoir confiance dans les résultats observés et les conclusions que nous en avons tirées sur les effets du vieillissement sur la capacité fonctionnelle à contrôler l'amplitude et la fréquence de la voix. Le nombre élevé de participants inclus dans les études présentées aux Chapitres 5 et 7 est une force de cette thèse. L'échantillon de l'étude présentée au Chapitre 5 ($N=80$) comportait un nombre important de participants

dans chacun des trois groupes d'âge (entre 20 et 32 participants) répartis sur une étendue d'âge importante, de 20 à 75 ans. Dans l'étude présentée au Chapitre 7, la présence de 59 participants fumeurs et de 80 participants non-fumeurs divisés en sous-groupes de taille également importante (entre 29 et 50 participants) a permis de constater que le contrôle fonctionnel de l'amplitude et de la fréquence de la voix est préservé dans le vieillissement tant chez les fumeurs que les non-fumeurs. La puissance de ces résultats est grande, comme en témoignent les tailles d'effets mesurées (taille d'effet des ANOVAS : η_p^2 entre 0.04 et 0.88, moyenne de 0.17 ; d de Cohen : entre 0.15 et $d=6.95$, moyenne de 1.34). Puisque le vieillissement est un phénomène multifactoriel et dont les impacts varient énormément d'une personne à l'autre (Rowe & Kahn, 1987, 1997; Sataloff, Rosen, Hawkshaw, & Spiegel, 1997), le vieillissement doit idéalement être étudié en utilisant un grand nombre de participants répartis équitablement sur une étendue d'âge suffisante pour optimiser la validité et la fiabilité des résultats obtenus ainsi que la généralisation potentielle qui pourra en être faite.

Malgré des échantillons relativement grands, les études présentées aux Chapitres 5 et 7 possèdent des limites sur le plan de l'échantillonnage, tels que l'absence de participants âgés de plus de 75 ans et un niveau de scolarité élevé. Nous avons établi la limite supérieure d'âge des participants à 75 ans pour ces études afin de limiter le temps alloué au recrutement de participants. En effet, bien que faisable, il est ardu de recruter en grand nombre des participants âgés de plus de 75 ans en santé et prêts à se déplacer. Ce seuil d'âge représente toutefois une limite, car il nous est impossible de conclure que la capacité fonctionnelle des individus à exercer un contrôle important sur l'amplitude et la fréquence de leur voix est préservée chez les personnes âgées de plus de 75 ans. Puisque de nombreux changements associés au vieillissement normal sont particulièrement saillants chez les adultes âgés de plus de 80 ans (Classon, Fällman, Wressle, & Marcusson, 2016; Daffner et al., 2011; Tucker-Drob, 2011), il serait nécessaire d'étendre l'étude des effets du vieillissement normal sur la voix auprès d'adultes très âgés. Le niveau d'éducation élevé des participants dans les études est également une limite importante. En effet, en plus d'être aptes à se déplacer et de se déclarer en bonne santé physiologique générale, les participants de ces études avaient atteint une scolarité collégiale ou universitaire. Toutefois, seule une proportion de 50% de la population du Québec possède un degré de scolarité collégial (Institut de la statistique du Québec, 2016). Il est possible que le niveau de scolarité soit associé à des modes de vies différents de la population générale pouvant avoir influencé la production de la voix, incluant l'exposition à la pollution, la consommation d'alcool et de tabac et la santé cardio-respiratoire. Des études supplémentaires sont donc nécessaires afin de déterminer si ces résultats sont généralisables à la population du Québec, incluant les individus de statut socio-économique moins élevé.

Finalement, il est également à noter que les études présentées dans les Chapitres 5 et 7 n'apportent pas un éclairage nouveau sur les effets du vieillissement sur les capacités phonatoires maximales des individus,

lesquelles sont assujetties aux limites physiologiques des trois systèmes de la phonation, soit le système respiratoire, le système phonatoire, et le système articulatoire. Ainsi, les résultats présentés ainsi que les conclusions qui en sont tirées sont limités aux capacités fonctionnelles des individus à exercer un contrôle sur l'amplitude et la fréquence de leur voix.

Perspectives futures

Nous avons démontré dans cette thèse que le contrôle fonctionnel de l'amplitude et de la fréquence de la voix est préservé dans le vieillissement normal chez les adultes fumeurs et non-fumeurs, et ce, jusqu'à 75 ans. Toutefois, nous avons étudié les effets du vieillissement sur ces habiletés de contrôle en utilisant une tâche peu écologique de voyelles soutenues. En effet, comme mentionné dans le Chapitre 2, il s'agit d'une tâche qui ressemble peu à une situation réelle puisque les adultes ne communiquent pas entre eux en utilisant des voyelles soutenues dans la vie quotidienne. Bien que les évaluations cliniques de la voix incluent systématiquement des tâches de discours spontané (Roy et al., 2013), les auteurs d'études sur la phonation tardent à inclure des mesures de discours spontané ou à en faire une analyse rigoureuse. Lors d'études futures, il sera important d'étudier les effets de l'âge sur la modulation de la voix en temps réel, afin de déterminer si cette habileté possède une progression différente dans le vieillissement. En effet, il est possible que les personnes âgées puissent produire des voyelles à basse et haute fréquence de façon isolée, mais qu'il leur soit difficile de moduler rapidement la fréquence de leur voix lorsqu'ils parlent, ce que nous n'avons pas examiné. La difficulté à moduler la voix en temps réel pourrait être particulièrement significative pour le maintien d'une communication verbale efficace et du fonctionnement social des personnes âgées. Entre autres, la prosodie s'appuie sur de fines inflexions de l'amplitude et de la fréquence de la voix combinées à la modulation de la durée de la phonation et de l'accentuation, et est essentielle à la différentiation des intentions illocutoires, par exemple (Cutler et al., 1997).

De plus, il serait pertinent d'utiliser différentes composantes du modèle SOC afin de guider les recherches futures sur les effets du vieillissement normal sur la production de la voix. En effet, le modèle SOC stipule que les personnes utilisent des stratégies de sélection, d'optimisation et de compensation en présence de facteurs de stress ou de réduction des ressources afin de maintenir l'atteinte de leurs objectifs (Baltes & Baltes, 1990), ici représentés par le maintien d'une communication efficace. Nous avons précédemment abordé l'utilisation possible de stratégies de compensation, bien que cela demeure à être démontré. Il est également possible que les personnes âgées modifient leurs habitudes de communication (s'abstenir de communiquer par téléphone) ou se soustraient à certaines situations (fuir les restaurants et autres environnements bruyants) afin d'éviter de devoir hausser la voix, par exemple. L'utilisation de stratégies de préservation de la voix et la

modification des objectifs de communication n'ont pas été étudiées dans le vieillissement normal jusqu'à présent et demeurent à être découvertes.

9.2. L'effet des habitudes de vie sur la phonation dans le vieillissement

L'influence de différentes habitudes de vie sur la relation entre le vieillissement normal et la production de la voix a été peu étudiée malgré sa pertinence. En effet, la façon dont les adultes vieillissent dépend fortement de la génétique, de la présence de maladies, de l'environnement, mais également des habitudes de vie (Naumanen, 2006). Ainsi, l'impact du vieillissement normal sur la phonation ne peut s'étudier de façon désincarnée et doit s'insérer dans le cadre global du fonctionnement de la personne et de ses habitudes de vie. Nos études ont permis de détecter que le vieillissement de la voix a une progression variable selon les habitudes de vie de l'individu.

Tabagisme

Nos travaux ont permis de démontrer que le tabagisme module de façon négative l'effet du vieillissement sur de nombreuses propriétés acoustiques de la voix. Spécifiquement, nous avons démontré que certains effets négatifs connus du vieillissement sur la production de la voix étaient amplifiés chez les adultes fumeurs, entre autres la stabilité de la voix (Chapitre 7). En effet, la diminution de la stabilité de la voix associée au vieillissement normal était accrue chez les adultes fumeurs. Nous avons également observé une amplitude de la voix plus faible chez les adultes fumeurs que non-fumeurs, tant lors de la production d'une voyelle soutenue qu'en discours spontané, et démontré que cet effet s'accentue également avec l'âge (Chapitre 7). Puisque le maintien d'une amplitude vocale suffisante fait partie intégrante d'une communication optimale, il est important d'identifier les facteurs, tels que le tabagisme, qui pourraient réduire cette capacité chez les personnes âgées. Le tabagisme entraîne de nombreux changements physiologiques délétères sur les structures laryngées, incluant un œdème et un épaississement des plis vocaux (Auerbach et al., 1970; Hirabayashi et al., 1990). En plus d'abaisser la fréquence fondamentale de la voix, il est possible que ces changements aggravent les effets du vieillissement sur la production de la voix. En effet, l'inflammation et le gonflement des plis vocaux induits par la consommation régulière de cigarettes pourraient restreindre leur vibration naturelle et causer une diminution de stabilité de la fréquence fondamentale et de l'amplitude de la voix. Les conséquences du tabagisme sur les structures laryngées pourraient donc s'additionner et agir en synergie avec ceux déjà établis de l'avancement en âge, et ainsi expliquer pourquoi les effets négatifs du vieillissement sur la stabilité de la voix sont amplifiés chez les adultes fumeurs. De plus, nous avons également découvert que le tabagisme est associé à plus faible amplitude de la voix dans tous les contextes de phonation étudiés, effet qui s'accentue

aussi avec l'âge. Le gonflement causé par l'inflammation des plis vocaux (Ryan et al., 1955) pourrait limiter la fermeture complète de la glotte et ainsi restreindre la capacité des fumeurs à éléver leur pression sous-glottique. Cette restriction de pression sous-glottique limiterait donc l'amplitude de la voix des adultes fumeurs. Comme nous l'avons suggéré précédemment, il est possible que les personnes âgées dépendent de leur capacité à moduler leur pression sous-glottique pour moduler l'amplitude de leur voix. Ainsi, l'effet du tabagisme sur la pression sous-glottique serait plus grand pour les personnes âgées, expliquant alors pourquoi la faiblesse de l'amplitude de la voix est particulièrement marquée chez les personnes âgées fumeuses.

Chant

Nous avons également démontré que l'exercice fréquent du chant module les effets du vieillissement sur les propriétés acoustiques de la voix (Chapitre 6). Il est connu que le vieillissement normal est associé à une diminution de la stabilité de la voix, tel que démontré par quelques études antérieures (Dehqan et al., 2012; Goy et al., 2013; Xue & Deliyski, 2001) et corroboré par nos résultats présentés aux Chapitres 5, 6 et 7. Cependant, nous avons observé que la stabilité de la fréquence fondamentale et de l'amplitude des adultes âgés chantant de façon régulière se comparait avantageusement à la stabilité de la voix de jeunes adultes qui ne pratiquent pas le chant, et même qu'elle différait peu de la stabilité de la voix de jeunes adultes chantant également de façon régulière (Chapitre 6). Ces résultats suggèrent que la voix des adultes s'exerçant au chant régulièrement demeure plus stable dans le vieillissement que la voix des personnes qui ne chantent pas, et de façon générale, que le chant a un effet positif sur la production de la voix dans le vieillissement.

Comme mentionné précédemment, le vieillissement normal s'accompagne de nombreux changements physiologiques qui occasionnent une dégradation du signal vocal reflétée par une diminution naturelle de la stabilité de la fréquence fondamentale et de l'amplitude de la voix avec l'âge (Dehqan et al., 2012; Goy et al., 2013; Xue & Deliyski, 2001). L'effet positif du chant sur la production de la voix dans le vieillissement pourrait résulter d'un effet physiologique favorable du chant sur les plis vocaux et des structures laryngées. Ainsi, il est possible que l'exercice du chant, qui représente une forme d'entraînement musculaire, contribue à maintenir la force musculaire et à retarder l'atrophie des muscles du larynx qui survient habituellement dans le vieillissement normal. L'effet positif de l'entraînement musculaire sur le maintien des fonctions physiologiques dans le vieillissement a été démontré dans de nombreux domaines. En effet, plusieurs auteurs ont observé que les adultes âgés qui s'astreignent à un entraînement musculaire régulier ont une masse et une performance musculaires significativement supérieures aux adultes sédentaires du même âge, ce qui suggère que l'exercice régulier permet de retarder et de réduire les changements physiologiques et fonctionnels associés au vieillissement normal (Klitgaard et al., 1990; Sipilä & Suominen, 1993; Sipilä, Viitasalo, Era, &

Suominen, 1991). Puisque l'atrophie musculaire est en partie responsable de la diminution du contrôle laryngé et par conséquent de la stabilité de la voix (Kersing & Jennekens, 2004), le maintien de la force et de la masse des muscles du larynx pourrait ainsi préserver les adultes qui s'exercent au chant de façon régulière de la hausse d'instabilité de la voix associée au vieillissement normal. De plus, la force générée par un mouvement particulier est également déterminée par l'efficacité de la coordination musculaire. D'ailleurs, quelques études ont démontré que l'entraînement musculaire occasionne une adaptation neuronale qui contribue à accroître la force déployée en augmentant l'efficacité de la coordination musculaire (Carolan & Cafarelli, 1992; Häkkinen, Alen, Kallinen, Newton, & Kraemer, 2000). Cette adaptation neuronale prend plusieurs formes, telles qu'une amélioration de l'efficacité synaptique des motoneurones par une meilleure synchronisation des unités motrices (Milner-Brown & Lee, 1975) et un apprentissage moteur favorisé par la plasticité du cortex moteur et la connectivité entre les aires motrices (Jenkins, Brooks, Nixon, Frackowiak, & Passingham, 1994; Karni et al., 1995; Petersen, van Mier, Fiez, & Raichle, 1998), de même qu'une meilleure représentation de l'appareil vocal chez les chanteurs (Kleber, Birbaumer, Veit, Trevorow, & Lotze, 2007) [pour une revue, voir Herholz et Zatorre (2012)]. Il est donc possible que l'effet positif du chant sur la production de la voix dans le vieillissement résulte de l'entraînement régulier de la commande neuromotrice impliquée dans le contrôle laryngé. Les mécanismes exacts par lesquels l'exercice du chant module les effets du vieillissement sur la production de la voix demeurent toutefois à être démontrés.

Il est important toutefois de distinguer l'exercice du chant sain, qui se compare à une routine d'activité physique régulière, de la surutilisation de la voix qui se rapproche plutôt du surentraînement et qui s'accompagne d'effets négatifs. En effet, contrairement à l'idée populaire qu'un grand usage d'une habileté ou d'une capacité du corps humain mène à l'expertise et n'a pas d'effet délétère, il a été largement démontré lors d'études précédentes que de nombreux professionnels de la voix, comme les acteurs et les acteurs de théâtre, ne retirent pas de bénéfices de leur grande utilisation de leur appareil vocal, mais souffrent plutôt de dysphonie, d'hyperfonction laryngée et rapportent régulièrement des plaintes vocales (D'haeseleer et al., 2016; Lerner, Paskhover, Acton, & Young, 2013; Livingstone et al., 2014). Dans ce contexte, il devient intéressant de déterminer la fréquence et la durée idéales des séances d'utilisation de l'appareil vocal, ce qui n'a malheureusement pas été possible dans le cadre de l'étude présentée au Chapitre 6 de cette thèse.

De façon globale, l'identification des habitudes de vie qui ont un effet positif ou négatif sur le fonctionnement du corps humain peut avoir des retombées positives. Par exemple, nos résultats appuient l'idée que le vieillissement de la voix a une progression variable selon les habitudes de vie. Ainsi, le déclin de certaines fonctions dans le vieillissement n'est pas inexorable et peut au contraire être évité, ou du moins retardé, grâce à l'adoption de certaines habitudes de vie. Nos résultats permettront d'informer les acteurs du réseau de la santé qui pourront utiliser cette information afin de promouvoir de saines habitudes de vies dans la population

selon leurs effets sur la santé phonatoire. Il serait également intéressant d'examiner si l'exercice du chant a un effet positif sur la voix des adultes fumeurs, et permet de diminuer les effets délétères du tabagisme sur la production de la voix dans le vieillissement chez les fumeurs âgés. Ces résultats sont aussi pertinents dans une perspective de diagnostic différentiel pour la population âgée, car ils pourraient permettre d'établir des normes spécifiques selon les habitudes de vie. En effet, il serait avantageux de moduler les seuils utilisés pour détecter les pathologies de la voix en fonction de l'exercice de chant et du tabagisme des personnes afin d'augmenter leur spécificité. Par exemple, une plus grande instabilité de la voix que la normale n'a pas la même signification pour une personne âgée fumeuse ou non fumeuse; alors qu'elle peut être bénigne pour l'une, elle pourrait être indicative d'un trouble de la voix pour l'autre.

La promotion du chant pour ses effets positifs sur la production de la voix pourrait avoir d'autres retombées cliniques prometteuses qui vont au-delà des résultats présentés au Chapitre 6 recueillis auprès d'un groupe de chanteurs. En effet, l'exercice du chant induit deux changements pertinents pour le milieu clinique, c'est-à-dire la diminution des tensions laryngées et la réduction du stress de façon globale chez le chanteur, qui pourraient être bénéfiques dans le cadre de certains troubles de la voix. Des études ont révélé que le chant classique favorise l'élargissement des lèvres et du pharynx et l'ouverture de la mâchoire (Echternach et al., 2010, 2014) alors que le chant *Bel Canto* favorise la réduction de la tension laryngée (McHenry et al., 2016). De plus, le chant chorale entraîne une réduction des taux salivaires de cortisol (une hormone associée au stress émotionnel) (Beck et al., 2000) ainsi qu'une amélioration de la qualité de vie autorapportée (Lord et al., 2012). Ainsi, les troubles fonctionnels de la voix pourraient particulièrement bénéficier des apports de la thérapie musicale. Les troubles fonctionnels de la voix regroupent différentes perturbations de la voix, telles que l'aphonie ou la dysphonie, qui ne sont pas d'origine organique ou dont la cause organique est considérée secondaire au problème fonctionnel (Baker, 2008; Van Houtte, Van Lierde, & Claeys, 2011). Parmi ces troubles, on retrouve l'hyperfonction vocale, qui se caractérise par une tension élevée des muscles laryngés contrignant les mouvements du larynx. Certains auteurs ont suggéré que ces symptômes de tension surviennent à la suite d'une suractivation des systèmes nerveux sympathique et parasympathique chez des personnes excessivement stressées et anxieuses (Baker, 2008; Nichol, Morrison, & Rammage, 1993). Plusieurs techniques sont actuellement utilisées pour traiter l'hyperfonction vocale, telles que les bâillements, des exercices vocaux et les manipulations physiques du larynx (Guzman, Castro, Testart, Munoz, & Gerhard, 2013). Cependant, les exercices vocaux sont parfois fastidieux à réaliser et peu divertissants, alors que les manipulations physiques du larynx sont relativement invasives. Ainsi, puisque le chant possède la capacité de réduire les tensions laryngées ainsi que d'abaisser le stress de façon globale, l'exercice du chant pourrait représenter une option ludique et non invasive pour le traitement de l'hyperfonction vocale.

Limites

L'étude présentée au Chapitre 6, préliminaire et exploratoire par nature, possède quelques limites importantes, dont le nombre restreint de participants pratiquant le chant (33 participants répartis dans trois groupes d'âge). Considérant cette taille d'échantillon limité et l'hétérogénéité de leurs habitudes de chant, il nous fut impossible de contrôler, en plus de la fréquence des séances de chant, l'influence d'autres variables possiblement confondantes telles que la formation de chant reçue ainsi que le style de chant pratiqué. Bien qu'aucune différence acoustique et perceptuelle ne soit observée entre de jeunes adultes pratiquant des styles de chant différents (populaire versus rock) lors d'une étude précédente (Guzman, Barros, et al., 2013), il serait important d'examiner si l'exercice du chant modère les effets du vieillissement sur la production de la voix en fonction du style de chant pratiqué. De plus, une description détaillée des habitudes de chant des participants aurait pu préciser davantage l'effet du chant sur le vieillissement de la voix. Par exemple, connaître la durée en minutes de chaque séance de chant et le nombre de séances de chant par semaine pourrait révéler ce qui est le plus bénéfique entre de longues séances moins fréquentes ou de brèves, mais fréquentes séances de chant. Cela nous était impossible avec cet échantillon limité, qui s'explique par une difficulté de recruter des chanteurs réguliers appartenant aux différents groupes d'âge et particulièrement des chanteurs âgés de 66 à 93 ans, mais également par les contraintes de temps inhérentes à un travail doctoral. De plus, l'utilisation d'un devis expérimental transversal représente sans contredit une limite des études présentées aux Chapitres 6 et 7, car il ne permet pas d'exclure certains facteurs confondants, tels que les différences de trajectoires individuelles dans le vieillissement, qui auraient pu contribuer à expliquer une partie des résultats obtenus. Dans ce contexte, il n'est pas possible d'inférer de relation causale entre les variables étudiées. L'utilisation d'un devis longitudinal est incontournable pour pallier à ces limites.

Néanmoins, l'échantillon de l'étude présentée au Chapitre 6 comportait un nombre appréciable de participants ($N=72$) répartis sur une grande étendue d'âge, de 20 à 93 ans, et divisés en trois groupes d'âge composés de 20 à 26 participants chacun. Puisque les participants de cette étude ont été recrutés selon un échantillonnage continu de l'âge (plutôt que par strates), il a été possible d'effectuer une analyse de modération entre les propriétés acoustiques de la voix et l'âge selon la fréquence de l'exercice du chant, qui a révélé que l'exercice occasionnel et l'exercice fréquent du chant n'ont pas le même impact sur la relation entre le vieillissement normal et la production de la voix. De plus, d'importantes tailles d'effets ont été mesurées lors des études présentées au Chapitre 6 (taille d'effet des ANOVAS : η_p^2 entre 0.29 et 0.56, moyenne de 0.43 ; d de Cohen : entre 1 et $d=2.8$, moyenne de 1.73) et au Chapitre 7 (η_p^2 entre 0.04 et 0.88, moyenne de 0.17 ; d de Cohen entre 0.15 et 6.95, moyenne de 1.34). Ces tailles d'effets sont d'autant plus révélatrices puisqu'obtenues chez des groupes de participants de taille moyenne. La puissance des effets observés lors des études présentées aux Chapitres 6 et 7 nous permet donc d'avoir confiance dans les résultats constatés et les conclusions que

nous en avons tirées sur la progression variable du vieillissement de la voix selon le tabagisme et l'exercice du chant des individus.

Nos travaux ont également démontré que l'influence de différentes habitudes de vie sur la relation entre le vieillissement normal et la production de la voix est avérée tant en voyelle soutenue qu'en lecture d'un texte standardisé et qu'en production d'un discours spontané, ce qui est une force de cette thèse (Chapitres 6 et 7). En effet, il est connu que le choix de la tâche de production de la voix affecte les propriétés acoustiques de celle-ci (Hollien, 1987; Sapienza & Stathopoulos, 1995; Winkworth et al., 1994; Zraick et al., 2004; Zraick, Wendel, et al., 2005). On sait également que le discours continu est plus représentatif des configurations multiples que prend le larynx dans les situations réelles de la vie et de l'étendue des capacités vocales du locuteur (Fourcin, 2009; Fourcin & Abberton, 2008). L'inclusion de plusieurs tâches expérimentales dans nos différentes analyses portant sur la modulation de la relation entre le vieillissement normal et la production de la voix par le chant et le tabagisme permet ainsi d'augmenter la validité des résultats obtenus et d'accroître leur généralisation à l'ensemble des situations de production de la voix.

Perspectives futures

Nos résultats portant sur l'influence de différentes habitudes de vie sur la relation entre le vieillissement normal et la production de la voix ont amené quelques perspectives de recherche intéressantes. Tout d'abord, la métathéorie connue sous le nom de modèle SOC, introduite précédemment (Baltes & Baltes, 1990), décrit les processus par lesquels les personnes réagissent aux multiples situations et changements qui surviennent au cours de leur développement. Par contre, cette métathéorie n'aborde pas les stratégies que les personnes pourraient employer par anticipation, afin d'éviter ces complications futures. Kahaha et Kahana ont donc introduit l'idée que les personnes n'appliquent pas seulement des actions correctives afin de faire face aux événements stressants, mais peuvent également entreprendre des actions préventives dans le but de retarder l'occurrence de ces événements stressants ou d'en minimiser les impacts (Kahana & Kahana, 1996, 2001). Aspinwall et Taylor (1997) ont nommé ce processus psychologique « adaptation proactive » (« proactive coping »), qui réfère aux efforts que les personnes déploient tout au long de leur vie pour prévenir l'apparition de pertes potentielles ou d'autres facteurs de stress ainsi que minimiser leurs conséquences. Bien que l'adaptation proactive ne soit pas historiquement intégrée aux modèles de vieillissement, Ouwehand et ses collaborateurs (2007) ont proposé que l'adaptation proactive puisse représenter une stratégie utile au vieillissement réussi. En effet, toute stratégie mise en place avant l'apparition des changements négatifs qui accompagnent le vieillissement normal et qui favorise le maintien de l'atteinte des objectifs personnels aurait comme avantage de promouvoir le vieillissement réussi. De ce fait, l'exercice du chant pourrait représenter un exemple pertinent d'adaptation proactive afin de favoriser le vieillissement réussi. En effet, puisque l'exercice

du chant semble avoir des effets positifs sur la production de la voix, le chant pourrait être employé en tant qu'adaptation proactive afin d'éviter ou d'amoindrir la diminution de la stabilité de la voix associée au vieillissement normal avant que celle-ci ne survienne. Le principe de l'adaptation proactive a déjà été utilisé pour guider la recherche sur le vieillissement réussi dans plusieurs autres domaines. Par exemple, certaines habitudes de vie telles que l'activité physique régulière et l'entraînement cognitif sont utilisées afin d'atténuer ou de retarder les impacts négatifs de l'âge sur le corps, les fonctions cognitives et le fonctionnement cérébral (Bherer, 2015; Bherer et al., 2013; Langlois et al., 2013). Dans certains cas, l'entraînement permet d'observer, chez des adultes âgés, des performances comparables à celles de jeunes adultes (Klitgaard et al., 1990), démontrant ainsi le potentiel de l'adaptation proactive. En somme, l'exercice du chant en tant que stratégie d'adaptation proactive pourrait éventuellement retarder ou diminuer les effets néfastes du vieillissement sur la production de la voix à l'instar d'autres types d'entraînements dont le succès n'est plus à démontrer. Ainsi, l'exercice du chant, puisqu'il est exempt d'effets néfastes lorsqu'effectué sous supervision, pourrait être encouragé chez les adultes vieillissants et même enseigné à large échelle dans la population, faisant partie d'une hygiène de vie favorisant le vieillissement réussi au même titre que d'autres habitudes de vie bénéfiques. Bien que ces conclusions s'appuient sur les résultats d'une étude exploratoire et méritent d'être vérifiées lors de travaux futurs, le potentiel thérapeutique et les retombées d'une telle possibilité seraient certainement intéressants.

L'exercice du chant pourrait également avoir des impacts fonctionnels, qui demeurent à être explorés. En effet, Ziegler et ses collaborateurs ont proposé un modèle par lequel la thérapie vocale entraîne des changements phonatoires et respiratoires mesurables qui réduisent la perception de l'effort à déployer, laquelle a un impact positif sur la qualité de vie liée à la voix (Ziegler, Verdolini Abbott, Johns, Klein, & Hapner, 2013). Ces auteurs ont effectué une étude à l'intérieur de leur modèle qui compare les issues de deux thérapies vocales différentes chez des patients presbyphoniques, les « Vocal Function Exercise » définis au Chapitre 2 de cette thèse et un entraînement de résistance vocale nommé PhoRTE (Ziegler & Hapner, 2013) adapté du bien connu Lee Silverman Voice Treatment (LSVT) (Ramig, Countryman, O'Brien, Hoehn, & Thompson, 1996; Smith, Ramig, Dromey, Perez, & Samandari, 1995). Leurs résultats suggèrent que la thérapie vocale PhoRTE réduit de façon significative la perception de l'effort. Il serait donc pertinent de développer une étude à partir de ce modèle afin de vérifier si les changements phonatoires et respiratoires causés par l'exercice du chant, à l'instar de la thérapie vocale, peuvent réduire la perception de l'effort ainsi qu'améliorer la qualité de vie liée à la voix.

En somme, l'étude de l'impact du vieillissement normal sur la phonation dans le cadre global du fonctionnement de la personne et de ses habitudes de vie a permis de démontrer que le vieillissement de la voix peut emprunter des trajectoires variables selon les habitudes de vie des individus, comme le chant et le

tabagisme. L'identification des habitudes de vie qui ont un effet positif ou négatif sur le fonctionnement du corps humain pourrait avoir des retombées positives sur le vieillissement réussi et la qualité de vie liée à la voix.

9.3. L'impact des facteurs propres au locuteur et à l'évaluateur sur l'évaluation de la voix

L'étude de la production de la voix est, historiquement, essentiellement descriptive. Elle porte sur la description des effets de différents facteurs intrinsèques (vieillissement, troubles de la voix, tabagisme, etc.) sur les propriétés acoustiques de la voix. Il en va de même pour l'examen de l'évaluation de la voix, qui porte sur la description des effets de facteurs extrinsèques au locuteur (âge et sexe de l'évaluateur, son expertise, etc.) et de facteurs intrinsèques sur l'évaluation de la voix. Nous avons tenté de poursuivre le travail amorcé par d'autres auteurs afin de repousser les frontières disciplinaires et de mettre en relation l'autoévaluation de la voix avec ses propriétés acoustiques, mais également avec l'âge et l'état psychologique de la personne (Chapitre 5), ainsi que l'évaluation subjective de la voix avec ses implications fonctionnelles et sociales (Chapitre 8). Ces travaux ont permis d'examiner la perception des différences acoustiques entre locuteurs, selon leur âge et leur statut tabagique, mais plus encore la relation entre la perception et le comportement social. En effet, comme mentionné dans le Chapitre 8, il est possible que l'évaluation de la voix joue un rôle important dans la sélection du comportement social et influence les relations interpersonnelles (Ambady et al., 2006; Pittinsky, Shih, & Ambady, 2000; Zuckerman & Driver, 1989). De plus, une évaluation négative pourrait avoir des conséquences sociales particulièrement importantes pour les personnes âgées, puisque les relations sociales positives sont un aspect important du vieillissement réussi (Steverink, Westerhof, Bode, & Dittmann-Kohli, 2001). Malgré tout, l'importance des répercussions d'une évaluation négative sur le fonctionnement social des aînés demeure largement inconnue.

L'étude de l'influence des facteurs propres au locuteur et à l'évaluateur sur l'évaluation auditive-perceptuelle et psychosociale de la voix (Chapitre 8) a permis de démontrer que l'âge de l'évaluateur a une influence sur l'évaluation de la voix, mais que l'influence des facteurs propres au locuteur tels que son âge, son statut tabagique et son sexe est plus grande encore. Néanmoins, le vieillissement réussi ne se définit pas exclusivement par ses composantes objectives (par exemple, les propriétés acoustiques de la voix dans le contexte de la phonation). Certains auteurs ont donc suggéré que le vieillissement réussi doit également inclure une facette subjective aux composantes objectives, c'est-à-dire l'autoévaluation du vieillissement (Pruchno, Wilson-Genderson, & Cartwright, 2010). Cette composante vise à évaluer la perception des adultes quant à leur expérience de vieillissement et leur satisfaction par rapport à leur vie (Pruchno et al., 2010). Il serait pertinent d'intégrer les études du vieillissement de la voix à ce cadre, et ainsi mettre en relation les

changements acoustiques mesurés et les changements perçus par un évaluateur externe (composantes objectives) et l'autoévaluation de la voix (composante subjective). En effet, l'autoévaluation de la voix permet d'évaluer la perception quant à l'expérience de vieillissement de la voix et la satisfaction par rapport à la voix, et d'ainsi de placer la personne au centre de l'étude des effets du vieillissement normal sur la phonation. Les approches centrées sur la personne sont d'ailleurs de plus en plus pertinentes en réadaptation et recommandées par « l'International Classification of Functioning, Disability and Health » de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2016). Nous avons donc porté un regard sur l'autoévaluation de la voix dans le vieillissement normal en tant que composante subjective du vieillissement réussi, et ainsi discerné l'importance des états anxieux et dépressifs sur l'autoévaluation de la qualité vocale, un facteur inexploré à ce jour (Chapitre 5). Plus précisément, les états dépressifs et anxieux chez des adultes normaux et sans diagnostics de troubles de santé mentale sont associés à une augmentation des effets négatifs qu'ont certaines propriétés acoustiques sur l'autoévaluation de leur qualité vocale.

L'influence de l'état psychologique sur les mesures autorapportées a été documentée dans plusieurs autres domaines, incluant les troubles de l'humeur (Corruble, Legrand, Zvenigorowski, Duret, & Guelfi, 1999; de Assis da Silva et al., 2014) et les troubles alimentaires (Stice, Fisher, & Martinez, 2004). Il n'est donc pas étonnant de constater que des facteurs autres que les paramètres acoustiques de la voix, tels que l'état psychologique de l'évaluateur, puissent influencer l'autoévaluation de la voix. Ces résultats ont une retombée clinique importante. En effet, l'autoévaluation de la voix est majoritairement étudiée dans un contexte de pathologie vocale (par exemple, les troubles de la voix et les cancers de la tête et du cou) (Eadie et al., 2013; Roy et al., 2013). Puisque les cancers de la tête et du cou ont un impact délétère sur la production de la voix, les patients qui en souffrent sont régulièrement amenés à compléter des autoévaluations de leur voix. Ces autoévaluations sont notamment utilisées pour évaluer le succès d'une thérapie vocale ou d'une intervention chirurgicale selon la perspective de la personne (Eadie et al., 2013; Van Gogh et al., 2006, 2012). Cependant, ce type de cancer comme bien d'autres est associé à des taux élevés de troubles anxieux et de troubles de l'humeur (Birkhaug, Aarstad, Aarstad, & Olofsson, 2002; Bussian et al., 2010; Danker et al., 2010). Puisque les troubles dépressifs et anxieux sont plus importants et plus sévères que les états sous-cliniques que nous avons observés chez des adultes normaux lors de notre étude présentée au Chapitre 5, ces troubles sont particulièrement à risque de moduler l'interprétation des autoévaluations de la qualité vocale pré- ou post-intervention dans le cas d'un cancer de la tête et du cou. Ainsi, il sera important d'évaluer conjointement les troubles dépressifs et anxieux lorsqu'une autoévaluation de la qualité vocale est effectuée en milieu clinique, et ce, afin d'interpréter le résultat de l'autoévaluation de la voix selon l'état psychologique de la personne. En somme, nos résultats ont révélé que l'autoévaluation de la voix, en tant que composante subjective du vieillissement réussi, est une facette importante des effets du vieillissement sur la production de la voix.

Limites

Le grand échantillon de l'étude présentée au Chapitre 5 ainsi que la puissance des analyses de l'étude présentée au Chapitre 8 nous permettent d'avoir confiance dans les résultats observés et les conclusions que nous en avons tirées à propos de l'influence des facteurs propres au locuteur et à l'évaluateur sur l'évaluation de la voix. Comme mentionné précédemment, le nombre élevé de participants inclus dans l'étude présentée au Chapitre 5 est une force de cette thèse, puisque l'échantillon ($N=80$) comportait un nombre important de participants dans chacun des trois groupes d'âge (entre 20 et 32 participants) répartis sur une étendue d'âge importante, de 20 à 75 ans. L'étude présentée au Chapitre 8 ne possède pas cette force, alors qu'un nombre plus restreint d'adultes ont participé à l'étude ($N=50$). Nous avons limité l'échantillonnage à 50 participants puisque le nombre élevé de mesures allongeait considérablement le temps d'évaluation nécessaire à chaque participant, ainsi que les analyses subséquentes. Étant donné le nombre plus limité de participants, nous avons préféré utiliser un échantillonnage de l'âge discontinu plutôt que continu, c'est-à-dire que seuls des adultes plus jeunes (de 19 à 37 ans) et plus âgés (de 51 à 74 ans) ont participé à cette étude. L'étude présentée au Chapitre 8 est donc la seule à ne pas inclure d'adultes d'âge moyen, de 38 à 50 ans, ce qui nous a cependant permis d'inclure un nombre acceptable de participants dans les groupes sélectionnés (25 participants par groupe) et ainsi augmenter la validité des résultats. La puissance des résultats est sans équivoque, tel qu'en témoignent les tailles d'effets mesurées (taille d'effet des ANOVAS : η_p^2 entre 0.13 et 0.85, moyenne de 0.48 ; d de Cohen : entre 0.24 et $d=1.93$, moyenne de 0.76). Le grand nombre de mesures perceptuelles recueillies lors de l'étude présentée au Chapitre 8 constitue une autre force de la thèse. En effet, cette variété de mesures a permis d'explorer les relations entre les différents facteurs propres au locuteur et à l'évaluateur pouvant influencer l'évaluation de la voix ainsi que l'association entre les mesures perceptuelles et le désir d'interagir avec un locuteur. Nous avons ainsi pu obtenir un portrait large de l'influence de différents facteurs sur l'évaluation de la voix.

Perspectives futures

L'influence des facteurs propres au locuteur sur l'évaluation de la voix pourrait avoir des implications fonctionnelles. En effet, puisque les locuteurs dont la voix semble « âgée » sont perçus comme moins amicaux et sociaux que les locuteurs à la voix plus « jeune », il est possible que l'évaluation négative des locuteurs âgés soit associée à une diminution du désir d'interagir avec eux de la part d'un interlocuteur, ce qui pourrait avoir comme impact de limiter les occasions favorables à la communication des personnes âgées. Bien que la voix d'une personne ne soit qu'une des composantes des interactions sociales, il serait néanmoins pertinent d'identifier les caractéristiques précises qui ont un impact sur les interactions sociales et la participation sociale des locuteurs âgés. En effet, comme nous l'avons mentionné précédemment dans cette

section, les relations sociales positives sont un aspect important du vieillissement réussi. Entre autres, le modèle de Kahn et Rowe suggère qu'une des trois composantes du vieillissement réussi selon ce modèle, l'engagement actif dans sa vie, soit principalement définie par les relations interpersonnelles de la personne vieillissante (Rowe & Kahn, 1997). De plus, entretenir des relations sociales positives pourrait améliorer la satisfaction d'une personne âgée envers sa vie et son expérience de vieillissement, et ainsi avoir une influence positive sur la composante subjective du vieillissement réussi tel que propose le modèle de Pruchno et de ses collaborateurs (Pruchno et al., 2010). Ainsi, il serait pertinent de poursuivre l'analyse des associations entre les propriétés acoustiques, l'autoévaluation et l'évaluation de la voix afin d'identifier les déterminants vocaux qui affectent le désir d'interagir socialement avec une personne âgée et d'en faire des cibles thérapeutiques de premier choix dans une optique de favoriser le vieillissement réussi des personnes âgées.

Par ailleurs, l'étude des facteurs propres au locuteur et à l'évaluateur pouvant influencer l'évaluation auditive-perceptuelle et l'autoévaluation de la voix est un premier pas vers l'étude de l'impact fonctionnel de l'évaluation de la voix dans le vieillissement. Toutefois, afin d'aller au-delà d'une approche descriptive, il sera nécessaire d'examiner les implications fonctionnelles et sociales de l'évaluation de la voix dans un contexte plus naturel et donc plus approprié pour l'identification de ses impacts dans la vie de tous les jours, et ainsi de l'insérer dans un cadre théorique centré sur la personne. Pensons par exemple à un paradigme expérimental où un participant est placé dans un environnement virtuel et où il doit choisir un partenaire pour entretenir une conversation alors qu'il n'entend que la voix des interlocuteurs potentiels. Il serait alors possible d'examiner si l'évaluation de la voix d'un locuteur influence le choix d'un partenaire, mais également si l'évaluation de la voix d'un locuteur est associée à la durée de l'interaction ainsi qu'à la satisfaction du protagoniste par rapport à cette interaction sociale, par exemple. La même tâche pourrait également être appliquée au choix d'un coéquipier pour effectuer une tâche collaborative virtuelle. Ces études permettraient également d'examiner si la valence d'une telle évaluation a une conséquence fonctionnelle distinctive. Un tel paradigme représenterait également une opportunité intéressante de distinguer les caractéristiques qui influencent le plus la préférence envers un interlocuteur plutôt qu'un autre entre les propriétés acoustiques de sa voix, la prosodie utilisée, le contenu du discours en lui-même, etc., et ainsi d'outrepasser les limites actuelles de l'étude de la production et de l'évaluation de la voix. En effet, nous avons déjà démontré lors d'une étude précédente examinant des interactions sociales par écrit que de légères différences dans le choix du vocabulaire et dans la construction de phrases pouvaient avoir des impacts majeurs sur la perception d'un interlocuteur et l'issue d'une interaction sociale (Lortie & Guitton, 2011). L'identification de ces caractéristiques pourrait indiquer des stratégies applicables par les personnes âgées (par exemple, appuyer davantage la prosodie) désirant optimiser leurs interactions sociales.

Toutefois, il semble y avoir un obstacle majeur à l'identification des propriétés acoustiques et des caractéristiques précises qui ont un impact sur l'évaluation de la voix et les interactions sociales. En effet, les études présentées aux Chapitres 5 et 8 ont toutes deux mis en exergue une relation plus étroite entre les facteurs psychosociaux et l'autoévaluation de la voix, et entre les facteurs psychosociaux et le désir d'interagir avec un interlocuteur, qu'entre les propriétés acoustiques de la voix et l'autoévaluation de la voix et le désir d'interagir avec un interlocuteur. En effet, malgré la multiplication des facteurs auditifs-perceptuels (Chapitre 8) et des propriétés acoustiques analysées (Chapitre 5), aucune de ces caractéristiques dites objectives n'a pu être associée aussi fortement à l'évaluation de la voix que les facteurs psychosociaux examinés. Cette découverte importante rend manifeste l'absence de biomarqueurs acoustiques associés aux facteurs psychosociaux importants pour les interactions sociales, par exemple l'agréabilité et la sociabilité perçue d'un interlocuteur. Il semble difficile voir impossible de définir en termes acoustiques une *belle* voix, car les normes acoustiques et les critères esthétiques reconnus ont peu d'utilité hors des seuils pathologiques et de la pratique clinique. Il suffit d'élargir l'analyse de la voix à la chanson populaire pour vite constater l'immense variabilité qui entoure ce qui est reconnu comme étant agréable ou beau dans une voix, sans même considérer l'influence des époques, des tendances et de l'expérience de l'évaluateur. En somme, les résultats des études présentées dans cette thèse démontrent que, si les différences acoustiques associées aux locuteurs sont détectées et entraînent à leur tour un changement de comportement chez l'évaluateur, l'évaluation de la voix dans différents contextes se rapporte davantage aux facteurs psychosociaux perçus qu'à sa qualité acoustique.

9.4. Conclusion

La voix permet d'exprimer nos pensées, nos émotions et nos opinions. Elle est indéniablement une composante centrale de la communication verbale humaine. Tout facteur pouvant altérer la voix et conséquemment l'efficacité de la communication, tel que le vieillissement normal, peut donc avoir des impacts sur la qualité de vie liée à la voix. De plus, les facteurs influençant l'évaluation de la voix pourraient avoir un impact fonctionnel sur le maintien des relations sociales positives de personnes vieillissantes et affecter la satisfaction d'une personne âgée envers sa vie et son expérience de vieillissement. Ainsi, il est nécessaire d'aller au-delà d'une approche descriptive et d'étudier les effets du vieillissement normal sur la production de la voix dans une perspective de vieillissement holistique, en intégrant la phonation aux modèles de vieillissements existants et en étudiant les impacts fonctionnels, sociaux et subjectifs du vieillissement normal sur la production de la voix.

Dans le cadre de cette thèse doctorale, l'étude des effets du vieillissement sur la production et l'évaluation de la voix effectué a permis de faire trois avancées dignes de mention, dont la première est la mise en évidence

que la capacité fonctionnelle des individus à exercer un contrôle sur l'amplitude et la fréquence de leur voix est préservée dans le vieillissement normal. Il est possible que la préservation de ces habiletés favorise le vieillissement réussi des personnes âgées. Nous avons également démontré que le vieillissement de la voix a une progression variable selon les habitudes de vie adoptées par les individus, et que l'exercice du chant pourrait représenter un exemple pertinent d'adaptation proactive pouvant favoriser le vieillissement réussi. Finalement, nous avons poursuivi l'analyse des conséquences fonctionnelles de l'évaluation de la voix et découvert que l'influence des facteurs psychosociaux sur l'autoévaluation de la voix et du désir d'interagir avec un interlocuteur surpassait celle des propriétés acoustiques de la voix et des facteurs auditifs-perceptuels. L'identification des facteurs influençant l'évaluation de la voix dans le vieillissement est importante, puisque ces facteurs pourraient jouer un rôle dans la sélection du comportement social et ainsi affecter les relations interpersonnelles.

Bibliographie

- Abromont, C., & Montalembert, E. de. (2001). *Guide de la théorie de la musique*. (H. Lemoine, Ed.). Paris: Fayard.
- Agency for Healthcare Research and Quality. (2002). *Criteria for determining disability in speech-language disorders*. Rockville, MD.
- Alaswad, B., Toubas, P. L., & Grunow, J. E. (1996). Environmental tobacco smoke exposure and gastroesophageal reflux in infants with apparent life-threatening events. *The Journal of the Oklahoma State Medical Association*, 89(7), 233–237.
- Albert, M. L., Sparks, R. W., & Helm, N. A. (1973). Melodic Intonation Therapy for Aphasia. *Archives of Neurology*, 29(2), 130–131. <http://doi.org/doi:10.1001/archneur.1973.00490260074018>
- Alipour, F., Jaiswal, S., & Finnegan, E. (2007). Aerodynamic and acoustic effects of false vocal folds and epiglottis in excised larynx models. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 116(2), 135–144.
- Allen, P. D., & Eddins, D. A. (2010). Presbycusis phenotypes form a heterogeneous continuum when ordered by degree and configuration of hearing loss. *Hearing Research*, 264(1), 10–20. <http://doi.org/10.1016/j.heares.2010.02.001>
- Altenmuller, E., & Schlaug, G. (2015). Apollo's gift: New aspects of neurologic music therapy. *Progress in Brain Research*, 217, 237–252. <http://doi.org/10.1016/bs.pbr.2014.11.029>
- Alwin, D. F., & McCammon, R. J. (2001). Aging, cohorts, and verbal ability. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 56(3), S151–S161.
- Ambady, N., Krabbenhoft, M. A., & Hogan, D. (2006). The 30-Sec Sale: Using Thin-Slice Judgments to Evaluate Sales Effectiveness. *Journal of Consumer Psychology*, 16(1), 4–13. http://doi.org/10.1207/s15327663jcp1601_2
- Amir, O., Engel, M., Shabtai, E., & Amir, N. (2012). Identification of Children's Gender and Age by Listeners. *Journal of Voice*, 26(3), 313–321. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.06.001>
- Amir, O., & Levine-Yundof, R. (2013). Listeners' Attitude Toward People With Dysphonia. *Journal of Voice*, 27(4), 524.e1-524.e10. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.01.015>
- Anstey, K. J., & Low, L.-F. (2004). Normal cognitive changes in aging. *Australian Family Physician*, 33(10), 783–787.
- Aoyagi, Y., & Shephard, R. J. (1992). Aging and Muscle Function. *Sports Medicine*, 14(6), 376–396.
- Aristotle. (2016). Retrieved March 3, 2016, from <http://www.britannica.com/biography/Aristotle>
- Arnold, G. (1955). Vocal rehabilitation of paralytic dysphonia: II. Acoustic analysis of vocal function. *Archives of Otolaryngology*, 62, 593–601.
- Aronovitch, C. D. (1976). The voice of personality: stereotyped judgments and their relation to voice quality and sex of speaker. *The Journal of Social Psychology*, 99, 207–220. <http://doi.org/10.1080/00224545.1976.9924774>
- ASHA. (2006). *Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V)*. USA.
- Aslam, M., & Vaezi, M. F. (2013). Dysphagia in the elderly. *Gastroenterology and Hepatology*, 9(12), 784–795.
- Aspinwall, L. G., & Taylor, S. E. (1997). A stitch in time: Self-regulation and proactive coping. *Psychological Bulletin*, 121(3), 417–436. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.121.3.417>
- Auerbach, O., Hammond, E. C., & Garfinkel, L. (1970). Histologic changes in the larynx in relation to smoking habits. *Cancer*, 25(1), 92–104. <http://doi.org/10.1002/1097-0142>
- Austin, G. (1806). *Chironomia. Or a treatise on rhetorical delivery*. London: Cadell & Davies.
- Awan, S. N. (1991). Phonetographic profiles and F0-SPL characteristics of untrained versus trained vocal groups. *Journal of Voice*, 5(1), 41–50. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80162-6](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80162-6)
- Awan, S. N. (2006). The aging female voice: acoustic and respiratory data. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 20(2–3), 171–180. <http://doi.org/10.1080/02699200400026918>
- Awan, S. N. (2011). The effect of smoking on the dysphonia severity index in females. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 63(2), 65–71. <http://doi.org/10.1159/000316142>
- Awan, S. N., & Ensslen, A. J. (2010). A comparison of trained and untrained vocalists on the dysphonia

- severity index. *Journal of Voice*, 24(6), 661–666. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.04.001>
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <http://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baken, R. J. (1987). *Clinical measurement of speech and voice* (Second). San Diego: Singular Thomson Learning.
- Baken, R. J. (2005). The aged voice: A new hypothesis. *Journal of Voice*, 19(3), 317–325. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.07.005>
- Baker, J. (2008). The role of psychogenic and psychosocial factors in the development of functional voice disorders. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 10(4), 210–230. <http://doi.org/10.1080/17549500701879661>
- Baker, K. K., Ramig, L. O., Sapir, S., Luschei, E. S., & Smith, M. E. (2001). Control of vocal loudness in young and old adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(2), 297–305.
- Ball, D. W. (2006). *Field Guide to Spectroscopy*. Bellingham, WA: SPIE Press.
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In P. B. Baltes & M. M. Baltes (Eds.), *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences* (pp. 1–34). New York: Cambridge University Press.
- Barker, G. F. (1888). Memoir of Henry Draper. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (11), 81–139.
- Barlow, C., & Howard, D. M. (2005). Electrolaryngographically derived voice source changes of child and adolescent singers. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 30(3–4), 147–157. <http://doi.org/10.1080/14015430500294031>
- Bateman, H. E., & Mason, R. M. (1984). *Applied Anatomy and Physiology of the Speech and Hearing Mechanism*. (C. C. Thomas, Ed.). Springfield, IL.
- Beck, R. J., Cesario, T. C., Yousefi, A., & Enamoto, H. (2000). Choral singing, performance perception, and immune system changes in salivary immunoglobulin a and cortisol. *Music Perception*, 18(1), 87–106.
- Benichov, J., Cox, L. C., Tun, P. a., & Wingfield, A. (2011). Word recognition within a linguistic context: effects of age, hearing acuity, verbal ability, and cognitive function. *Ear and Hearing*, 33(2), 250–256. <http://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31822f680f>
- Benjamin, B. J. (1986). Dimensions of the older female voice. *Language & Communication*, 6(1–2), 35–45.
- Berger-Vachon, C. (2004). Aspects physiologiques de la perception auditive. Application à une prothèse auditive implantée: l'implant cochléaire. *Journal Sur L'enseignement Des Sciences et Technologies de L'information et Des Systèmes*, 3(1), 1–5. <http://doi.org/10.1051/bib-j3ea:2004614>
- Berlingeri, M., Danelli, L., Bottini, G., Sberna, M., & Paulesu, E. (2013). Reassessing the HAROLD model: is the hemispheric asymmetry reduction in older adults a special case of compensatory-related utilisation of neural circuits? *Experimental Brain Research*, 224(3), 393–410. <http://doi.org/10.1007/s00221-012-3319-x>
- Bernoulli's theorem. (2016). Retrieved March 3, 2016, from <http://www.britannica.com/science/Bernoullis-theorem>
- Berry, D. S. (1991). Accuracy in social perception: contributions of facial and vocal information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61(2), 298–307. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.61.2.298>
- Beynon, G. (1993). When is a decibel not a decibel?: The application of decibel scales and calibration in clinical audiology. *The Journal of Laryngology and Otology*, 107(11), 985–989.
- Bherer, L. (2015). Cognitive plasticity in older adults: Effects of cognitive training and physical exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 13371(1), 1–6. <http://doi.org/10.1111/nyas.12682>
- Bherer, L., Erickson, K. I., & Liu-Ambrose, T. (2013). A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults. *J Aging Res*, 2013, 657508. <http://doi.org/10.1155/2013/657508>
- Bhuta, T., Patrick, L., & Garnett, J. D. (2004). Perceptual evaluation of voice quality and its correlation with acoustic measurement. *Journal of Voice*, 18(3), 299–304. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2003.12.004>
- Bier, S. D., Watson, C. I., & McCann, C. M. (2014). Using the perturbation of the contact quotient of the EGG waveform to analyze age differences in adult speech. *Journal of Voice*, 28(3), 267–273.

- http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.10.021
- Biever, D. M., & Bless, D. M. (1989). Vibratory characteristics of the vocal folds in young adult and geriatric women. *Journal of Voice*, 3(2), 120–131. http://doi.org/10.1016/S0892-1997(89)80138-9
- Bilodeau-Mercure, M., Kirouac, V., Langlois, N., Ouellet, C., Gasse, I., & Tremblay, P. (2015). Movement sequencing in normal aging: speech, oro-facial, and finger movements. *Age*, 37(4), 1–13. http://doi.org/10.1007/s11357-015-9813-x
- Bilodeau-Mercure, M., & Tremblay, P. (n.d.). Speech production in aging: linguistic and physiological factors. *Journal of the American Geriatrics Society*.
- Birkhaug, E. J., Aarstad, H. J., Aarstad, A. K. H., & Olofsson, J. (2002). Relation between mood, social support and the quality of life in patients with laryngectomies. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 259(4), 197–204. http://doi.org/10.1007/s00405-001-0444-8
- Blanchet, C., Pommie, C., Mondain, M., Berr, C., Hillaire, D., & Puel, J.-L. (2008). Pure-tone threshold description of an elderly French screened population. *Otology & Neurotology*, 29(4), 432–440. http://doi.org/10.1097/MAO.0b013e3181719746
- Bloch, I., & Behrman, A. (2001). Quantitative analysis of videostroboscopic images in presbylarynges. *The Laryngoscope*, 111(11), 2022–2027. http://doi.org/10.1097/00005537-200111000-00029
- Bocklet, T., Riedhammer, K., Nöth, E., Eysholdt, U., & Haderlein, T. (2012). Automatic intelligibility assessment of speakers after laryngeal cancer by means of acoustic modeling. *Journal of Voice*, 26(3), 390–397. http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.04.010
- Boersma, P. (2009). Should jitter be measured by peak picking or by waveform matching? *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 61(5), 305–308. http://doi.org/10.1159/000245159
- Bohnenkamp, T. A., Andrews, M., Shrivastav, R., & Summers, A. (2002). Changes in children's voices: The effect of cognitive cues. *Journal of Voice*, 16(4), 530–543. http://doi.org/10.1016/S0892-1997(02)00128-5
- Bopp, K. L., & Verhaegen, P. (2009). Working memory and aging: separating the effects of content and context. *Psychology and Aging*, 24(4), 968–980. http://doi.org/10.1037/a0017731
- Boseley, M. E., Cunningham, M. J., Volk, M. S., & Hartnick, C. J. (2006). Validation of the Pediatric Voice-Related Quality-of-Life survey. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 132(7), 717–720.
- Bosetti, C., Gallus, S., Peto, R., Negri, E., Talamini, R., Tavani, A., ... La Vecchia, C. (2008). Tobacco smoking, smoking cessation, and cumulative risk of upper aerodigestive tract cancers. *American Journal of Epidemiology*, 167(4), 468–473. http://doi.org/10.1093/aje/kwm318
- Bourassa, D. C., & Besner, D. (1994). Beyond the articulatory loop: A semantic contribution to serial order recall of subspan lists. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(1), 122–125.
- Branski, R. C., Cukier-Blaj, S., Pusic, A., Cano, S. J., Klassen, A., Mener, D., ... Kraus, D. H. (2010). Measuring quality of life in dysphonic patients: a systematic review of content development in patient-reported outcomes measures. *Journal of Voice : Official Journal of the Voice Foundation*, 24(2), 193–198. http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.05.006
- Brockmann, M., Drinnan, M. J., Storck, C., & Carding, P. N. (2011). Reliable jitter and shimmer measurements in voice clinics: the relevance of vowel, gender, vocal intensity, and fundamental frequency effects in a typical clinical task. *Journal of Voice*, 25(1), 44–53. http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.07.002
- Brockmann, M., Storck, C., Carding, P. N., & Drinnan, M. J. (2008). Voice Loudness and Gender Effects on Jitter and Shimmer in Healthy Adults. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 51, 1152–1161. http://doi.org/doi:10.1044/1092-4388(2008/06-0208)
- Brown, W. S., Morris, R. J., Hicks, D. M., & Howell, E. (1993). Phonational profiles of female professional singers and nonsingers. *Journal of Voice*, 7(3), 219–226. http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80330-3
- Brown, W. S., Morris, R. J., Hollien, H., & Howell, E. (1991). Speaking fundamental frequency characteristics as a function of age and professional singing. *Journal of Voice*, 5(4), 310–315. http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80061-X
- Brown, W. S., Morris, R. J., & Michel, J. F. (1990). Vocal jitter and fundamental frequency characteristics in aged, female professional singers. *Journal of Voice*, 4(2), 135–141. http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80138-9

- Bryan, J., Luszcz, M. a, & Crawford, J. R. (1997). Verbal knowledge and speed of information processing as mediators of age differences in verbal fluency performance among older adults. *Psychology and Aging*, 12(3), 473–478. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.12.3.473>
- Bussian, C., Wollbrück, D., Danker, H., Herrmann, E., Thiele, A., Dietz, A., & Schwarz, R. (2010). Mental health after laryngectomy and partial laryngectomy: a comparative study. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 267(2), 261–266. <http://doi.org/10.1007/s00405-009-1068-7>
- Caçola, P., Roberson, J., & Gabbard, C. (2013). Aging in movement representations for sequential finger movements: A comparison between young-, middle-aged, and older adults. *Brain and Cognition*, 82(1), 1–5. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.02.003>
- Canga, B., Azoulay, R., Raskin, J., & Loewy, J. (2015). AIR: Advances in Respiration - Music therapy in the treatment of chronic pulmonary disease. *Respiratory Medicine*, 109(12), 1532–1539. <http://doi.org/10.1016/j.rmed.2015.10.001>
- Cano, S. J., Browne, J. P., Lamping, D. L., Roberts, A. H. N., McGrouther, D. A., & Black, N. A. (1997). The patient outcomes of surgery-head/neck (POS-Head/Neck): A new patient-based outcome measure. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 13(1), 65–73. <http://doi.org/10.1016/j.bjps.2005.04.060>
- Caplan, D., & Waters, G. (2005). The relationship between age, processing speed, working memory capacity, and language comprehension. *Memory*, 13(3–4), 403–413. <http://doi.org/10.1080/09658210344000459>
- Carding, P., Carlson, E., Epstein, R., Mathieson, L., & Shewell, C. (2000). Formal perceptual evaluation of voice quality in the United Kingdom. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 25(3), 133–138.
- Carding, P. N., Wilson, J. A., MacKenzie, K., & Deary, I. J. (2009). Measuring voice outcomes: state of the science review. *The Journal of Laryngology and Otology*, 123(8), 823–829. <http://doi.org/10.1017/S0022215109005398>
- Carmeli, E., Coleman, R., & Reznick, A. Z. (2002). The biochemistry of aging muscle. *Experimental Gerontology*, 37(4), 477–489. [http://doi.org/10.1016/S0531-5565\(01\)00220-0](http://doi.org/10.1016/S0531-5565(01)00220-0)
- Carolan, B., & Cafarelli, E. (1992). Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 73(3), 911–917.
- Chung, S. G., Van Rey, E. M., Bai, Z., Rogers, M. W., Roth, E. J., & Zhang, L. Q. (2005). Aging-related neuromuscular changes characterized by tendon reflex system properties. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(2), 318–327. <http://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.04.048>
- Classon, E., Fällman, K., Wressle, E., & Marcusson, J. (2016). Relations between Concurrent Longitudinal Changes in Cognition, Depressive Symptoms, Self-Rated Health and Everyday Function in Normally Aging Octogenarians. *PLoS ONE*, 11(8), e0160742. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0160742>
- Cohen, S. M., Jacobson, B. H., Garrett, C. G., Noordzij, J. P., Stewart, M. G., Attia, A., ... Cleveland, T. F. (2007). Creation and validation of the singing voice handicap index. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 116(6), 402–406.
- Corruble, E., Legrand, J. M., Zvenigorowski, H., Duret, C., & Guelfi, J. D. (1999). Concordance between self-report and clinician's assessment of depression. *Journal of Psychiatric Research*, 33(5), 457–465. [http://doi.org/10.1016/S0022-3956\(99\)00011-4](http://doi.org/10.1016/S0022-3956(99)00011-4)
- Côté, I., Rouleau, N., & Macoir, J. (2014). New Word Acquisition in Children: Examining the Contribution of Verbal Short-term Memory to Lexical and Semantic Levels of Learning. *Applied Cognitive Psychology*, 28(1), 104–114. <http://doi.org/10.1002/acp.2961>
- Coubard, O. A., Ferrufino, L., Boura, M., Gripon, A., Renaud, M., & Bherer, L. (2011). Attentional control in normal aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 25(3), 353–367. <http://doi.org/10.1037/a0022058>
- Cutler, A., Dahan, D., & van Donselaar, W. (1997). Prosody in the Comprehension of Spoken Language: A Literature Review. *Language and Speech*, 40(2), 141–201. <http://doi.org/10.1177/002383099704000203>
- D'haeseleer, E., Depypere, H., Claeys, S., Baudonck, N., & Van Lierde, K. (2011). The impact of menopause on vocal quality. *Menopause*, 18(3), 267–272. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.11.011>
- D'haeseleer, E., Depypere, H., Claeys, S., Van Borsel, J., & Van Lierde, K. (2009). The menopause and the female larynx, clinical aspects and therapeutic options: a literature review. *Maturitas*, 64(1), 27–32.

- http://doi.org/10.1016/j.maturitas.2009.06.009
- D'haeseleer, E., Meerschman, I., Claeys, S., Leyns, C., Daelman, J., & Van Lierde, K. (2016). Vocal Quality in Theater Actors. *Journal of Voice*, 1–8. http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.11.008
- Da Silva, P. T., Master, S., Andreoni, S., Pontes, P., & Ramos, L. R. (2011). Acoustic and long-term average spectrum measures to detect vocal aging in women. *Journal of Voice*, 25(4), 411–419. http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.04.002
- Daffner, K. R., Sun, X., Tarbi, E. C., Rentz, D. M., Holcomb, P. J., & Riis, J. L. (2011). Does compensatory neural activity survive old-old age? *NeuroImage*, 54(1), 427–438. http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.08.006
- Dalston, R. M., & Seaver, E. J. (1992). Relative values of various standardized passages in the nasometric assessment of patients with velopharyngeal impairment. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 29(1), 17–21.
- Dalton, B. H., Harwood, B., Davidson, A. W., & Rice, C. L. (2009). Triceps surae contractile properties and firing rates in the soleus of young and old men. *Journal of Applied Physiology*, 107(6), 1781–1788. http://doi.org/10.1152/japplphysiol.00464.2009
- Danker, H., Wollbrück, D., Singer, S., Fuchs, M., Brähler, E., & Meyer, A. (2010). Social withdrawal after laryngectomy. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 267(4), 593–600. http://doi.org/10.1007/s00405-009-1087-4
- Dargin, T. C., Searl, J., & City, K. (2015). Semi-Occluded Vocal Tract Exercises : Aerodynamic and Electroglottographic Measurements in Singers. *Journal of Voice*, 29(2), 155–164. http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.05.009
- Davis, S. B. (1978). Acoustic characteristics of normal and pathological voices. In N. K. Lass (Ed.), *Speech and Language: Research and Theory* (pp. 133–164). New York, NY: Academic Press.
- de Assis da Silva, R., Mograbi, D. C., Silveira, L. A. S., Nunes, A. L. S., Novis, F. D., Landeira-Fernandez, J., & Cheniaux, E. (2014). The reliability of self-assessment of affective state in different phases of bipolar disorder. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 202(5), 386–390. http://doi.org/10.1097/NMD.0000000000000136
- De Bodt, M. S., Wuyts, F. L., Van De Heyning, P. H., & Croux, C. (1997). Test-retest study of the GRBAS scale: Influence of experience and professional background on perceptual rating of voice quality. *Journal of Voice*, 11(1), 74–80. http://doi.org/10.1016/S0892-1997(97)80026-4
- de Souza, L. B. R., Bevilacqua, M. C., Brasolotto, A. G., & Coelho, A. C. (2012). Cochlear implanted children present vocal parameters within normal standards. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 76(8), 1180–1183. http://doi.org/10.1016/j.ijporl.2012.04.029
- Dedivitis, R. a, Barros, a P. B., Queija, D. S., Alexandre, J. C. M., Rezende, W. T. M., Corazza, V. R., ... Nishimoto, I. N. (2004). Interobserver perceptual analysis of smokers voice. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences*, 29(2), 124–127. http://doi.org/10.1111/j.1365-2273.2004.00793.x
- Dehqan, A., Scherer, R. C., Dashti, G., Ansari-Moghaddam, A., & Fanaie, S. (2012). The effects of aging on acoustic parameters of voice. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 64(6), 265–270. http://doi.org/10.1159/000343998
- Dejonckere, P. H., Bradley, P. J., Clemente, P., Cornut, G., Crevier-Buchman, L., Friedrich, G., ... Woisard, V. (2001). A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatment and evaluating new assessment techniques. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 258(2), 77–82. http://doi.org/10.1007/s004050000299
- Dejonckere, P. H., Remacle, M., Fresnel-Elbaz, E., Woisard, V., Crevier-Buchman, L., & Millet, B. (1996). Differentiated perceptual evaluation of pathological voice quality: reliability and correlations with acoustic measurements. *Revue de Laryngologie - Otologie - Rhinologie*, 117(3), 219–224.
- Depp, C. A., & Jeste, D. V. (2006). Definitions and predictors of successful aging: a comprehensive review of larger quantitative studies. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 14(1), 6–20.
- Diener, E., Suh, E. M., Lucas, R. E., & Smith, H. L. (1999). Subjective Well-Being: Three Decades of Progress. *Psychological Bulletin*, 125(2), 276–302. http://doi.org/10.1037/0033-2909.125.2.276
- Drag, L. L., & Beliauskas, L. a. (2010). Contemporary review 2009: cognitive aging. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 23(2), 75–93. http://doi.org/10.1177/0891988709358590

- Dudley, H. W. (1939). The vocoder. *Bell Labs Record*, 18, 122–126.
- Eadie, T. L., & Baylor, C. R. (2006). The Effect of Perceptual Training on Inexperienced Listeners' Judgments of Dysphonic Voice. *Journal of Voice*, 20(4), 527–544. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2005.08.007>
- Eadie, T. L., Day, A. M. B., Sawin, D. E., Lamvik, K., & Doyle, P. C. (2013). Auditory-perceptual speech outcomes and quality of life after total laryngectomy. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 148(1), 82–88. <http://doi.org/10.1177/0194599812461755>
- Echternach, M., Sundberg, J., Arndt, S., Markl, M., Schumacher, M., & Richter, B. (2010). Vocal Tract in Female Registers-A Dynamic Real-Time MRI Study. *Journal of Voice*, 24(2), 133–139. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.06.004>
- Echternach, M., Traser, L., & Richter, B. (2014). Vocal tract configurations in tenors' passaggio in different vowel conditions - A real-time magnetic resonance imaging study. *Journal of Voice*, 28(2), 262.e1–262.e8. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.10.009>
- Eskenazi, L., Childers, D. G., & Hicks, D. M. (1990). Acoustic correlates of vocal quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33(2), 298–306. <http://doi.org/10.1044/jshr.3302.298>
- Etter, N. M., Stemple, J. C., & Howell, D. M. (2013). Defining the lived experience of older adults with voice disorders. *Journal of Voice*, 27(1), 61–67. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2012.07.002>
- Fahy, F., & Thompson, D. (2015). *Fundamentals of sound and vibration*. (F. Fahy & D. Thompson, Eds.). Boca Raton: CRC Press.
- Fairbanks, G. (1960). *Voice and Articulation Drillbook* (2nd editio). New York, NY: Harper and Brothers.
- Ferrand, C. T. (2002). Harmonics-to-noise ratio: An index of vocal aging. *Journal of Voice*, 16(4), 480–487. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(02\)00123-6](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(02)00123-6)
- Ferrein, A. (1741). De la formation de la voix de l'homme. *Histoires de l'Académie Royale de Sciences de Paris*, 51, 409–432.
- Fex, S. (1992). Perceptual evaluation. *Journal of Voice*, 6(2), 155–158. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80130-4](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80130-4)
- Finger, L. S., Cielo, C. A., & Schwarz, K. (2009). Acoustic vocal measures in women without voice complaints and with normal larynxes. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 75(3), 432–440. <http://doi.org/10.1590/S1808-86942009000300020>
- Flanagan, J. L. (1958). Some properties of the glottal sound source. *Journal of Speech and Hearing Research*, 1(2), 99–116. <http://doi.org/10.1044/jshr.0102.99>
- Fonseca, E., & Pereira, J. (2009). Normal versus pathological voice signals. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 28(5), 44–48. <http://doi.org/10.1109/EMB.2009.934248>
- Forero Mendoza, L. a., Cataldo, E., Vellasco, M. M. B. R., Silva, M. a., & Apolinário, J. a. (2014). Classification of Vocal Aging Using Parameters Extracted From the Glottal Signal. *Journal of Voice*, 28, 532–537. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.02.001>
- Fourcin, A. (2009). Aspects of voice irregularity measurement in connected speech. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 61(3), 126–136. <http://doi.org/10.1159/000219948>
- Fourcin, A., & Abberton, E. (2008). Hearing and phonetic criteria in voice measurement: clinical applications. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 33(1), 35–48. <http://doi.org/10.1080/14015430701251574>
- Fox, K. R. (2000). Self-esteem, self-perceptions and exercice. *International Journal of Sport Psychology*, 31(2), 228–240.
- Franceschi, S., Talamini, R., Barra, S., Barón, A. E., Negri, E., Bidoli, E., ... La Vecchia, C. (1990). Smoking and drinking in relation to cancers of the oral cavity, pharynx, larynx, and esophagus in northern Italy. *Cancer Research*, 50(20), 6502–6507.
- Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2002). Life-management strategies of selection, optimization, and compensation: measurement by self-report and construct validity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82(4), 642–662. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.82.4.642>
- Freund, A. M., & Riediger, M. (2001). What I have and what I do - The role of resource loss and gain throughout life. *Applied Psychology: An International Review*, 50(3), 370–380. <http://doi.org/10.1111/1464-0597.00063>
- Frisina, D. R., & Frisina, R. D. (1997). Speech recognition in noise and presbycusis: Relations to possible

- neural mechanisms. *Hearing Research*, 106(1–2), 95–104. [http://doi.org/10.1016/S0378-5955\(97\)00006-3](http://doi.org/10.1016/S0378-5955(97)00006-3)
- Fuchs, M., Meuret, S., Thiel, S., Täschner, R., Dietz, A., & Gelbrich, G. (2009). Influence of Singing Activity, Age, and Sex on Voice Performance Parameters, on Subjects' Perception and Use of Their Voice in Childhood and Adolescence. *Journal of Voice*, 23(2), 182–189. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2007.09.007>
- Fukuchi, R. K., Stefanyshyn, D. J., Stirling, L., Duarte, M., & Ferber, R. (2014). Flexibility, muscle strength and running biomechanical adaptations in older runners. *Clinical Biomechanics*, 29(3), 304–310. <http://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.12.007>
- Furegato, A. R. F., Santos, J. L. F., & Silva, E. C. Da. (2008). Depression among nursing students associated to their self-esteem, health perception and interest in mental health. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 16(2), 198–204. <http://doi.org/10.1590/S0104-11692008000200005>
- Garcia-Toro, M., Talavera, J., Saiz-Ruiz, J., & Gonzalez, A. (2000). Prosody Impairment in Depression Measured through Acoustic Analysis. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 188(12), 824–829.
- Garcia, M. (1855). Observations on the human voice. *Proceedings of the Royal Society of London*, 7, 399–410.
- Gates, G., & Mills, J. (2005). Presbycusis. *The Lancet*, 366(9491), 1111–1120. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)67423-5](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)67423-5)
- Geva, S., Jones, P. S., Crinion, J., Price, C., Baron, J.-C., & Warburton, E. A. (2012). The Effect of Aging on the Neural Correlates of Phonological Word Retrieval. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(11), 2135–2146.
- Gilbert, H. R., & Weismier, G. G. (1974). The effects of smoking on the speaking fundamental frequency of adult women. *Journal of Psycholinguistic Research*, 3(3), 225–231. <http://doi.org/10.1007/BF01069239>
- Gonzalez, J., & Carpi, A. (2004). Early effects of smoking on the voice: a multidimensional study. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 10(12), 649–656.
- Gorham-Rowan, M. M., & Laures-Gore, J. (2006). Acoustic-perceptual correlates of voice quality in elderly men and women. *Journal of Communication Disorders*, 39(3), 171–184. <http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2005.11.005>
- Gosling, J. A., Harris, P. F., Humpherson, J. R., Whitmore, I., & Willan, P. L. T. (2008). *Human anatomy: color atlas and textbook* (Fifth). Edinburgh: Elsevier Health Sciences.
- Goy, H., Fernandes, D. N., Pichora-Fuller, M. K., & van Lieshout, P. (2013). Normative voice data for younger and older adults. *Journal of Voice*, 27(5), 545–555. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.03.002>
- Gracco, C., & Kahane, J. C. (1989). Age-related changes in the vestibular folds of the human larynx: A histomorphometric study. *Journal of Voice*, 3(3), 204–212. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(89\)80002-5](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(89)80002-5)
- Gramming, P., Sundberg, J., Ternström, S., Leanderson, R., & Perkins, W. H. (1988). Relationship between changes in voice pitch and loudness. *Journal of Voice*, 2(2), 118–126. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(88\)80067-5](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(88)80067-5)
- Gregory, N. D., Chandran, S., Lurie, D., & Sataloff, R. T. (2012). Voice disorders in the elderly. *Journal of Voice*, 26(2), 254–258. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.10.024>
- Grove, L. J., Loeb, S. J., & Penrod, J. (2009). Selective optimization with compensation: a model for elder health programming. *Clinical Nurse Specialist*, 23(1), 25–32. <http://doi.org/10.1097/01.NUR.0000343080.57838.2f>
- Guimarães, I., & Abberton, E. (2005). Health and voice quality in smokers: an exploratory investigation. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 30(3–4), 185–191. <http://doi.org/10.1080/14015430500294114>
- Guzman, M., Barros, M., Espinoza, F., Herrera, A., Parra, D., Muñoz, D., & Lloyd, A. (2013). Laryngoscopic, acoustic, perceptual, and functional assessment of voice in rock singers. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 65(5), 248–256. <http://doi.org/10.1159/000357707>
- Guzman, M., Castro, C., Testart, A., Munoz, D., & Gerhard, J. (2013). Laryngeal and pharyngeal activity during semioccluded vocal tract postures in subjects diagnosed with hyperfunctional dysphonia. *Journal of Voice*, 27(6), 709–716. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.05.007>

- Häkkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (2000). Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *European Journal of Applied Physiology*, 83(1), 51–62. <http://doi.org/10.1007/s004210000248>
- Harada, C. N., Natelson Love, M. C., & Triebel, K. L. (2013). Normal cognitive aging. *Clinics in Geriatric Medicine*, 29(4), 737–752. <http://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.002>
- Harnsberger, J. D., Brown, W. S., Shrivastav, R., & Rothman, H. (2010). Noise and tremor in the perception of vocal aging in males. *Journal of Voice*, 24(5), 523–530. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.01.003>
- Harnsberger, J. D., Shrivastav, R., Brown, W. S., Rothman, H., & Hollien, H. (2008). Speaking Rate and Fundamental Frequency as Speech Cues to Perceived Age. *Journal of Voice*, 22(1), 58–69. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.07.004>
- Hashibe, M., Brennan, P., Chuang, S.-C., Boccia, S., Castellsague, X., Chen, C., ... Boffetta, P. (2009). Interaction between tobacco and alcohol use and the risk of head and neck cancer: pooled analysis in the International Head and Neck Cancer Epidemiology Consortium. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 18(2), 541–550. <http://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-08-0347>
- Henderson, E., & Echave, V. (2006). Dysphagia in aging. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 40(1), 88. <http://doi.org/10.1097/01.mcg.0000190780.88397.d6>
- Herholz, S. C., & Zatorre, R. J. (2012). Musical Training as a Framework for Brain Plasticity: Behavior, Function, and Structure. *Neuron*, 76(3), 486–502. <http://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.011>
- Hillenbrand, J. (1987). A methodological study of perturbation and additive noise in synthetically generated voice signals. *Journal of Speech & Hearing Research*, 30(4), 448–461. <http://doi.org/10.1044/jshr.3004.448>
- Hinchcliffe, R. (1962). The Anatomical Locus of Presbycusis. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 27(4), 301–310.
- Hirabayashi, H., Koshii, K., Uno, K., Ohgaki, H., Nakasone, Y., Fujisawa, T., ... Hirabayashi, K. (1990). Laryngeal epithelial changes on effects of smoking and drinking. *Auris Nasus Larynx*, 17(2), 105–114. [http://doi.org/10.1016/S0385-8146\(12\)80192-1](http://doi.org/10.1016/S0385-8146(12)80192-1)
- Hirano, M. (1981). *Clinical Examination of Voice*. New York, NY: Springer-Verlag.
- Hirano, M., Ohala, J., & Vennard, W. (1969). The function of laryngeal muscles in regulating fundamental frequency and intensity of phonation. *Journal of Speech & Hearing Research*, 12(3), 616–628. <http://doi.org/10.1044/jshr.1203.616>
- Hixon, T. J., Goldman, M. D., & Mead, J. (1973). Kinematics of the chest wall during speech production: Volume displacements of the rib cage, abdomen, and lung. *Journal of Speech and Hearing Research*, 16(1), 78–115. <http://doi.org/10.1044/jshr.1601.78>
- Hofer, S. M., & Alwin, D. F. (2008). *Handbook of cognitive aging: interdisciplinary perspectives*. (S. M. Hofer & D. F. Alwin, Eds.). Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Hogikyan, N. D., & Sethuraman, G. (1999). Validation of an instrument to measure voice-related quality of life (V-RQOL). *Journal of Voice*, 13(4), 557–569. [http://doi.org/10.1016/s0892-1997\(99\)80010-1](http://doi.org/10.1016/s0892-1997(99)80010-1)
- Hoit, J. D., & Hixon, T. J. (1987). Age and speech breathing. *Journal of Speech & Hearing Research*, 30(3), 351–366. <http://doi.org/10.1044/jshr.3003.351>
- Hollien, H. (1987). "Old voices": What do we really know about them? *Journal of Voice*, 1(1), 2–17. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(87\)80018-8](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(87)80018-8)
- Hollien, H., Gelfer, M. P., & Carlson, T. (1991). Listening preferences for voice types as a function of age. *Journal of Communication Disorders*, 24(2), 157–171. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(91\)90019-F](http://doi.org/10.1016/0021-9924(91)90019-F)
- Honjo, I., & Isshiki, N. (1980). Laryngoscopic and voice characteristics of aged persons. *Archives of Otolaryngology*, 106(3), 149–150. <http://doi.org/10.1001/archtol.1980.00790270013003>
- Huber, J. E., & Spruill, J. (2008). Age-related changes to speech breathing with increased vocal loudness. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 51(3), 651–668. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/047\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/047))
- Huber, P. J. (1981). *Robust statistics*. New York: Wiley.
- Hudon, T., & Milan, A. (2016). *Women in Canada: A Gender-based Statistical Report. Senior Women*. Ottawa.
- Hughes, S. M., & Rhodes, B. C. (2010). Making age assessments based on voice : The impact of the

- reproductive viability. *Journal of Social, Evolutionary, and Cultural Psychology*, 4(4), 290–304. <http://doi.org/10.1037/h0099282>
- Hunter, E. J., Kapsner-Smith, M., Pead, P., Engar, M. Z., & Brown, W. R. (2012). Age and speech production: a 50-year longitudinal study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(6), 1175–1177. <http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2012.03983.x>.
- Hunter, E. J., Svec, J. G., & Titze, I. R. (2006). Comparison of the Produced and Perceived Voice Range Profiles in Untrained and Trained Classical Singers. *Journal of Voice*, 20(4), 513–526. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2005.08.009>
- Institut de la statistique du Québec. (2016). *Répartition de la population de 25 à 64 ans selon le plus haut niveau de scolarité atteint, la région administrative, l'âge et le sexe, Québec*.
- International Phonetic Association. (1999). *Handbook of the International Phonetic Association: A Guide to the Use of the International Phonetic Alphabet*. Cambridge: Cambridge University Press. <http://doi.org/10.2277/0521652367>
- Isshiki, N. (1964). Regulatory mechanism of voice intensity variation. *Journal of Speech & Hearing Research*, 7(1), 17–29. <http://doi.org/10.1044/jshr.0701.17>
- Isshiki, N., Okamura, H., Tanabe, M., & Morimoto, M. (1969). Differential diagnosis of hoarseness. *Folia Phoniatrica*, 21(1), 9–19. <http://doi.org/10.1159/000263230>
- Isshiki, N., & von Leden, H. (1964). Hoarseness: aerodynamic studies. *Archives of Otolaryngology*, 80(2), 206–213. <http://doi.org/10.1001/archotol.1964.00750040212020>
- Jacobson, B. H., Johnson, A., Grywalski, C., Silbergleit, A., Jacobson, G., Benninger, M. S., & Newman, C. W. (1997). The Voice Handicap Index (VHI): Development and Validation. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 6(3), 66–69. <http://doi.org/10.1044/1058-0360.0603.66>
- Jenkins, I. H., Brooks, D. J., Nixon, P. D., Frackowiak, R. S., & Passingham, R. E. (1994). Motor sequence learning: a study with positron emission tomography. *The Journal of Neuroscience*, 14(6), 3775–3790.
- Jeong, H., & Kim, H. S. (2009). Aging and Text Comprehension: Interpretation and Domain Knowledge Advantage. *Educational Gerontology*, 35(10), 906–928. <http://doi.org/10.1080/03601270902834601>
- Jimenez-Jimenez, F. J., Calleja, M., Alonso-Navarro, H., Rubio, L., Navacerrada, F., Pilo-de-la-Fuente, B., ... Agundez, J. A. (2011). Influence of age and gender in motor performance in healthy subjects. *Journal of the Neurological Sciences*, 302(1), 72–80. <http://doi.org/10.1016/j.jns.2010.11.021>
- Johnstone, B. M., & Boyle, A. J. F. (1967). Basilar membrane vibration examined with the Mossbauer technique. *Science*, 158(799), 389–390.
- Johnstone, B. M., Patuzzi, R., & Yates, G. K. (1986). Basilar membrane measurements and the travelling wave. *Hearing Research*, 22(1–3), 147–153.
- Jovanovic, M. B., Mulutinovic, Z., Perovic, J., Grubor, A., Milenkovic, S., & Malobabic, S. (2007). Contact telescopy reveals blood vessel alterations of vocal fold mucosa in Reinke's edema. *Journal of Voice*, 21(3), 355–360. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.01.004>
- Kahana, E., & Kahana, B. (1996). Conceptual and empirical advances in understanding aging well through proactive adaptation. In V. L. Bengston (Ed.), *Adulthood and aging. Research on continuities and discontinuities* (pp. 18–40). New York: Springer.
- Kahana, E., & Kahana, B. (2001). Successful aging among people with HIV/AIDS. *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(12), 53–56. [http://doi.org/doi:10.1016/S0895-4356\(01\)00447-4](http://doi.org/doi:10.1016/S0895-4356(01)00447-4)
- Kahane, J. C. (1987). Connective Tissue Changes in the Larynx and Their Effects on Voice. *Journal of Voice*, 1(1), 27–30. [http://doi.org/doi:10.1016/S0892-1997\(87\)80020-6](http://doi.org/doi:10.1016/S0892-1997(87)80020-6)
- Kang, H. G., & Dingwell, J. B. (2008). Separating the effects of age and walking speed on gait variability. *Gait and Posture*, 27(4), 572–577.
- Karnell, M. P., Melton, S. D., Childes, J. M., Coleman, T. C., Dailey, S. A., & Hoffman, H. T. (2007). Reliability of Clinician-Based (GRBAS and CAPE-V) and Patient-Based (V-RQOL and IPV) Documentation of Voice Disorders. *Journal of Voice*, 21(5), 576–590. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.05.001>
- Karni, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M. M., Tuner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, 377(6545), 155–158. <http://doi.org/10.1038/377155a0>

- Kemper, S., Marquis, J., Thompson, M., & Marquis, J. (2001). Longitudinal change in language production: effects of aging and dementia on grammatical complexity and prepositional content. *Psychology and Aging*, 16(4), 600–614. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.16.4.600>
- Kempster, G. B., Gerratt, B. R., Abbott, K. V., Barkmeier-Kraemer, J., & Hillman, R. E. (2009). Consensus auditory-perceptual evaluation of voice: Development of a standardized clinical protocol. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 18(2), 124–132. [http://doi.org/10.1044/1058-0360\(2008/08-0017\)](http://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/08-0017))
- Kendall, K. (2007). Presbyphonia: a review. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 15(3), 137–140. <http://doi.org/10.1097/MOO.0b013e328166794f>
- Kersing, W., & Jennekens, F. G. (2004). Age-related changes in human thyroarytenoid muscles: A histological and histochemical study. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 261(7), 386–392. <http://doi.org/10.1007/s00405-003-0702-z>
- Kessler, R. C., Berglund, P., Demler, O., Jin, R., Merikangas, K. R., & Walters, E. E. (2005). Lifetime prevalence and age-of-onset distributions of DSM-IV disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Archives of General Psychiatry*, 62(6), 593–602.
- Kitajima, K., Tanabe, M., & Isshiki, N. (1975). Pitch perturbation in normal and pathological voice. *Studia Phonologica*, 9, 25–32.
- Kleber, B., Birbaumer, N., Veit, R., Trevorow, T., & Lotze, M. (2007). Overt and imagined singing of an Italian aria. *NeuroImage*, 36(3), 889–900. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.02.053>
- Klitgaard, H., Mantoni, M., Schiaffino, S., Ausoni, S., Gorza, L., Laurent-Winter, C., ... Saltin, B. (1990). Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. *Acta Physiologica Scandinavica*, 140(1), 41–54. <http://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1990.tb08974.x>
- Ko, S. J., Judd, C. M., & Blair, I. V. (2006). What the voice reveals: within- and between-category stereotyping on the basis of voice. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 32(6), 806–819. <http://doi.org/10.1177/0146167206286627>
- Kochis-Jennings, K. A., Finnegan, E. M., Hoffman, H. T., & Jaiswal, S. (2012). Laryngeal muscle activity and vocal fold adduction during chest, chestmix, headmix, and head registers in females. *Journal of Voice*, 26(2), 182–193. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.11.002>
- Koike, Y., & Takahashi, H. (1972). Glottal parameters and some acoustic measures in patients with laryngeal pathology. *Studia Phonologica*, 6, 45–50.
- Kramer, A. F., & Kray, J. (2006). Aging and Attention. In E. Bialystok & F. I. M. Craik (Eds.), *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change*. Oxford: Oxford University Press. <http://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195169539.003.0005>
- Kreiman, J., Gabelman, B., & Gerratt, B. R. (2003). Perception of vocal tremor. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 46(1), 203–214. [http://doi.org/doi:10.1044/1092-4388\(2003/016\)](http://doi.org/doi:10.1044/1092-4388(2003/016))
- Kreiman, J., & Gerratt, B. R. (2010). Perceptual Assessment of Voice Quality: Past, Present, and Future. *Perspectives on Voice and Voice Disorders*, 20(2), 62–67. <http://doi.org/10.1044/vvd20.2.62>
- Kreiman, J., Gerratt, B. R., & Ito, M. (2007). When and why listeners disagree in voice quality assessment tasks. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122, 2354–2364.
- Kreiman, J., Gerratt, B. R., Kempster, G. B., Erman, A., & Berke, G. S. (1993). Perceptual evaluation of voice quality: review, tutorial, and a framework for future research. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36(1), 21–40. <http://doi.org/10.1044/jshr.3601.21>
- Kreiman, J., Gerratt, B. R., & Precoda, K. (1990). Listener experience and perception of voice quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33(1), 103–115. <http://doi.org/10.1044/jshr.3301.103>
- Kreiman, J., Gerratt, B. R., Precoda, K., & Berke, G. S. (1992). Individual differences in voice quality perception. *Journal of Speech and Hearing Research*, 35(3), 512–520. <http://doi.org/10.1044/jshr.3503.512>
- Kreiman, J., Vanlancker-Sidtis, D., & Gerratt, B. R. (2005). Perception of Voice Quality. In D. B. Pisoni & R. E. Remez (Eds.), *The Handbook of Speech Perception* (pp. 338–362). Malden, MA: Blackwell Publishing Ltd. <http://doi.org/10.1002/9780470757024>

- Kreul, E. J. (1972). Neuromuscular control examination (NMC) for Parkinsonism: vowel prolongations and diadochokinetic and reading rates. *Journal of Speech & Hearing Research*, 15(1), 72–83.
<http://doi.org/10.1044/jshr.1501.72>
- Kreutz, G., Bongard, S., Rohrmann, S., Hodapp, V., & Grebe, D. (2004). Effects of choir singing or listening on secretory immunoglobulin A, cortisol, and emotional state. *Journal of Behavioral Medicine*, 27(6), 623–635. <http://doi.org/10.1007/s10865-004-0006-9>
- Kuhn, M. a. (2014). Histological changes in vocal fold growth and aging. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 22, 460–465. <http://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000108>
- Kunzmann, U., Little, T. D., & Smith, J. (2000). Is age-related stability of subjective well-being a paradox? Cross-sectional and longitudinal evidence from the Berlin Aging Study. *Psychology and Aging*, 15(3), 511–526. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.15.3.511>
- Lallh, A. K., & Rochet, A. P. (2000). The effect of information on listeners' attitudes toward speakers with voice or resonance disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(3), 782–795.
- Lamarche, A., Westerlund, J., Verduyckt, I., & Ternström, S. (2010). The Swedish version of the Voice Handicap Index adapted for singers. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 35(3), 129–137.
<http://doi.org/10.3109/14015430903352592>
- Langlois, F., Vu, T. T. M., Chassé, K., Dupuis, G., Kergoat, M.-J., & Bherer, L. (2013). Benefits of physical exercise training on cognition and quality of life in frail older adults. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 68(3), 400–404. <http://doi.org/10.1093/geronb/gbs069>
- Lee, A., & Hankin, B. L. (2009). Insecure attachment, dysfunctional attitudes, and low self-esteem predicting prospective symptoms of depression and anxiety during adolescence. *Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology*, 38(2), 219–231. <http://doi.org/10.1080/15374410802698396>
- Lee, T., Crawford, J. D., Henry, J. D., Trollor, J. N., Kochan, N. A., Wright, M. J., ... Sachdev, P. S. (2012). Mediating effects of processing speed and executive functions in age-related differences in episodic memory performance: a cross-validation study. *Neuropsychology*, 26(6), 776–84.
<http://doi.org/10.1037/a0030053>
- Lee, Y.-C. A., Boffetta, P., Sturgis, E. M., Wei, Q., Zhang, Z.-F., Muscat, J., ... Hashibe, M. (2008). Involuntary smoking and head and neck cancer risk: pooled analysis in the International Head and Neck Cancer Epidemiology Consortium. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 17(8), 1974–1981.
<http://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-08-0047>
- Leech, R., Aydelott, J., Symons, G., Carnevale, J., & Dick, F. (2007). The development of sentence interpretation: Effects of perceptual, attentional and semantic interference. *Developmental Science*, 10(6), 794–813. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00628.x>
- Legrand, F. D. (2014). Effects of Exercise on Physical Self-Concept, Global Self-Esteem, and Depression in Women of Low Socioeconomic Status With Elevated Depressive Symptoms. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 36(4), 357–365. <http://doi.org/10.1123/jsep.2013-0253>
- Lenden, J. M., & Flipsen, P. (2007). Prosody and voice characteristics of children with cochlear implants. *Journal of Communication Disorders*, 40(1), 66–81. <http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2006.04.004>
- Leonard, L. B., Ellis Weismer, S., Miller, C. a, Francis, D. J., Tomblin, J. B., & Kail, R. V. (2007). Speed of processing, working memory, and language impairment in children. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 50(2), 408–428. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/029\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/029))
- Lerner, M. Z., Paskhover, B., Acton, L., & Young, N. (2013). Voice disorders in actors. *Journal of Voice*, 27(6). <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.05.006>
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764–766.
- Lieberman, P. (1961). Perturbations in Vocal Pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33(5), 597. <http://doi.org/10.1121/1.1908736>
- Lieberman, P. (1963). Some acoustic measures of the fundamental periodicity of normal and pathologic larynges. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35, 344–353. <http://doi.org/10.1121/1.1918465>
- Lim, K. B., Kim, Y. K., Lee, H. J., Yoo, J., Hwang, J. Y., Kim, J. A., & Kim, S. K. (2013). The therapeutic effect

- of neurologic music therapy and speech language therapy in post-stroke aphasic patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 37(4), 556–562. <http://doi.org/10.5535/arm.2013.37.4.556>
- Linville, S. E. (1987). Acoustic-perceptual studies of aging voice in women. *Journal of Voice*, 1(1), 44–48. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(87\)80023-1](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(87)80023-1)
- Linville, S. E. (1996). The sound of senescence. *Journal of Voice*, 10(2), 190–200. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(96\)80046-4](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(96)80046-4)
- Linville, S. E., & Fisher, H. B. (1985). Acoustic characteristics of perceived versus actual vocal age in controlled phonation by adult females. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 78(1), 40–48.
- Livingstone, S. R., Choi, D. H., & Russo, F. A. (2014). The influence of vocal training and acting experience on measures of voice quality and emotional genuineness. *Frontiers in Psychology*, 5(156), 1–13. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00156>
- Lord, V. M., Hume, V. J., Kelly, J. L., Cave, P., Silver, J., Waldman, M., ... Hopkinson, N. S. (2012). Singing classes for chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. *BMC Pulmonary Medicine*, 12(69), 1–7. <http://doi.org/10.1186/1471-2466-12-69>
- Lortie, C. L., & Guitton, M. J. (2011). Judgment of the humanness of an interlocutor is in the eye of the beholder. *PLoS ONE*, 6(9), e25085. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0025085>
- Lortie, C. L., Thibeault, M., Guitton, M. J., & Tremblay, P. (2015). Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice. *Age*, 37(6), 1–24. <http://doi.org/10.1007/s11357-015-9854-1>
- Lowry, K. a, Vallejo, A. N., & Studenski, S. A. (2012). Successful aging as a continuum of functional independence: Lessons from physical disability models of aging. *Aging and Disease*, 3(1), 5–15.
- Ludlow, C. L., Bassich, C. J., Connor, N. P., Coulter, D. C., & Lee, Y. J. (1987). The validity of using phonatory jitter and shimmer to detect laryngeal pathology. In T. Baer, C. Sasaki, & K. Harris (Eds.), *Laryngeal Function in Phonation and Respiration: Vocal Fold Physiology Series* (pp. 492–508). Boston, MA: College Hill.
- Lum, J. A. G., Conti-Ramsden, G., & Lindell, A. K. (2007). The attentional blink reveals sluggish attentional shifting in adolescents with specific language impairment. *Brain and Cognition*, 63(3), 287–295. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.09.010>
- Lum, J. A. G., Conti-Ramsden, G., Page, D., & Ullman, M. T. (2012). Working, declarative and procedural memory in specific language impairment. *Cortex*, 48(9), 1138–1154. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.06.001>
- Lum, J. A. G., Gelgic, C., & Conti-Ramsden, G. (2010). Procedural and declarative memory in children with and without specific language impairment. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 45(1), 96–107. <http://doi.org/10.3109/13682820902752285>
- Ma, E. P. M., & Love, A. L. (2010). Electroglossographic Evaluation of Age and Gender Effects During Sustained Phonation and Connected Speech. *Journal of Voice*, 24(2), 146–152. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.08.004>
- MacKay, D. G., & James, L. E. (2004). Sequencing, Speech Production, and Selective Effects of Aging on Phonological and Morphological Speech Errors. *Psychology and Aging*, 19(1), 93–107. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.19.1.93>
- Marcotullio, D., Magliulo, G., & Pezone, T. (2002). Reinke's edema and risk factors: clinical and histopathologic aspects. *American Journal of Otolaryngology*, 23(2), 81–84. <http://doi.org/10.1053/ajot.2002.30961>
- Markel, N. N., Phillis, J. a, Vargas, R., & Howard, K. (1972). Personality traits associated with voice types. *Journal of Psycholinguistic Research*, 1(3), 249–255. <http://doi.org/10.1007/BF01074441>
- Martin, N., & Gupta, P. (2004). Exploring the relationship between word processing and verbal short-term memory: Evidence from associations and dissociations. *Cognitive Neuropsychology*, 21(2), 213–228. <http://doi.org/10.1080/02643290342000447>
- Martin, P., Kelly, N., Kahana, B., Kahana, E., Willcox, B. J., Willcox, D. C., & Poon, L. W. (2015). Defining successful aging: A tangible or elusive concept? *The Gerontologist*, 55(1), 14–25. <http://doi.org/10.1093/geront/gnu044>
- Martin, R. C., Lesch, M. F., & Bartha, M. C. (1999). Independence of Input and Output Phonology in Word

- Processing and Short-Term Memory. *Journal of Memory and Language*, 41(1), 2–39.
<http://doi.org/10.1006/jmla.1999.2637>
- Maruthy, S., & Ravibabu, P. (2015). Comparison of Dysphonia Severity Index Between Younger and Older Carnatic Classical Singers and Nonsingers. *Journal of Voice*, 29(1), 65–70.
<http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.05.001>
- Maryn, Y., Corthals, P., De Bodt, M., Van Cauwenberge, P., & Deliyski, D. (2009). Perturbation measures of voice: a comparative study between Multi-Dimensional Voice Program and Praat. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 61(4), 217–226. <http://doi.org/10.1159/000227999>
- Maryn, Y., Corthals, P., Van Cauwenberge, P., Roy, N., & De Bodt, M. (2010). Toward improved ecological validity in the acoustic measurement of overall voice quality: combining continuous speech and sustained vowels. *Journal of Voice*, 24(5), 540–555. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.12.014>
- Maryn, Y., De Bodt, M., & Roy, N. (2010). The Acoustic Voice Quality Index: Toward improved treatment outcomes assessment in voice disorders. *Journal of Communication Disorders*, 43(3), 161–174.
<http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2009.12.004>
- Maslan, J., Leng, X., Rees, C., Blalock, D., & Butler, S. G. (2011). Maximum phonation time in healthy older adults. *Journal of Voice*, 25(6), 709–713. <http://doi.org/10.1016/j.jvoicc.2010.10.002>
- Mazelova, J., Popelar, J., & Syka, J. (2003). Auditory function in presbycusis: Peripheral vs. central changes. *Experimental Gerontology*, 38(1), 87–94. [http://doi.org/10.1016/S0531-5565\(02\)00155-9](http://doi.org/10.1016/S0531-5565(02)00155-9)
- Mazzetto de Menezes, K. S., Master, S., Guzman, M., Bortnem, C., & Ramos, L. R. (2014). Differences in acoustic and perceptual parameters of the voice between elderly and young women at habitual and high intensity. *Acta Otorrinolaringologica Espanola*, 65(2), 76–84. <http://doi.org/10.1016/j.otoeng.2013.11.012>
- McAleer, P., Todorov, A., & Belin, P. (2014). How do you say “hello”? Personality impressions from brief novel voices. *PLoS ONE*, 9(3), 1–9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0090779>
- McDowd, J., Hoffman, L., Rozek, E., Lyons, K. E., Pahwa, R., Burns, J., & Kemper, S. (2011). Understanding Verbal Fluency in Healthy Aging, Alzheimer’s Disease, and Parkinson’s Disease. *Neuropsychology*, 25(2), 210–225. <http://doi.org/10.1037/a0021531>
- McGowan, R. (1990). An analogy between the mucosal waves of the vocal folds and wind waves on water. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, 101(102), 243–249.
- McHenry, M. A., Evans, J., & Powitzky, E. (2016). Effects of Bel Canto Training on Acoustic and Aerodynamic Characteristics of the Singing Voice. *Journal of Voice*, 30(2), 198–204.
<http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.11.009>
- McNeill, E. J. M., Wilson, J. A., Clark, S., & Deakin, J. (2008). Perception of Voice in the Transgender Client. *Journal of Voice*, 22(6), 727–733. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.12.010>
- Mendes, A. P., Brown, W. S., Sapienza, C., & Rothman, H. B. (2006). Effects of vocal training on respiratory kinematics during singing tasks. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 58(5), 363–377.
<http://doi.org/10.1159/000094570>
- Mendes, A. P., Rothman, H. B., Sapienza, C., & Brown, W. S. (2003). Effects of Vocal Training on the Acoustic Parameters of the Singing Voice. *Journal of Voice*, 17(4), 529–543. [http://doi.org/10.1067/S0892-1997\(03\)00083-3](http://doi.org/10.1067/S0892-1997(03)00083-3)
- Mendes Laureano, J., Sa, M. F. S., Ferriani, R. A., & Romao, G. S. (2009). Variations of Jitter and Shimmer Among Women in Menacme and Postmenopausal Women. *Journal of Voice*, 23(6), 687–689.
<http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.04.005>
- Michelsen, A., & Elsner, N. (1999). Sound emission and the acoustic far field of a singing acridid grasshopper (*Omocestus viridulus* L.). *The Journal of Experimental Biology*, 202(12), 1571–1577.
- Milner-Brown, H. S., & Lee, R. G. (1975). Synchronization of human motor units: Possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38(3), 245–254.
[http://doi.org/10.1016/0013-4694\(75\)90245-X](http://doi.org/10.1016/0013-4694(75)90245-X)
- Miloyan, B., Byrne, G. J., & Pachana, N. a. (2015). Threshold and Subthreshold Generalized Anxiety Disorder in Later Life. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 23(6), 633–641.
<http://doi.org/10.1016/j.jagp.2014.08.010>
- Mitchell, D. B., Brown, a S., & Murphy, D. R. (1990). Dissociations between procedural and episodic memory:

- Effects of time and aging. *Psychology and Aging*, 5(2), 264–276. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.5.2.264>
- Moore, G. P. (1938). Motion picture studies of the vocal folds and vocal attack. *Journal of Speech Disorders*, 3(4), 235–238. <http://doi.org/10.1044/jshd.0304.235>
- Moore, G. P. (1968). Otolaryngology and speech pathology. *Laryngoscope*, 78(9), 1500–1509. <http://doi.org/10.1288/00005537-196809000-00006>
- Moore, G. P. (1971). *Organic Voice Disorders*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Morris, R. J., & Brown, W. S. (1994). Age-related differences in speech intensity among adult females. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 46(2), 64–69.
- Morris, R. J., Brown, W. S., Hicks, D. M., & Howell, E. (1995). Phonational profiles of male trained singers and nonsingers. *Journal of Voice*, 9(2), 142–148.
- Mulac, A., & Giles, H. (1996). "Your're Only As Old As You Sound": Perceived Vocal Age and Social Meanings. *Health Communication*, 8(3), 199–215. <http://doi.org/10.1207/s15327027hc0803>
- Naumanen, P. (2006). The health promotion model as assessed by ageing workers. *Journal of Clinical Nursing*, 15(2), 219–226. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2006.01255.x>
- Nemr, K., Simões-Zenari, M., Cordeiro, G. F., Tsuji, D., Ogawa, A. I., Ubrig, M. T., & Menezes, M. H. M. (2012). GRBAS and cape-V scales: High reliability and consensus when applied at different times. *Journal of Voice*, 26(6), 17–22. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2012.03.005>
- Netter, F. H. (1989). *Atlas of Human Anatomy*. (S. Colacino, Ed.). Summit, NJ: CIBA-GEIGY Corporation.
- Nicastri, M., Chiarella, G., Gallo, L. V., Catalano, M., & Cassandro, E. (2004). Multidimensional Voice Program (MDVP) and amplitude variation parameters in euphonic adult subjects. Normative study. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 24(6), 337–341.
- Nichol, H., Morrison, M. D., & Rammage, L. A. (1993). Interdisciplinary Approach to Functional Voice Disorders - the Psychiatrists Role. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 108(6), 643–647.
- Nilsson, L.-G. (2003). Memory function in normal aging. *Acta Neurologica Scandinavica*, 107, 7–13. <http://doi.org/10.1034/j.1600-0404.107.s179.5.x>
- Nyberg, L., Lovden, M., Riklund, K., Lindenberger, U., & Backman, L. (2012). Memory aging and brain maintenance. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(5), 292–305. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2012.04.005>
- Oberauer, K., & Kliegl, R. (2001). Beyond resources: Formal models of complexity effects and age differences in working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13(1–2), 187–215. <http://doi.org/10.1080/09541440042000278>
- Öğuz, H., Kılıç, M. A., & Şafak, M. A. (2011). Comparison of results in two acoustic analysis programs : Praat and MDVP. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 41(5), 835–841. <http://doi.org/10.3906/sag-0909-290>
- Ohala, J. J. (1972). How is Pitch Lowered? *The Journal of the Acoustical Society of America*, 52(1), 124. <http://doi.org/10.1121/1.1981808>
- Ohlemiller, K. K. (2004). Age-related hearing loss: the status of Schuknecht's typology. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 12(5), 439–443. <http://doi.org/10.1097/01.moo.0000134450.99615.22>
- Omori, K. (2011). Diagnosis of voice disorders. *Japan Medical Association Journal*, 54(4), 248–253.
- OMS. (2016). *International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)*. Geneva, Switzerland.
- Orlikoff, R. F., & Baken, R. J. (1990). Consideration of the relationship between the fundamental frequency of phonation and vocal jitter. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 42(1), 31–40. <http://doi.org/10.1159/000266017>
- Orth, U., & Robins, R. W. (2013). Understanding the Link Between Low Self-Esteem and Depression. *Current Directions in Psychological Science*, 22(6), 455–460. <http://doi.org/10.1177/0963721413492763>
- Ouwéhand, C., de Ridder, D. T. D., & Bensing, J. M. (2007). A review of successful aging models: Proposing proactive coping as an important additional strategy. *Clinical Psychology Review*, 27(8), 873–884. <http://doi.org/10.1016/j.cpr.2006.11.003>
- Pakhomov, S. V., Smith, G. E., Marino, S., Birnbaum, A., Graff-Radford, N., Caselli, R., ... Knopman, D. S. (2010). A computerized technique to assess language use patterns in patients with frontotemporal dementia. *Journal of Neurolinguistics*, 23(2), 127–144. <http://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2009.12.001>

- Parkin, D. M., Boyd, L., & Walker, L. C. (2011). The fraction of cancer attributable to lifestyle and environmental factors in the UK in 2010. *British Journal of Cancer*, 105(S2), S77–S81. <http://doi.org/10.1038/bjc.2011.489>
- Parsa, V., & Jamieson, D. G. (2001). Acoustic discrimination of pathological voice: sustained vowels versus continuous speech. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 44, 327–339.
- Petersen, S. E., van Mier, H., Fiez, J. A., & Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 853–860.
- Pinto, A. G. L., Crespo, A. N., & Mourão, L. F. (2014). Influence of smoking isolated and associated to multifactorial aspects in vocal acoustic parameters. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 80(1), 60–67. <http://doi.org/10.5935/1808-8694.20140013>
- Pittinsky, T., Shih, M., & Ambady, N. (2000). Will a category cue affect you? Category Cues, Positive Stereotypes and Reviewer Recall for Applicants. *Social Psychology of Education*, 4(1), 53–65.
- Pizolato, R. A., Beltrati Cornacchioni Rehder, M. I., Dos Santos Dias, C. T., De Castro Meneghim, M., Bovi Ambrosano, G. M., Mialhe, F. L., & Pereira, A. C. (2013). Evaluation of the effectiveness of a voice training program for teachers. *Journal of Voice*, 27(5), 603–610. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.04.013>
- Plank, C., Schneider, S., Eysholdt, U., Schützenberger, A., & Rosanowski, F. (2011). Voice- and health-related quality of life in the elderly. *Journal of Voice*, 25(3), 265–268. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.11.002>
- Plant, R., & Younger, R. M. (2000). The interrelationship of subglottic air pressure, fundamental frequency, and vocal intensity during speech. *Journal of Voice*, 14(2), 170–177. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(00\)80024-7](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(00)80024-7)
- Pontes, P., Brasolotto, A., & Behlau, M. (2005). Glottic characteristics and voice complaint in the elderly. *Journal of Voice*, 19(1), 84–94. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.09.002>
- Pontes, P., Yamasaki, R., & Behlau, M. (2006). Morphological and functional aspects of the senile larynx. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 58(3), 151–158. <http://doi.org/10.1159/000091729>
- Prakup, B. (2012). Acoustic measures of the voices of older singers and nonsingers. *Journal of Voice*, 26(3), 341–350. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.05.007>
- Pruchno, R. A., Wilson-Genderson, M., & Cartwright, F. (2010). A two-factor model of successful aging. *Journals of Gerontology - Series B Psychological Sciences and Social Sciences*, 65 B(6), 671–679. <http://doi.org/10.1093/geronb/gbq051>
- Ptacek, P. H., & Sander, E. K. (1966). Age Recognition From Voice. *Journal of Speech, Language, & Hearing Research*, 9(2), 273–277. <http://doi.org/10.1044/jshr.0902.273>
- Ptacek, P. H., Sander, E. K., Maloney, W. H., & Jackson, C. C. R. (1966). Phonatory and related changes with advanced age. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 9(3), 353–361. <http://doi.org/10.1044/jshr.0903.353>
- Rabinov, C. R., Kreiman, J., Gerratt, B. R., & Bielamowicz, S. (1995). Comparing reliability of perceptual ratings of roughness and acoustic measure of jitter. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38(1), 26–32.
- Radvansky, G. A., & Curiel, J. M. (1998). Narrative comprehension and aging: the fate of completed goal information. *Psychology and Aging*, 13(1), 69–79. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.13.1.69>
- Ramig, L. A. (1983). Effects of physiological aging on speaking and reading rates. *Journal of Communication Disorders*, 16(3), 217–226. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(83\)90035-7](http://doi.org/10.1016/0021-9924(83)90035-7)
- Ramig, L. A., & Ringel, R. L. (1983). Effects of physiological aging on selected acoustic characteristics of voice. *Journal of Speech and Hearing Research*, 26(1), 22–30. <http://doi.org/10.1044/jshr.2601.22>
- Ramig, L. O., Countryman, S., O'Brien, C., Hoehn, M., & Thompson, L. (1996). Intensive speech treatment for patients with Parkinson's disease: short-and long-term comparison of two techniques. *Neurology*, 47(6), 1496–1504. <http://doi.org/10.1212/WNL.47.6.1496>
- Ramig, L. O., Gray, S., Baker, K., Corbin-Lewis, K., Buder, E., Luschei, E., ... Smith, M. (2001). The aging voice: a review, treatment data and familial and genetic perspectives. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 53(5), 252–265. <http://doi.org/10.1159/000052680>
- Rao, Y. R. K. (2010). *Analog and digital signals and systems*. New York, NY: Springer.

- Read, C., Buder, E. H., & Kent, R. D. (1992). Speech analysis systems: An evaluation. *Journal of Speech & Hearing Research*, 35(2), 314–332. <http://doi.org/10.1044/jshr.3502.314>
- Revis, J., Giovanni, A., Wuyts, F., & Triglia, J. M. (1999). Comparison of different voice samples for perceptual analysis. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 51(3), 108–116.
- Reynolds, K., Pietrzak, R. H., El-Gabalawy, R., Mackenzie, C. S., & Sareen, J. (2015). Prevalence of psychiatric disorders in U. S. older adults: findings from a nationally representative survey. *World Psychiatry*, 14(1), 74–81. <http://doi.org/10.1002/wps.20193>
- Riketta, M. (2004). Does social desirability inflate the correlation between self-esteem and anxiety? *Psychological Reports*, 94(3), 1232–1234.
- Rogers, W. A. (2000). Attention and aging. In D. C. Park & N. Schwarz (Eds.), *Cognitive Aging: A Primer* (pp. 57–73). Philadelphia: Psychology Press.
- Roos, M. R., Rice, C. L., & Vandervoort, a a. (1997). Age-related changes in motor unit function. *Muscle & Nerve*, 20(6), 679–690. [http://doi.org/http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4598\(199706\)20:6<679::AID-MUS1>3.0.CO;2-1](http://doi.org/http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4598(199706)20:6<679::AID-MUS1>3.0.CO;2-1)
- Rosen, C. a, Lee, A. S., Osborne, J., Zullo, T., & Murry, T. (2004). Development and validation of the voice handicap index-10. *The Laryngoscope*, 114(9), 1549–1556. <http://doi.org/10.1097/00005537-200409000-00009>
- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1987). Human aging: usual and successful. *Science*, 237(4811), 143–149.
- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1997). Successful Aging. *The Gerontologist*, 37(4), 433–440. <http://doi.org/10.1093/geront/37.4.433>
- Roy, N., Barkmeier-Kraemer, J., Eadie, T., Sivasankar, M. P., Mehta, D., Paul, D., & Hillman, R. (2013). Evidence-based clinical voice assessment: A systematic review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 22(2), 212–226. [http://doi.org/10.1044/1058-0360\(2012/12-0014\)](http://doi.org/10.1044/1058-0360(2012/12-0014)
- Roy, N., Stemple, J., Merrill, R. M., & Thomas, L. (2007). Epidemiology of voice disorders in the elderly: preliminary findings. *The Laryngoscope*, 117(4), 628–633. <http://doi.org/10.1097/MLG.0b013e3180306da1>
- Ruiz, P. J. G., Bernardos, V. S., Bartolomé, M., & Torres, A. G. (2007). Capit timed tests quantify age-related motor decline in normal subjects. *Journal of the Neurological Sciences*, 260(1), 283–285. <http://doi.org/10.1016/j.jns.2007.04.034>
- Ryan, E. B., & Capadano, H. L. (1978). Age perceptions and evaluative reactions toward adult speakers. *Journal of Gerontology*, 33(1), 98–102.
- Ryan, E. B., Giles, H., Bartolucci, G., & Henwood, K. (1986). Psycholinguistic and social psychological components of communication by and with the elderly. *Language & Communication*, 6(1–2), 1–24. [http://doi.org/10.1016/0271-5309\(86\)90002-9](http://doi.org/10.1016/0271-5309(86)90002-9)
- Ryan, E. B., & Johnston, D. G. (1987). The Influence of Communication Effectiveness on Evaluations of Younger and Older Adult Speakers. *Journal of Gerontology*, 42(2), 163–164.
- Ryan, R. F., McDonald, J. R., & Devine, K. D. (1955). The pathologic effects of smoking on the larynx. *AMA Archives of Pathology*, 60(5), 472–480.
- Ryan, W. J., & Burk, K. W. (1974). Perceptual and acoustic correlates of aging in the speech of males. *Journal of Communication Disorders*, 7(2), 181–192. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(74\)90030-6](http://doi.org/10.1016/0021-9924(74)90030-6)
- Ryff, C. D. (1989). Beyond Ponce de Leon and life satisfaction: New directions in quest of successful ageing. *International Journal of Behavioral Development*, 12(1), 35–55. <http://doi.org/10.1177/016502548901200102>
- Sadagopan, N., & Smith, A. (2013). Age differences in speech motor performance on a novel speech task. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 56(5), 1552–1566. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2013/12-0293\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2013/12-0293)
- Salthouse, T. A. (2004). What and when of cognitive aging. *Current Directions in Psychological Science*, 13(4), 140–144.
- Sandmann, K., Am Zehnhoff-Dinnesen, A., Schmidt, C. M., Rosslau, K., Lang-Roth, R., Burgmer, M., ... Deuster, D. (2014). Differences between self-assessment and external rating of voice with regard to sex characteristics, age, and attractiveness. *Journal of Voice*, 28(1), 128.e11–128.e18. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.07.007>

- Sapienza, C. M., & Stathopoulos, E. T. (1995). Speech task effects on acoustic and aerodynamic measures of women with vocal nodules. *Journal of Voice*, 9(4), 413–418. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80203-6](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80203-6)
- Sataloff, R. T., Rosen, D. C., Hawkshaw, M., & Spiegel, J. R. (1997). The aging adult voice. *Journal of Voice*, 11(2), 156–160. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(97\)80072-0](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(97)80072-0)
- Sato, K., Umeno, H., & Nakashima, T. (2010). Functional histology of the macula flava in the human vocal fold-Part 2: Its role in the growth and development of the vocal fold. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 62(6), 263–270. <http://doi.org/10.1159/000316962>
- Sato, T., & Tauchi, H. (1982). Age changes in human vocal muscle. *Mechanisms of Ageing & Development*, 18(1), 67–74. [http://doi.org/10.1016/0047-6374\(82\)90031-8](http://doi.org/10.1016/0047-6374(82)90031-8)
- Sauder, C., Roy, N., Tanner, K., Houtz, D. R., & Smith, M. E. (2010). Vocal function exercises for presbylaryngis: A multidimensional assessment of treatment outcomes. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 119(7), 460–467. <http://doi.org/10.1177/000348941011900706>
- Scherer, K. R. (1995). Expression of emotion in voice and music. *Journal of Voice*, 9(3), 235–248. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80231-0](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80231-0)
- Schindler, A., Mozzanica, F., Ginocchio, D., Invernizzi, A., Peri, A., & Ottaviani, F. (2012). Voice-related quality of life in patients after total and partial laryngectomy. *Auris, Nasus, Larynx*, 39(1), 77–83. <http://doi.org/10.1016/j.anl.2011.03.009>
- Schneider, B., van Trotsenburg, M., Hanke, G., Bigenzahn, W., & Huber, J. (2004). Voice impairment and menopause. *Menopause*, 11(2), 151–158. <http://doi.org/10.1097/01.GME.0000094192.24934.46>
- Schuknecht, H. F., & Gacek, M. R. (1993). Cochlear pathology in presbycusis. *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 102(1 Pt 2), 1–16.
- Schvartz, K. C., & Chatterjee, M. (2012). Gender identification in younger and older adults: use of spectral and temporal cues in noise-vocoded speech. *Ear and Hearing*, 33(3), 411–420. <http://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31823d78dc>
- Schweppé, J., & Rummer, R. (2007). Shared representations in language processing and verbal short-term memory: The case of grammatical gender. *Journal of Memory and Language*, 56(3), 336–356. <http://doi.org/10.1016/j.jml.2006.03.005>
- Searl, J. P., Gabel, R. M., & Fulks, J. S. (2002). Speech disfluency in centenarians. *Journal of Communication Disorders*, 35(5), 383–392. [http://doi.org/10.1016/S0021-9924\(02\)00084-9](http://doi.org/10.1016/S0021-9924(02)00084-9)
- Searle, J. R. (1969). *Speech acts: an essay in the philosophy of language*. London: Cambridge U.P.
- Seikel, J. A., King, D. W., & Drumright, D. G. (2010). *Anatomy and Physiology for Speech, Language and Hearing* (Fourth Edi). Clifton Park, NY: Delmar, Cengage Learning.
- Shaker, R., & Lang, I. M. (1994). Effect of aging on the deglutitive oral, pharyngeal, and esophageal motor function. *Dysphagia*, 9(4), 221–228. <http://doi.org/10.1007/BF00301914>
- Shipp, T., & Hollien, H. (1969). Perception of the aging male voice. *Journal of Speech and Hearing Research*, 12, 703–710.
- Shipp, T., Qi, Y., Huntley, R., & Hollien, H. (1992). Acoustic and temporal correlates of perceived age. *Journal of Voice*, 6(3), 211–216. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80145-6](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80145-6)
- Singing. (2016). Retrieved March 1, 2016, from <http://www.britannica.com/art/singing>
- Sipilä, S., & Suominen, H. (1993). Muscle ultrasonography and computed tomography in elderly trained and untrained women. *Muscle & Nerve*, 16(3), 294–300. <http://doi.org/10.1002/mus.880160309>
- Sipilä, S., Viitasalo, J., Era, P., & Suominen, H. (1991). Muscle strength in male athletes aged 70-81 years and a population sample. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(5), 399–403. <http://doi.org/10.1007/BF00364469>
- Smith, B. L., Wasowicz, J., & Preston, J. (1987). Temporal characteristics of the speech of normal elderly adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30(4), 522–529. <http://doi.org/10.1044/jshr.3004.522>
- Smith, C. D., Walton, A., Loveland, A. D., Umberger, G. H., Kryscio, R. J., & Gash, D. M. (2005). Memories that last in old age: Motor skill learning and memory preservation. *Neurobiology of Aging*, 26(6), 883–890. <http://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2004.08.014>
- Smith, M. E., Ramig, L. O., Dromey, C., Perez, K. S., & Samandari, R. (1995). Intensive voice treatment in

- parkinson disease: Laryngostroboscopic findings. *Journal of Voice*, 9(4), 453–459. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80210-3](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80210-3)
- Solhaug, H. I., Romuld, E. B., Romild, U., & Stordal, E. (2012). Increased prevalence of depression in cohorts of the elderly: an 11-year follow-up in the general population – the HUNT study. *International Psychogeriatrics*, 24(1), 151–158. <http://doi.org/10.1017/S1041610211001141>
- Solomon, N. P., Garlitz, S. J., & Milbrath, R. L. (2000). Respiratory and laryngeal contributions to maximum phonation duration. *Journal of Voice*, 14(3), 331–340. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(00\)80079-X](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(00)80079-X)
- Sorensen, D., & Horii, Y. (1982). Cigarette smoking and voice fundamental frequency. *Journal of Communication Disorders*, 15(2), 135–144. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(82\)90027-2](http://doi.org/10.1016/0021-9924(82)90027-2)
- Sorensen, D., & Horii, Y. (1984). Directional perturbation factors for jitter and for shimmer. *Journal of Communication Disorders*, 17(3), 143–151. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(84\)90007-8](http://doi.org/10.1016/0021-9924(84)90007-8)
- Sowislo, J. F., & Orth, U. (2013). Does Low Self-Esteem Predict Depression and Anxiety? A Meta-Analysis of Longitudinal Studies. *Psychological Bulletin*, 139(1), 213–240. <http://doi.org/10.1037/a0028931>
- Spaniol, J., Madden, D. J., & Voss, A. (2006). A diffusion model analysis of adult age differences in episodic and semantic long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(1), 101–117. <http://doi.org/10.1037/0278-7393.32.1.101>
- Sparks, R., Helm, N., & Albert, M. (1974). Aphasia Rehabilitation Resulting from Melodic Intonation Therapy. *Cortex*, 10(4), 303–316.
- Speyer, R., Bogaardt, H. C. A., Passos, V. L., Roodenburg, N. P. H. D., Zumach, A., Heijnen, M. A. M., ... Brunings, J. W. (2010). Maximum Phonation Time: Variability and Reliability. *Journal of Voice*, 24(3), 281–284. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.10.004>
- Stahl, B., & Kotz, S. A. (2014). Facing the music: three issues in current research on singing and aphasia. *Frontiers in Psychology*, 5, 1–4. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01033>
- Stathopoulos, E. T., Huber, J. E., & Sussman, J. E. (2011). Changes in acoustic characteristics of the voice across the life span: measures from individuals 4–93 years of age. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54(4), 1011–1021. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/10-0036\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/10-0036))
- Stathopoulos, E. T., & Sapienza, C. (1993). Respiratory and laryngeal function of women and men during vocal intensity variation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36(1), 64–75. <http://doi.org/10.1044/jshr.3601.64>
- Stathopoulos, E. T., & Sapienza, C. M. (1997). Developmental changes in laryngeal and respiratory function with variations in sound pressure level. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 40(3), 595–614.
- Statistiques Canada. (2011). *Recensement de 2011*. Ottawa.
- Statistiques Canada. (2014). *Fumeurs, selon le sexe, provinces et les territoires*. Ottawa.
- Steffens, D. C., Fisher, G. G., Langa, K. M., Potter, G. G., & Plassman, B. L. (2009). Prevalence of depression among older Americans: the Aging, Demographics and Memory Study. *International Psychogeriatrics*, 21(5), 879–888. <http://doi.org/10.1017/S1041610209990044>
- Stein-Rubin, C., & Fabus, R. (2012). *A Guide to Clinical Assessment and Professional Report Writing in Speech-Language Pathology* (First Edit). Clifton Park, NY: Delmar, Cengage Learning.
- Stemple, J. C. (1993). *Voice Therapy: Clinical Studies*. St-Louis: Mosby.
- Stenklev, N. C., & Laukli, E. (2004). Presbyacusis-hearing thresholds and the ISO 7029. *International Journal of Audiology*, 43(5), 295–306. <http://doi.org/10.1080/14992020400050039>
- Steverink, N., Westerhof, G. J., Bode, C., & Dittmann-Kohli, F. (2001). The personal experience of aging, individual resources, and subjective well-being. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 56(6), 364–373.
- Stice, E., Fisher, M., & Martinez, E. (2004). Eating disorder diagnostic scale: Additional evidence of reliability and validity. *Psychological Assessment*, 16(1), 60–71. <http://doi.org/10.1037/1040-3590.16.1.60>
- Stowe, L. M., & Golob, E. J. (2013). Evidence that the Lombard effect is frequency-specific in humans. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(1), 640. <http://doi.org/10.1121/1.4807645>
- Sundberg, J., Titze, I., & Scherer, R. (1993). Phonatory control in male singing: a study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency, and mode of phonation on the voice source. *Journal of*

- Voice, 7(1), 15–29. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80108-0](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80108-0)
- Sussman, J. E., & Sapienza, C. (1994). Articulatory, developmental, and gender effects on measures of fundamental frequency and jitter. *Journal of Voice*, 8(2), 145–156. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80306-6](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80306-6)
- Švec, J. G., & Granqvist, S. (2010). Guidelines for selecting microphones for human voice production research. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 19(4), 356–368. [http://doi.org/10.1044/1058-0360\(2010/09-0091](http://doi.org/10.1044/1058-0360(2010/09-0091)
- Takahashi, H., & Koike, Y. (1975). Some perceptual dimensions and acoustical correlates of pathologic voices. *Acta Oto-Laryngologica*, 338, 1–24.
- Tay, E. Y. L., Phyland, D. J., & Oates, J. (2012). The effect of vocal function exercises on the voices of aging community choral singers. *Journal of Voice*, 26(5), 672.e19–672.e27. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.12.014>
- Teles-Magalhães, L. C., Pegoraro-Krook, M. I., & Pegoraro, R. (2000). Study of the elderly females' voice by phonotography. *Journal of Voice*, 14(3), 310–321. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(00\)80077-6](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(00)80077-6)
- Tillmann, B., Rudert, H., Schunke, M., & Werner, J. A. (1995). Morphological studies on the pathogenesis of Reinke's edema. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 252(8), 469–474. <http://doi.org/10.1007/BF02114753>
- Timcke, R., Von Leden, H., & Moore, P. (1958). Laryngeal vibrations: Measurements of the glottic wave. Part I. The normal vibratory cycle. *AMA Archives of Otolaryngology*, 68(1), 1–19. <http://doi.org/10.1001/archtol.1958.00730020005001>
- Titze, I. R. (1994). *Principles of Voice Production*. Michigan: Prentice Hall.
- Titze, I. R. (2008). The human instrument. *Scientific American*, 298(1), 94–101. <http://doi.org/10.1038/scientificamerican0108-94>
- Titze, I. R. (2011). Vocal fold mass is not a useful quantity for describing F0 in vocalization. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 54(2), 520–522. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/09-0284\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/09-0284)
- Titze, I. R., & Sundberg, J. (1992). Vocal intensity in speakers and singers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 91(5), 2936–2946. <http://doi.org/10.1121/1.402929>
- Torre, P., & Barlow, J. A. (2009). Age-related changes in acoustic characteristics of adult speech. *Journal of Communication Disorders*, 42(5), 324–333. <http://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2009.03.001>
- Tremblay, P., & Deschamps, I. (2015). Structural brain aging and speech production: a surface-based brain morphometry study. *Brain Structure and Function*, *Epub ahead*. <http://doi.org/10.1007/s00429-015-1100-1>
- Troup, G. J. (1981). The physics of the singing voice: Measurements on the voices and vocal apparatus of trained singers, and their interpretation. *Physics Reports*, 74(5), 379–401. [http://doi.org/10.1016/0370-1573\(81\)90180-0](http://doi.org/10.1016/0370-1573(81)90180-0)
- Tucker-Drob, E. M. (2011). Neurocognitive Functions and Everyday Functions Change Together in Old Age. *Neuropsychology*, 25(3), 368–377. <http://doi.org/10.1037/a0022348>
- Tun, P. A., Williams, V. A., Small, B. J., & Hafer, E. R. (2012). The effects of aging on auditory processing and cognition. *American Journal of Audiology*, 21(2), 344–350. [http://doi.org/10.1044/1059-0889\(2012/12-0030\)](http://doi.org/10.1044/1059-0889(2012/12-0030))
- Ullman, M. T. (2001). A neurocognitive perspective on language: the declarative/procedural model. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(10), 717–726. <http://doi.org/10.1038/35094573>
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1–2), 231–270. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.008>
- Ullman, M. T., Corkin, S., Coppola, M., Hickok, G., Growdon, J. H., Koroshetz, W. J., ... S., P. (1997). A Neural Dissociation within Language: Evidence That the Mental Dictionary Is Part of Declarative Memory, and That Grammatical Rules Are Processed by the Procedural System. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(2), 266–276. <http://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.2.266>
- Van der Meulen, I., Van de Sandt-Koenderman, W. M. E., Heijenbrok-Kal, M. H., Visch-Brink, E. G., & Ribbers, G. M. (2014). The Efficacy and Timing of Melodic Intonation Therapy in Subacute Aphasia. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 28(6), 536–544. <http://doi.org/10.1177/1545968313517753>

- Van Emmerik, R. E. A., McDermott, W. J., Haddad, J. M., & Van Wegen, E. E. H. (2005). Age-related changes in upper body adaptation to walking speed in human locomotion. *Gait & Posture*, 22(3), 233–239. <http://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.09.006>
- Van Gogh, C. D. L., Mahieu, H. F., Kuik, D. J., Rinkel, R. N. P. M., Langendijk, J. A., & Verdonck-De Leeuw, I. M. (2007). Voice in early glottic cancer compared to benign voice pathology. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 264(9), 1033–1038. <http://doi.org/10.1007/s00405-007-0313-1>
- Van Gogh, C. D. L., Verdonck-de Leeuw, I. M., Boon-Kamma, B. a, Rinkel, R. N. P. M., de Bruin, M. D., Langendijk, J. a, ... Mahieu, H. F. (2006). The efficacy of voice therapy in patients after treatment for early glottic carcinoma. *Cancer*, 106(1), 95–105. <http://doi.org/10.1002/cncr.21578>
- Van Gogh, C. D. L., Verdonck-de Leeuw, I. M., Langendijk, J. a, Kuik, D. J., & Mahieu, H. F. (2012). Long-term efficacy of voice therapy in patients with voice problems after treatment of early glottic cancer. *Journal of Voice*, 26(3), 398–401. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.06.002>
- Van Houtte, E., Van Lierde, K., & Claeys, S. (2011). Pathophysiology and treatment of muscle tension dysphonia: A review of the current knowledge. *Journal of Voice*, 25(2), 202–207. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.10.009>
- Verdonck-de Leeuw, I. M., & Mahieu, H. F. (2004). Vocal aging and the impact on daily life: a longitudinal study. *Journal of Voice*, 18(2), 193–202. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2003.10.002>
- Verduyckt, I., Remacle, M., & Morsomme, D. (2015). On the accuracy of adults' auditory perception of normophonic and dysphonic children's personality. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 40(3), 136–147. <http://doi.org/10.3109/14015439.2014.915983>
- Verhaegen, C., Poncelet, M., Albert, M. L., Spiro, A., Sayers, K. J., Cohen, J. A., ... De Wilde, V. (2013). Changes in Naming and Semantic Abilities With Aging From 50 to 90 years. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 19(2), 119–126. <http://doi.org/10.1017/S1355617712001178>
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary scores: a meta-analysis. *Psychology and Aging*, 18(2), 332–339. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.18.2.332>
- Vincent, I., & Gilbert, H. R. (2012). The effects of cigarette smoking on the female voice. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 37(1), 22–32. <http://doi.org/10.3109/14015439.2011.638673>
- von Békésy, G. (1956). Current status of theories of hearing. *Science*, 123(3201), 779–783.
- von Békésy, G. (1970). Travelling Waves as Frequency Analysers in the Cochlea. *Nature*, 225(5239), 1207–1209. <http://doi.org/10.1038/2251207a0>
- Waldron-Perrine, B., & Axelrod, B. N. (2012). Determining an appropriate cutting score for indication of impairment on the Montreal Cognitive Assessment. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 27(11), 1189–1194. <http://doi.org/10.1002/gps.3768>
- Wassertheil-Smoller, S., Arredondo, E. M., Cai, J., Castaneda, S. F., Choca, J. P., Gallo, L. C., ... Zee, P. C. (2014). Depression, anxiety, antidepressant use, and cardiovascular disease among Hispanic men and women of different national backgrounds: results from the Hispanic Community Health Study/Study of Latinos. *Annals of Epidemiology*, 24(11), 822–830. <http://doi.org/10.1016/j.annepidem.2014.09.003>
- Watson, D., Suls, J., & Haig, J. (2002). Global self-esteem in relation to structural models of personality and affectivity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83(1), 185–197. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.83.1.185>
- Wegener, I., Geiser, F., Alfert, S., Mierke, J., Imbierowicz, K., Kleiman, A., ... Conrad, R. (2015). Changes of explicitly and implicitly measured self-esteem in the treatment of major depression: Evidence for implicit self-esteem compensation. *Comprehensive Psychiatry*, 58, 57–67. <http://doi.org/10.1016/j.comppsych.2014.12.001>
- Welsh, L. W., Welsh, J. J., & Healy, M. P. (1985). Central presbycusis. *The Laryngoscope*, 95(2), 128–136. <http://doi.org/10.1288/00005537-198502000-00002>
- Whitehead, R. L., & Whitehead, B. H. (1985). Acoustic characteristics of vocal tension/harshness in the speech of the hearing impaired. *Journal of Communication Disorders*, 18(5), 351–361. [http://doi.org/10.1016/0021-9924\(85\)90025-5](http://doi.org/10.1016/0021-9924(85)90025-5)
- Wilcox, K. A., & Horii, Y. (1980). Age and changes in vocal jitter. *Journal of Gerontology*, 35(2), 194–198. <http://doi.org/doi: 10.1093/geronj/35.2.194>

- Williams, E. D., Tillin, T., Richards, M., Tuson, C., Chaturvedi, N., Hughes, a. D., & Stewart, R. (2015). Depressive symptoms are doubled in older British South Asian and Black Caribbean people compared with Europeans: Associations with excess co-morbidity and socioeconomic disadvantage. *Psychological Medicine*, 45(9), 1861–1871. <http://doi.org/10.1017/S0033291714002967>
- Winkworth, A. L., Davis, P. J., Ellis, E., & Adams, R. D. (1994). Variability and consistency in speech breathing during reading: lung volumes, speech intensity, and linguistic factors. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37(3), 535–556. <http://doi.org/10.1044/jshr.3703.535>
- Wolf, S. K., Stanley, D., & Sette, W. J. (1935). Quantitative Studies on the Singing Voice. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 6, 255–266. <http://doi.org/10.1121/1.1915745>
- Wolfe, V., & Martin, D. (1997). Acoustic correlates of dysphonia: Type and severity. *Journal of Communication Disorders*, 30(5), 403–416. [http://doi.org/10.1016/S0021-9924\(96\)00112-8](http://doi.org/10.1016/S0021-9924(96)00112-8)
- Wrycza Sabol, J., Lee, L., & Stemple, J. C. (1995). The value of vocal function exercises in the practice regimen of singers. *Journal of Voice*, 9(1), 27–36. [http://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80220-6](http://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80220-6)
- Wu, Z., Schimmele, C. M., & Chappell, N. L. (2012). Aging and Late-Life Depression. *Journal of Aging and Health*, 24(1), 3–28. <http://doi.org/10.1177/0898264311422599>
- Wuyts, F. L., De Bodt, M. S., Molenberghs, G., Remacle, M., Heylen, L., Millet, B., ... Van de Heyning, P. H. (2000). The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *Journal of Speech, Language, & Hearing Research*, 43(3), 796–809. <http://doi.org/10.1044/jslhr.4303.796>
- Ximenes Filho, J. A., Tsuji, D. H., do Nascimento, P. H. S., & Sennes, L. U. (2003). Histologic changes in human vocal folds correlated with aging: a histomorphometric study. *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 112(10), 894–898. <http://doi.org/10.1177/000348940311201012>
- Xue, S. A., & Deliyiski, D. D. (2001). Effects of aging on selected acoustic voice parameters: preliminary normative data and educational implications. *Educational Gerontology*, 27(2), 159–168. <http://doi.org/10.1080/03601270151075561>
- Yanagihara, N. (1967). Significance of harmonic change and noise components in hoarseness. *Journal of Speech and Hearing Research*, 10(3), 531–541.
- Yiu, E., Worrall, L., Longland, J., & Mitchell, C. (2000). Analysing vocal quality of connected speech using Kay's computerized speech lab: a preliminary finding. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 14(4), 295–305.
- Yumoto, E., Gould, W. J., & Baer, T. (1982). Harmonics-to-noise ratio as an index of the degree of hoarseness. *Journal of the Acoustical Society of America*, 71(6), 1544–1549. <http://doi.org/10.1044/jshr.2701.02>
- Yumoto, E., Sasaki, Y., & Okamura, H. (1984). Harmonics-to-Noise Ratio and Psychophysical Measurement of the Degree of Hoarseness. *Journal of Speech and Hearing Research*, 27(1), 2–6. <http://doi.org/10.1044/jshr.2701.02>
- Ziegler, A., & Hapner, E. (2013). Phonation Resistance Training Exercise (PhoRTE) Therapy. In A. Behrman & J. Haskell (Eds.), *Exercises for Voice Therapy* (2nd ed.). San Diego: Plural Publishing.
- Ziegler, A., Verdolini Abbott, K., Johns, M., Klein, A., & Hapner, E. R. (2013). Preliminary data on two voice therapy interventions in the treatment of presbyphonia. *The Laryngoscope*, 124, 1869–1876. <http://doi.org/10.1002/lary.24548>
- Zollinger, S. A., & Brumm, H. (2011). The Lombard effect. *Current Biology*, 21(16), 614–615. <http://doi.org/http://dx.doi.org.acces.bibl.ulaval.ca/10.1016/j.cub.2011.06.003>
- Zraick, R. I., Birdwell, K. Y., & Smith-Olinde, L. (2005). The effect of speaking sample duration on determination of habitual pitch. *Journal of Voice*, 19(2), 197–201. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.01.010>
- Zraick, R. I., Gentry, M. A., Smith-Olinde, L., & Gregg, B. A. (2006). The Effect of Speaking Context on Elicitation of Habitual Pitch. *Journal of Voice*, 20(4), 545–554. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2005.08.008>
- Zraick, R. I., Kempster, G. B., Connor, N. P., Thibeault, S., Klaben, B. K., Bursac, Z., ... Glaze, L. E. (2011). Establishing validity of the consensus auditory-perceptual evaluation of voice (CAPE-V). *American Journal of Speech-Language Pathology*, 20(1), 14–22. [http://doi.org/10.1044/1058-0360\(2010/09-0105](http://doi.org/10.1044/1058-0360(2010/09-0105))
- Zraick, R. I., Marshall, W., Smith-Olinde, L., & Montague, J. C. (2004). The effect of task on determination of

- habitual loudness. *Journal of Voice*, 18(2), 176–182. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2003.09.005>
- Zraick, R. I., Risner, B. Y., Smith-Olinde, L., Gregg, B. A., Johnson, F. L., & McWeeny, E. K. (2007). Patient Versus Partner Perception of Voice Handicap. *Journal of Voice*, 21(4), 485–494.
<http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.06.006>
- Zraick, R. I., Wendel, K., & Smith-Olinde, L. (2005). The effect of speaking task on perceptual judgment of the severity of dysphonic voice. *Journal of Voice*, 19(4), 574–581. <http://doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.08.009>
- Zuckerman, M., & Driver, R. E. (1989). What sounds beautiful is good: The vocal attractiveness stereotype. *Journal of Nonverbal Behavior*, 13(2), 67–82. <http://doi.org/10.1007/BF00990791>

Annexes

Annexe 1. La bise et le soleil (International Phonetic Association, 1999)

La bise et le soleil se disputaient, chacun assurant qu'il était le plus fort, quand ils ont vu un voyageur qui s'avancait, enveloppé dans son manteau. Ils sont tombés d'accord que celui qui arriverait le premier à faire ôter son manteau au voyageur serait regardé comme le plus fort. Alors, la bise s'est mise à souffler de toute sa force, mais plus elle soufflait, plus le voyageur serrait son manteau autour de lui et à la fin, la bise a renoncé à le lui faire ôter. Alors le soleil a commencé à briller et au bout d'un moment, le voyageur, réchauffé a ôté son manteau. Ainsi, la bise a dû reconnaître que le soleil était le plus fort des deux.

Annexe 2. Exemple d'illustration utilisée pour assister le rappel

