

3

Mécanismes physiologiques de la voix

Sur le plan anatomo-physiologique, la production de la parole nécessite : une source d'énergie (les poumons) ; un transducteur d'énergie permettant la transformation de l'énergie aérienne en onde acoustique (les plis vocaux, anciennement appelés les cordes vocales) ; un système permettant de mettre en forme l'énergie sonore pour produire de la parole (le conduit vocal formé par les articulateurs et les cavités de résonance). Ce modèle est basé sur les théories énoncées par Fant (1970). Le larynx produit un son qui est ensuite « filtré » par le conduit vocal pour faire ressortir les caractéristiques de chaque phonème (unité linguistique minimale). Les articulateurs sont les structures anatomiques dont la morphologie se modifie pendant la parole telles les lèvres, la langue, le pharynx, le voile du palais et le larynx supraglottique. Les résonateurs sont les cavités de résonance (pharynx, cavités buccale et nasale) et les cavités rigides naso-sinusiennes qui interviennent pour modifier le son laryngé. La trachée, dans certains cas de dysphonie, se comporte comme un résonateur. Les modifications de la configuration du conduit vocal, comme par exemple la position de la langue, créent des modifications des fréquences de résonance. Celles-ci modifient les propriétés spectrales des sons de parole appelées formants. La parole est le résultat de l'effet du filtre acoustique du conduit vocal sur la source sonore laryngée (Fant, 1970).

Ladefoged (1988) a défini la qualité vocale comme étant le résultat d'une configuration glottique produisant un son qui est ensuite modulé par le conduit vocal. Cette définition est très générale et s'applique à toutes les productions vocales qu'elles soient normales ou dysphoniques. Elle prend en compte les deux dimensions de la voix représentées par le son laryngé et la fonction laryngée. L'évaluation d'une dysphonie comportera donc toujours une évaluation du son laryngé et de la fonction laryngée.

Mécanismes physiologiques qui sous-tendent la production des sons de la parole

« La vibration des cordes vocales résulte de l'étroite combinaison entre le débit aérien qui écarte les cordes vocales et les effets musculaires, élas-

tiques, et de Bernoulli qui les rapprochent » (Blomgren, 1998 ; Jiang, 2000).

La voix est produite par la transformation de l'énergie aérienne en énergie acoustique. Cette transformation est sous la dépendance de plusieurs facteurs qui sont d'origine : aérodynamique (pression sous-glottique), biomécanique (masse, raideur, viscosité du vibreur, tension et contraction des muscles intrinsèques et extra-laryngés). Le signal acoustique, aussi appelé son laryngé, traverse un ensemble de structures supraglottiques et supra-laryngées appelé conduit vocal. Les caractéristiques acoustiques du conduit vocal ont aussi un rôle sur le timbre et la qualité vocale.

Facteurs d'origine aérodynamique

Les mécanismes laryngés de la phonation sont actuellement en partie expliqués par le modèle « myoélastique-aérodynamique ». En effet, la phonation humaine dépend de plusieurs facteurs aérodynamiques : la pression sous-glottique, le débit aérien phonatoire et l'ouverture glottique à la phonation qui détermine la résistance laryngée.

L'énergie pulmonaire lors d'une expiration active avec la mise en jeu des muscles intercostaux et abdominaux est utilisée, chez le sujet normal, pour la phonation. Une augmentation de la pression sous-glottique provoque une faible augmentation de la fréquence fondamentale (F0), mais surtout une augmentation de l'intensité sonore (Titze, 1989). La mesure des performances laryngées extrêmes (production sonore dans l'étendue complète de la voix, du moins intense au plus sonore et du plus grave au plus aigu) peut se mesurer grâce au phonétogramme (Woodson et Cannito, 1998 ; Heylen et coll., 2002). Une diminution de ces capacités a été corrélée à certaines dysphonies. Cette mesure nécessite, cependant, un certain entraînement de la part du patient et ne constitue pas un examen de routine en consultation.

Les mesures aérodynamiques évaluent l'utilisation laryngée de l'air pulmonaire pour la fonction du voisement et de la parole. Les méthodes de mesure employées en pratique clinique courante sont non-invasives. Le temps maximum de phonation (TMP) est un test simple qui permet de quantifier l'utilisation de l'air pulmonaire dans la phonation. Le sujet inspire profondément et tente de faire durer l'émission d'une voyelle tenue (le /a/ en général) le plus longtemps possible. Un temps maximum de phonation normal est de l'ordre de 15 à 20 secondes (Woodson et Cannito, 1998). Ce temps maximum de phonation dépend de la quantité d'air contenu dans les poumons, et par conséquent de la capacité vitale pulmonaire. Le temps maximum de phonation est par définition plus court chez la femme que chez l'homme, et encore plus court chez l'enfant. Les pathologies pulmonaires et la chirurgie pulmonaire réduisent également la capacité vitale. Pour corriger

cet effet du volume pulmonaire, on calcule le quotient phonatoire qui est la capacité vitale divisée par le temps maximum de phonation.

Il est également possible de mesurer le débit aérien phonatoire à l'aide d'un pneumotachographe lors de l'émission d'une voyelle tenue ou pendant la voyelle dans une syllabe répétée. Cet appareil est un transducteur de pression. Il est placé en regard de la bouche du sujet à l'aide d'un masque. Le différentiel de pression de part et d'autre de l'appareil est utilisé pour calculer le débit aérien. La valeur normale du débit aérien phonatoire moyen en phonation confortable est de l'ordre de 165 ml/s (Baken, 1987).

Les méthodes de mesure directe de la pression sous-glottique sont toutes invasives. On peut introduire un capteur de pression dans la sous-glotte par voie trans-laryngée ou trans-trachéale (percutanée). La mesure de la pression œsophagienne a été aussi employée comme estimation de la pression sous-glottique, avec le capteur introduit par voie orale ou nasale. Cependant, la mesure de la pression sous-glottique se fait actuellement le plus souvent par une méthode indirecte développée par Smitheran et Hixon (1981). Cette méthode mesure la pression intra-orale pendant la production d'une syllabe répétée comportant une voyelle et une consonne occlusive non voisée (le /p/ en général). Pendant la production de la consonne, les cordes vocales sont en abduction. La pression s'équilibre entre la sous-glotte et le conduit vocal. La pression mesurée dans le conduit vocal (dans la cavité buccale) est donc équivalente à la pression sous-glottique. Il existe dans le commerce des appareils spécifiques aux mesures aérodynamiques phonatoires, avec les capteurs de pression et de débit ainsi que les logiciels d'analyse. Le recueil des mesures aérodynamiques nécessite de l'entraînement à la fois par celui qui administre les tests et par le sujet qui doit contrôler sa vitesse de parole et l'intensité.

Ces données ne permettent pas de faire un diagnostic étiologique mais permettent d'évaluer le degré de dysfonctionnement laryngé dans les dysphonies.

Facteurs d'origine biomécanique

La phonation humaine dépend aussi de facteurs myoélastiques selon le modèle « myoélastique-aérodynamique » décrit précédemment. Le conduit vocal et le vibrateur laryngé comprennent un ensemble de structures musculo-ligamentaires et membraneuses qui ont chacune des caractéristiques propres en terme de masse, raideur, viscosité du vibrateur, tension et contraction des muscles intrinsèques et extra-laryngés. Ce modèle s'appuie sur la structure des plis vocaux qui est classiquement décrite (selon les travaux de Hirano) comme étant formée par une couche musculaire profonde, un ligament vocal, une couche interstitielle appelée l'espace de Reinke et une muqueuse.

Les facteurs myoélastiques sont déterminés par :

- les caractéristiques des muscles laryngés et en particulier du muscle vocal appelé muscle thyro-aryténoïdien (sa masse et son degré de tension et d'élasticité) ;
- les caractéristiques de la muqueuse des plis vocaux (sa tension, son épaisseur, sa longueur et sa qualité tissulaire) ;
- les caractéristiques de la *lamina propria* (sa viscosité, la présence ou non d'adhérences entre la partie superficielle et le ligament vocal).

Biomécanique des muscles laryngés

La régulation laryngée de la fréquence fondamentale fait intervenir les muscles laryngés (intrinsèques et extrinsèques) associés à la pression de l'air dans la trachée et la région sous-glottique. L'activité musculaire laryngée détermine la position du pli vocal pour réguler la surface de l'ouverture glottique (Berke et Gerratt, 1993). Elle régule aussi les caractéristiques des composantes vibrantes : la muqueuse et le muscle vocal. En phonation normale en mode grave, les muscles adducteurs, et notamment les muscles thyro-aryténoïdiens, crico-aryténoïdiens postérieurs et inter-aryténoïdiens sont actifs, alors que l'activité des muscles cricothyroïdiens est minime (Ayache et coll., 2002). Le muscle thyro-aryténoïdien a pour action de relâcher la muqueuse et d'épaissir le pli vocal, ce qui diminue la fréquence fondamentale du voisement. En mode falsetto correspondant à une augmentation importante de la fréquence fondamentale, l'activité du muscle cricothyroïdien (le muscle tenseur du pli vocal) augmente alors que l'activité du muscle thyro-aryténoïdien diminue. Cependant, les études récentes en électromyographie (EMG) semblent montrer la complexité des interactions musculaires dans le contrôle de la fréquence fondamentale (Ayache et coll., 2002). Les déséquilibres musculaires sont des facteurs non négligeables de dysfonctionnement vocal bien que leur origine ne soit pas toujours simple à déterminer (Vilkman et coll., 1996).

Biomécanique de la muqueuse des plis vocaux

L'ondulation muqueuse est produite par le passage de l'air sous-glottique lors de l'expiration, entre les plis vocaux en adduction. Elle se fait selon trois axes : vertical de bas en haut, horizontal antéropostérieur et transversal. La qualité et la symétrie de vibration sont déterminantes pour le résultat acoustique de la voix (Berke et Gerratt, 1993). Différentes instrumentations sont utilisées pour explorer l'ondulation muqueuse dans un but de compréhension des mécanismes de dysphonie et d'altération du timbre (Hanson et coll., 1995) : la vidéostroboscopie, l'électroglottographie, la photoglottographie et l'électromyographie.

La vidéostroboscopie permet de visualiser les mouvements vibratoires de la muqueuse laryngée. C'est une analyse indirecte de la qualité vocale. La stroboscopie permet la prise d'une image à un moment donné du cycle phonatoire au moyen d'une lumière à déclenchement intermittent. L'assemblage

de ces images, prises pendant des cycles phonatoires successifs, permet de reconstruire visuellement les mouvements d'ondulation de la muqueuse et les mouvements d'abduction et d'adduction du pli vocal lui-même. Cette technique comporte un équipement vidéo (au mieux numérisé) avec un enregistrement. On peut ainsi observer des asymétries vibratoires et les défauts de vibration dans les dysphonies. Mais l'asymétrie physiologique des ondulations muqueuses a été évaluée à environ 10 % dans la population générale sans pathologie laryngée (Haben et coll., 2003). En revanche, les lésions bénignes congénitales ou acquises provoquent toutes des modifications des ondulations muqueuses. La vidéostroboscopie permet de localiser l'anomalie du pli vocal et éventuellement de cibler le traitement chirurgical (Hanson et coll., 1995). La stroboscopie reste néanmoins d'interprétation parfois subjective (présence ou absence d'onde, asymétrie...).

L'électroglottographie est une méthode non invasive de mesure de l'impédance électrique trans-laryngée, au moyen d'électrodes placées de part et d'autre du cartilage thyroïde. À chaque vibration phonatoire, l'impédance décroît (lors du rapprochement des plis vocaux) puis croît (lors de l'écartement de ceux-ci). Il s'agit d'une mesure physiologique fiable de la fréquence fondamentale, à la seule condition d'avoir une fermeture du vibrateur laryngé en phonation. Elle peut être employée pour analyser la fréquence fondamentale de la parole et sur une voyelle tenue (Kania et coll., 2004). Cependant, l'application de la technique nécessite un entraînement de la part de l'examineur, afin de minimiser les variations d'impédance provoquées par les mouvements cervicaux, la sudation et les autres facteurs difficiles à contrôler en pratique. Son utilisation pour l'évaluation des dysphonies n'a pas été validée, et les bases mêmes de la technique sont remises en cause dans certaines pathologies laryngées (comme la paralysie laryngée) et après certaines chirurgies laryngées avec modification des cartilages laryngés.

La photoglottographie est un procédé moins utilisé à l'heure actuelle mais qui permet, de façon peu invasive, d'explorer les mouvements verticaux de la muqueuse des plis vocaux. L'amplitude de l'onde muqueuse varie proportionnellement à l'intensité et inversement proportionnellement à la F_0 et diminue en cas de voix soufflée ou serrée.

Les études de Hanson et coll. (1995) sembleraient montrer que la vitesse d'ouverture de la muqueuse des plis vocaux est corrélée principalement avec le déplacement de la lèvre supérieure des plis vocaux alors que la vitesse de fermeture est corrélée plus spécifiquement avec le déplacement de la lèvre inférieure des plis vocaux. Cette localisation anatomique du point de plus grande amplitude vibratoire serait déterminante pour la compréhension physiopathologique des lésions de « forçage vocal », les nodules étant plus souvent localisés au bord supérieur de la face interne du pli vocal contrairement aux lésions dites « congénitales ». Par exemple, une trop grande pression sous-glottique, en registre grave, à forte intensité, va augmenter l'amplitude de l'ondulation muqueuse qui peut devenir trop importante et être à l'ori-

gine de microtraumatismes responsables d'une modification tissulaire et de l'apparition de nodules.

L'électromyographie est une technique invasive qui nécessite une grande expérience pour le placement des électrodes et pour l'interprétation des données recueillies (Hirose, 1998). Elle permet de distinguer les troubles de la mobilité laryngée soit par atteinte neurogène soit d'origine myogène ou encore lors des atteintes mécaniques de l'articulation crico-aryténoïdienne (luxation, ankylose).

Les vibrations du pli vocal sont néanmoins soumises à des perturbations extérieures comme les mouvements de la tête et du cou, les battements des vaisseaux cervicaux, les mouvements respiratoires et les mouvements du mucus qui recouvre les plis vocaux (Titze, 1992). Ces irrégularités sont normales et confèrent une qualité naturelle, « humaine », au son laryngé, par rapport aux voix obtenues par synthèse vocale. Cependant ces irrégularités, au-delà d'un certain seuil, caractérisent les voix pathologiques.

Biomécanique de l'espace de Reinke

La théorie actuelle dite « corps-couverture » considère que le corps (le muscle vocal) et la couverture (la muqueuse) sont quasi-indépendants (Titze, 1973). La vibration de la « couverture » muqueuse est considérée comme étant un phénomène passif, le rôle éventuel des récepteurs sensitifs ou myotactiques dans la phonation n'ayant pas été démontré. Les vibrations de l'un n'interfèrent pas, en théorie, avec les vibrations de l'autre, car ils sont séparés par la partie superficielle de la *lamina propria* appelée espace de Reinke. La qualité de la phonation serait liée à l'équilibre et l'harmonie de fonctionnement de ces deux structures vibrantes (Gray et coll., 1993).

Au niveau de la partie superficielle du pli vocal, sous la muqueuse, la membrane basale est une zone constituée de protéines qui amarrent l'épithélium à l'espace de Reinke (Gray et coll., 1993). La phonation humaine dépend donc de facteurs liés aux caractéristiques histochimiques de la *lamina propria* et de l'espace de Reinke. En pathologie vocale, ces deux régions sont particulièrement fragiles. Selon Sonninen et coll. (2003), l'ondulation muqueuse se fait selon trois directions (verticale, horizontale antéro-postérieure et latérale) et il décrit cinq mécanismes de traumatismes (tirer, presser, plier, torde, frotter) avec des interactions possibles entre eux. Une certaine vulnérabilité de la membrane basale semble exister lors des mouvements verticaux selon le principe du « coup de fouet », avec une amplitude de l'onde muqueuse croissante du bas vers le haut, et tout particulièrement en registre grave, là où la muqueuse a une amplitude la plus grande. En pathologie vocale, la membrane basale peut être le siège de lésions par arrachement ou désinsertion (Gray, 1993).

Les méthodes d'exploration sont difficiles *in vivo* et ce n'est que l'analyse histologique après exérèse chirurgicale qui permet de préciser le type et le lieu de l'atteinte.

Un constituant de la matrice extracellulaire de l'espace de Reinke est l'acide hyaluronique (AH) qui a un rôle important comme modulateur du comportement et de la fonction cellulaire (Ward et coll., 2002). Il favoriserait la souplesse et le glissement de la muqueuse sur le ligament vocal et participe à l'efficacité du vibrateur laryngé (Chan et coll., 2001). Il a aussi un rôle dans la viscosité des tissus, l'absorption des chocs, le comblement d'espaces (exsudation), la réparation tissulaire en diminuant la fibrose et la cicatrice. L'AH joue un rôle important dans les propriétés biomécaniques de la muqueuse : il maintient un niveau de viscosité qui facilite la phonation et une rigidité qui permet un bon contrôle de la F0.

Facteurs influençant le vibrateur et la production vocale

Toute modification histologique et tissulaire va retentir sur la biomécanique laryngée et se traduire cliniquement par une dysphonie.

Âge et sexe

Nous dépendons de facteurs physiologiques et génétiques comme le sexe et l'âge (Ramig et coll., 2001), devant lesquels nous sommes parfaitement inégaux :

- influence du sexe : les études de Butler et coll. (2001) ont montré que la proportion d'acide hyaluronique dans l'espace de Reinke, chez la femme, était plus faible que chez l'homme, lui conférant une plus grande fragilité, ce qui pourrait expliquer la prévalence des phonotraumatismes chez l'enseignante ;
- influence de l'âge : le vieillissement affecte inégalement chaque individu et peut avoir un effet sur la souplesse des plis vocaux. Les études de Butler et coll. (2001) ont montré que chez l'homme âgé, l'espace de Reinke était plus œdémateux et épais, avec une couche moyenne atrophiée et une couche profonde épaisse et fibreuse. Le muscle vocal devient également atrophié.

Environnement, hydratation et comportement phonatoire

D'autres facteurs rentrent dans le domaine du contrôlable et devraient être explorés pour optimiser nos chances vocales et surtout apprendre à remédier aux troubles qu'ils ont engendrés. La prise en charge pourrait être préventive ou curative (Hallen et coll., 2001). Ces facteurs sont les suivants :

- l'environnement a un rôle sur le bon fonctionnement des plis vocaux : des facteurs physiques (produits inhalés, virus), chimiques (facteurs solubles hormonaux, médicaments), mécaniques (forces, comportement vocal) sont des sources d'agression. Des études sont en cours (Gray et Thibeault, 2002) afin de déterminer le rôle de l'environnement qui agirait, entre autres, sur l'expression des gènes ;
- l'hydratation : les propriétés mécaniques de la muqueuse des cordes vocales sont sensibles aux variations d'humidité qui agissent sur la couche super-

ficielle de la muqueuse. Une bonne hydratation est nécessaire pour une bonne ondulation muqueuse et optimiser le fonctionnement laryngé (Nakagawa et coll., 1998 ; Solomon et Dimattia, 2000). En effet, une déshydratation de l'air a des conséquences sur la viscosité en augmentant la rigidité de la muqueuse des plis vocaux (Ayache et coll., 2004). Plus la viscosité augmente, plus la pression sous-glottique devra être importante pour initier la vibration muqueuse ce qui diminue l'efficacité vocale. Il faut produire plus d'effort pour un résultat identique. Un mucus épais sur les plis vocaux abaisse la F0, ralentit la vibration muqueuse et augmente le temps de contact et l'irrégularité de vibration (Hemler et coll., 2001). La déshydratation est une grande pourvoyeuse de dysphonie et de forçage vocal ;

- le comportement phonatoire : en régulant la manière de vibrer des plis vocaux, le locuteur fixe le timbre ainsi que la hauteur et la sonie de son émission vocale, contrôle l'intonation des phrases, accentue les syllabes et bascule entre le voisement et le non-voisement des sons de parole. Une fréquence fondamentale aggravée est fréquemment retrouvée chez les professionnels de la voix présentant un syndrome de fatigue vocale (Koufman et Blalock, 1988 ; Rantala et coll., 1998 ; Svec et coll., 2003).

Au cours d'une utilisation prolongée de la phonation (au-delà de 3 à 4 heures), des auteurs comme Vintturi (2001) ont mis en évidence des comportements liés à la fatigue vocale avec une modification des paramètres acoustiques et une voix plus forcée. Le manque d'hydratation serait un facteur favorisant une voix plus serrée et plus fatiguée ; les femmes ont plus de signes de tension musculaire « épauls-nuque-dos » que les hommes ; la position assise ou debout influencerait sur la charge vocale, la station debout permettant de mieux contrôler la voix mais favorisant les tensions musculaires scapulo-cervicales. Des intervalles de repos vocal, même brefs (Solomon et Dimattia, 2000), permettraient de préserver la voix. L'échauffement améliore les performances vocales (Elliot et coll., 1995) et l'entraînement vocal semblerait ralentir le vieillissement de la voix (Rantala et coll., 1998 ; Rantala et Vilkmán, 1999 ; Vintturi et coll., 2001).

L'analyse des dysphonies est multidimensionnelle et multiparamétrique, chaque mesure apportant des informations différentes sur les aspects de la production sonore par le larynx. Les mesures objectives varient en fonction du type de dysphonie et de sa sévérité ; aucune mesure ne suffit à elle seule pour caractériser la voix pathologique. L'évaluation perceptive est un des procédés de la batterie des explorations de la voix pathologique.

Évaluation perceptive de la voix

Les variations de la qualité vocale reflètent différents ajustements des organes phonatoires. La qualité de la voix est le son caractéristique de la voix d'un sujet.

Timbre et qualité vocale

Les dysphonies sont caractérisées par une modification de la voix d'origine laryngée, secondaire à une anomalie de la vibration des plis vocaux. Elle se traduit par une altération de ce que l'on appelle la qualité vocale, c'est-à-dire une altération de l'esthétique subjective de la voix. L'altération du timbre vocal est la plainte la plus fréquente dans une dysphonie (Hirano, 1981 ; Kreiman et coll., 1993 ; Hammarberg et Gauffin, 1995).

L'oreille humaine reste à l'heure actuelle la meilleure façon d'évaluer la qualité vocale. Il n'existe pas à ce jour de classification permettant de distinguer les dysphonies d'étiologies différentes. Les premières études ayant porté sur l'évaluation perceptive et la classification de la qualité vocale datent du XIX^e siècle. L'évaluation perceptive cherche à définir les voix entendues d'un point de vue esthétique, phonétique et physiologique (De Bodt et coll., 1996).

L'évaluation perceptive est la méthode la plus utilisée en pratique clinique pour évaluer la voix ; elle est toujours considérée comme la méthode de référence (Voiers, 1977 ; Formigoni et coll., 1985 ; Ladefoged et coll., 1988 ; Klatt et Klatt, 1990 ; Bless, 1991 ; Genovese et coll., 1992 ; Kreiman et coll., 1993). Pour certains, seule l'analyse perceptive permet de valider les autres moyens d'évaluation de la qualité vocale (Kreiman et Gerratt, 1996). Cette évaluation est, et reste, subjective.

Principes de l'évaluation perceptive

L'auditeur effectue une description analytique de la voix au seul moyen de l'écoute et il emploie des adjectifs pour décrire les attributs sonores. Inconsciemment, il compare la voix analysée à ce qu'il considère comme une « voix normale » ; cette représentation personnelle de la voix normale est appelée le « référent interne » (Fex, 1992). Ce référent interne est propre à chaque auditeur et varie en fonction de son expérience, de la langue parlée, de l'âge, du sexe du locuteur, et d'autres facteurs socioculturels (Gelfer, 1988). Il n'existe pas de voix standardisée normale que l'on puisse considérer comme un « référent externe », car chez les sujets normaux la variabilité vocale est telle qu'il est illusoire d'établir un standard auditif.

Échelles d'évaluation perceptive

Les adjectifs employés pour décrire la qualité vocale ont été regroupés pour former des échelles de perception. Les différentes qualités des voix dysphoniques ont été prises en compte pour réaliser de nombreuses échelles d'évaluation dans diverses langues (Laver, 1980 ; Hirano, 1981 ; Laver, 1994 ; Hammarberg et Gauffin, 1995). Certaines des échelles d'évaluation, par leur

complexité, manquent de reproductibilité entre les auditeurs différents. En général, une échelle d'évaluation doit être simple pour ne pas générer de fatigue chez les auditeurs, mais elle doit comporter suffisamment d'informations pour permettre une bonne caractérisation de la voix et la distinction avec les autres voix dysphoniques. Ces échelles d'évaluation manquent de validité concernant la terminologie ; certains termes représentent des caractéristiques sonores qui ont un sens différent selon les auditeurs (Gelfer, 1988). Aucune étude n'a discerné à ce jour les caractéristiques indispensables pour une échelle de perception de la qualité vocale, et le nombre optimum de paramètres à étudier. Il faut noter que certaines caractéristiques vocales sont considérées comme normales dans une langue et pathologiques dans une autre. La notion de normalité d'une voix est un concept basé sur une opinion subjective et donc variable avec les cultures. Un certain degré de raucité peut être par exemple toléré dans une langue et pas dans une autre. La voix « soufflée » est même utilisée pour caractériser certains phonèmes en népalais (Ladefoged et Maddieson, 1998). Toutefois, il semblerait que les caractéristiques d'intensité, de fréquence fondamentale (ou hauteur perçue) et d'irrégularité sont les dimensions les plus pertinentes de la voix (Kempster et coll., 1991).

En pratique clinique, l'échelle d'évaluation GRBAS, fondée sur 5 paramètres (grade, raucité, souffle, asthénie, serrage), semble la plus utilisée à l'heure actuelle (Dejonckere et coll., 1993 et 1996 ; Yamaguchi et coll., 2003) car elle est la plus concise des échelles d'évaluation de la qualité de la voix, et c'est l'outil le plus facile à manier (annexe 1). Chaque paramètre est coté selon quatre degrés de sévérité (0=voix normale ; 1=voix légèrement altérée ; 2=voix altérée ; 3=voix sévèrement altérée) (Wuyts et coll., 1999 ; Yiu et Ng, 2004). Cette échelle a été proposée par Hirano (1981) et inspirée par les travaux d'Isshiki et coll. (1969). Elle peut être appliquée à l'évaluation d'une voyelle tenue (/a/ ou /i/, en général) ou à une phrase ou un texte lu. Elle est une des rares échelles à avoir été validée en corrélation avec une analyse spectrographique des voix pathologiques.

Enfin, selon de Krom (1994), les traits GRBAS, bien que ne couvrant pas toutes les qualités des voix pathologiques, sont les dimensions les plus robustes. On peut cependant reprocher à l'échelle GRBAS de ne se référer qu'au timbre de la voix et de ne pas tenir compte d'autres indices comme les indices temporels (débit phonatoire), prosodiques (intonation, pauses et sonie), et certains facteurs d'instabilité comme le trémor ou la diplophonie.

Règles méthodologiques

Quelle que soit l'échelle d'évaluation employée, certaines données doivent être contrôlées afin d'améliorer leur fiabilité et leur reproductibilité :

- les échantillons vocaux constituant le corpus (le texte ou la voyelle tenue prolongée) doivent être homogènes. Le corpus ne doit être ni trop long pour

ne pas générer de fatigue chez le locuteur et l'auditeur, ni trop court pour fournir assez d'informations acoustiques à l'auditeur (Revis et coll., 1997 ; Revis et coll., 2002) ;

- les auditeurs doivent être choisis selon certains critères en fonction des objectifs de l'étude à réaliser (esthétique, phonétique, linguistique et physiologique) : on peut choisir un groupe d'auditeurs expérimentés (entraînés à entendre des voix pathologiques) ou un groupe d'auditeurs naïfs. D'une façon générale, dans le cadre des dysphonies, la qualité vocale est évaluée de manière plus fine et plus reproductible par des auditeurs expérimentés (De Bodt et coll., 1997) ;
- les conditions de réalisation des tests de perception sont fondamentales ; les auditeurs doivent pouvoir se concentrer sans être gênés par un bruit extérieur (Kreiman et coll., 1992).

L'évaluation perceptive de la voix et de la parole est indispensable pour l'évaluation de la qualité vocale, du degré global de perturbation et de son retentissement sur les possibilités de communication. Elle doit décrire, voire quantifier les différents aspects de la qualité de la voix pathologique d'une façon fiable et reproductible. Pour une application en clinique quotidienne, il faut que cette échelle soit simple et facile à utiliser (De Bodt et coll., 1996).

Handicap et voix

Un trouble de la voix peut avoir un impact bien plus important que ne laisse présager la perturbation acoustique car il retentit sur la vie professionnelle et sociale d'un individu ; il retentit également sur le mental, le physique, l'émotionnel et la communication (Smith et coll., 1996 ; Franic et coll., 2005).

Notion de handicap

Outre l'évaluation perceptive, la notion du vécu des troubles vocaux par le sujet lui-même, du retentissement et des conséquences de la pathologie vocale au quotidien devrait faire partie de l'expertise vocale (Wilson et coll., 2002). Les critères médicaux d'évaluation d'un trouble de la voix ne reflètent pas le degré de handicap de communication. Il est important de laisser la place à l'autoévaluation par le patient de son degré de handicap, ce dernier n'étant pas toujours corrélé à la réalité objective de la dysphonie.

La Classification internationale du handicap par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) considère le degré de handicap comme la conséquence d'un trouble qui limite les activités d'un individu et ceci autant à cause du trouble dit « objectif » que de facteurs personnels et environnementaux, qui peu-

vent modifier la perception que le patient a de son trouble. C'est une définition multidimensionnelle qui admet qu'à trouble similaire, deux personnes peuvent expérimenter des limitations différentes de leur activité, du fait de leurs différences personnelles et environnementales. « Cette classification prend en compte les aspects sociaux du handicap et propose un mécanisme pour établir l'impact de l'environnement social et physique sur le fonctionnement d'une personne. C'est l'environnement qui doit s'adapter à chaque personne et non le contraire ».

La Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) a été reconnue par 191 pays comme la nouvelle norme internationale pour décrire et mesurer la santé et le handicap. Alors que les indicateurs traditionnels se fondent sur les taux de mortalité dans les populations, la CIF fait passer le centre d'intérêt sur la vie, c'est-à-dire la façon dont les gens vivent avec leurs pathologies et améliorent leurs conditions de vie pour avoir une existence productive et enrichissante. Selon l'OMS¹⁰, « la CIF modifie notre vision du handicap, qui n'est plus le problème d'un groupe minoritaire et ne se limite plus à des êtres humains atteints de déficiences visibles ou assis dans des fauteuils roulants ».

Échelles d'autoévaluation

Les échelles d'autoévaluation doivent permettre de répondre aux questions concernant le vécu du patient par rapport à sa voix, au quotidien. Plusieurs outils d'autoévaluation de la qualité de vie sont actuellement à notre disposition :

- le « *Voice Handicap Index* » (VHI) (Jacobson et coll., 1997) : il comprend 30 items regroupés en 3 sous-échelles (physique, émotionnelle, fonctionnelle) de 10 items chacune. Une grille de réponses à cinq degrés de sévérité est proposée. Cette grille s'échelonne de 0 (non, jamais de problème) à 4 (oui, toujours un problème) (annexe 2). On obtient un résultat allant de 0 à 120. On considère alors que plus le score augmente, plus le degré de handicap ressenti augmente et donc que « la qualité de vie » diminue. C'est l'échelle la plus utilisée à l'heure actuelle (Benninger et coll., 1998 ; Murry et Rosen, 2000 ; Rosen et coll., 2000 ; Rosen et Murry, 2000 ; Hogikyan et Rosen, 2002) ;
- le « *Medical Outcomes Study Short Form 36* » (MOS SF-36) (Leplège et coll., 1998) : bien que ce soit un questionnaire générique, le MOS SF-36 est couramment utilisé dans les études sur des pathologies vocales. Cette échelle s'intéresse à huit domaines généralement affectés par une maladie ou un traitement. Cette échelle entre dans le programme d'évaluation internationale de la « qualité de vie » (Ware et Gandec, 1998) ; elle est traduite,

adaptée et validée dans de nombreuses langues afin d'être utilisable dans tous les pays du monde ;

- le « *Voice Related Quality Of Life* » (V-RQOL) (Hogikyan et Sethuraman, 1999) : c'est un instrument de mesure de la répercussion du trouble vocal sur la qualité de vie. Il s'agit d'un autoquestionnaire de 10 items auquel est associée une échelle de réponses de 1 (non, pas de problème) à 5 (oui, beaucoup de problèmes). On obtient un résultat variant de 10 à 50 sur 50. Plus le score augmente, plus la qualité de vie diminue. Les domaines abordés par les questions sont la puissance vocale, l'essoufflement, l'instabilité vocale, l'anxiété et le sentiment dépressif dû au trouble vocal, les difficultés au téléphone ainsi que les répercussions professionnelles et sociales.

D'autres échelles peuvent être utilisées mais ne sont pas traduites et validées en français (Ma et Yiu, 2001 ; Deary et coll., 2004 ; Rosen et coll., 2004 ; Wilson et coll., 2004).

Autoévaluation et personnalité

Les échelles d'autoévaluation consistent à décrire les impressions du patient concernant le vécu de sa voix au quotidien, avec son entourage, l'efficacité de la voix par rapport à l'environnement et aux exigences qui lui sont propres (Murry et coll., 2004). Il doit analyser comment il ressent sa voix d'un point de vue sensoriel (vibrations sonores), auditif (ce qu'il entend de sa voix) et comment il perçoit l'image de sa voix à travers l'oreille de l'autre. Un problème de voix affecte le locuteur dans la clarté de son message mais retentit aussi sur l'attitude générale de l'auditeur et sur sa perception du locuteur. En effet, selon Lallh et Rochet (2000), la perception de la personnalité d'un dysphonique est a priori négative et l'altération du timbre de la voix ou de la résonance, comme le nasonnement, peut amener à un jugement rapide et péjoratif (moins intelligent, moins confiant, moins agréable, moins honnête, moins attirant...).

La voix est un indice exprimant l'état psychologique d'un sujet, sa personnalité, son affect, sa somatisation (anxiété, dépression, névrose, syndrome douloureux fonctionnel), et sa qualité de vie (Deary et coll., 2003 et 2004). En pathologie vocale, une bonne corrélation existe entre l'autoévaluation et les symptômes psychologiques. Il semblerait que ceux qui se plaignent le plus de problème de voix sont ceux qui ont un état dépressif, une instabilité émotionnelle, une mauvaise qualité de vie et des symptômes fonctionnels itératifs (Deary et coll., 2003).

Handicap vocal et réalité objective

En revanche, il n'a pas été retrouvé de corrélation entre les échelles d'évaluation perceptive de la voix, les analyses acoustiques et la qualité de vie (Behrman et coll., 2004).

Il n'y a pas de corrélation entre les anomalies de vibration muqueuse et le handicap vocal (domaine physique). Il n'y a pas de lésion bénigne plus gênante qu'une autre ; les critères médicaux ne reflètent pas le degré de handicap de vie. La durée de la dysphonie n'est pas un facteur de gravité. En effet, selon Behrman et coll. (2004), plus la dysphonie est ancienne (au-delà d'un an), moins elle semble gênante. S'agit-il d'un phénomène d'habituation ou de compensation ? Les possibilités d'adaptation et de compensations dépendent de chaque individu, mais non des nécessités vocales. La charge vocale est difficile à apprécier rendant difficile la comparaison des groupes de dysphoniques. Les chanteurs et les acteurs sont plus sensibles et consultent avant d'avoir de vrai problème de voix, leur VHI reste faible. Il y a peu de corrélation entre auditeur et locuteur envers la sévérité de la dysphonie. La qualité vocale est très subjective et personnelle et ne correspond pas forcément au référent interne du clinicien qui juge la voix. Pour le patient dysphonique, on note souvent un inconfort physique (tensions cervicales, mal de gorge, effort pour parler, fatigue), cet inconfort étant souvent traduit comme une voix serrée. Le VHI est important pour les décisions thérapeutiques.

La sévérité du handicap vocal perçu par le patient n'est pas corrélée à la réalité objective de dysphonie. C'est la dimension la plus difficile à traiter.

Aux États-Unis, le Ministère de la santé a estimé à 30 à 150 billions de \$ par an le coût des troubles de la voix en termes de perte de productivité, de traitement et d'éducation. En France, il n'existe pas encore d'étude similaire de santé publique sur les conséquences financières des troubles vocaux chez les professionnels de la voix. Cependant, le Ministère de la santé et de la sécurité sociale recherche des outils d'évaluation du handicap vocal et de la communication et s'intéresse aux propriétés psychométriques des différents instruments de mesure du handicap. L'impact d'un trouble de la voix est plus qu'une pathologie du larynx ou un trouble acoustique car il retentit sur la vie professionnelle et sociale d'un individu, retentit sur le mental, le physique, l'émotionnel et la communication, et il a des conséquences sur l'emploi, le social et la santé (Rosen et coll., 2000).

En conclusion, la connaissance des mécanismes de production de la voix et de l'anatomo-physiologie du vibrateur laryngé oriente vers une meilleure compréhension des pathologies vocales et des traumatismes vocaux. Nous devons accepter nos inégalités physiologiques et apprendre à connaître nos limites pour utiliser au mieux nos capacités. Il convient de respecter les règles d'hygiène vocale (hydratation, échauffement, pauses vocales lors des efforts de phonation prolongée) et de bien connaître les facteurs de risque. Enfin, des méthodes d'évaluation à grande échelle devraient être définies dans le cadre de dépistage de sujets à risque lors d'une utilisation prolongée de la voix, sélectionner des tests pertinents permettant de détecter non seu-

lement une dysphonie mais également son retentissement sur le vécu vocal d'un sujet.

BIBLIOGRAPHIE

AYACHE S, FERNANDES M, OUAKNINE M, GIOVANNI A. Function of the laryngeal muscles in the control of the fundamental frequency of voice. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 2002, **119** : 243-251

AYACHE S, OUAKNINE M, DEJONKERE P, PRINDERE P, GIOVANNI A. Experimental study of the effects of surface mucus viscosity on the glottic cycle. *J Voice* 2004, **18** : 107-115

BAKEN RJ. Clinical measurement of speech and voice. Singular publishing Group, Inc. San Diego, USA, 1987

BEHRMAN A, SULICA L, HE T. Factors predicting patient perception of dysphonia caused by benign vocal fold lesions. *Laryngoscope* 2004, **114** : 1693-1700

BENNINGER MS, AHUJA AS, GARDNER G, GRYWALSKI C. Assessing outcomes for dysphonic patients. *J Voice* 1998, **12** : 540-550

BERKE GS, GERRATT BR. Laryngeal biomechanics: an overview of mucosal wave mechanics. *J Voice* 1993, **7** : 123-128

BLESS DM. Measurement of vocal function. *Otolaryngl Clin North Am* 1991, **24** : 1023-1033

BLOMGREN M, CHEN Y, NG ML, GILBERT HR. Acoustic, aerodynamic, physiologic and perceptual properties of modal and vocal fry registers. *J Acous Soc Am* 1998, **103** : 2649-2658

BUTLER JE, HAMMOND TH, GRAY SD. Gender-related differences of hyaluronic acid distribution in the human vocal fold. *Laryngoscope* 2001, **111** : 907-911

CHAN RW, GRAY SD, TITZE IR. The importance of hyaluronic acid in vocal fold biomechanics. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2001, **124** : 607-614

DE BODT MS, VAN DE HEYNING PH, WUYTS FL, LAMBRECHTS L. The perceptual evaluation of voice disorders. *Acta Otorhinolaryngol Belg* 1996, **50** : 283-291

DE BODT MS, WUYTS FL, VAN DE HEYNING PH, CROUX C. Test-retest study of the GRBAS scale: influence of experience and professional background on perceptual rating of voice quality. *J Voice* 1997, **11** : 74-80

DE KROM G. Consistency and reliability of voice quality ratings for different types of speech fragments. *J Speech Hear Res* 1994, **37** : 985-1000

DEARY IJ, WILSON JA, CARDING PN, MACKENZIE K. VoiSS: a patient-derived Voice Symptom Scale. *J Psychosom Res* 2003, **54** : 483-489

DEARY IJ, WEBB A, MACKENZIE K, WILSON JA, CARDING PN. Short, self-report voice symptom scales: psychometric characteristics of the voice handicap index-10 and

the vocal performance questionnaire. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004, **131** : 232-235

DEJONCKERE PH, OBBENS C, DE MOOR GM, WIENEKE GH. Perceptual evaluation of dysphonia: reliability and relevance. *Folia Phoniatr (basel)* 1993, **45** : 76-83

DEJONCKERE PH, REMACLE M, FRESNEL-ELBAZ E, WOISARD V, CREVIER-BUCHMAN L, MILLET B. Differentiated perceptual evaluation of pathological voice quality: reliability and correlations with acoustic measurements. *Rev Laryngol Otol Rhinol (bord)* 1996, **117** : 219-224

ELLIOT N, SUNDBERG J, GRAMMING P. What happens during vocal warm-up? *J Voice* 1995, **9** : 37-44

FANT G. Acoustic theory of speech production. Mouton, The Hague, 1970

FEX S. Perceptual evaluation. *J Voice* 1992, **6** : 155-158

FORMIOGONI P, GENOVESE E, BELLUSSI C. Perceptual characteristics and quality of voice. *Acta Phoniatica Latina* 1985, **7** : 270-278

FRANIC DM, BRAMLETT RE, CORDES BOTHE A. Psychometric evaluation of disease specific quality of life instruments in voice disorders. *J Voice* 2005, **19** : 300-315

GELFER MP. Perceptual attributes of voice: Development and use of rating scales. *J Voice* 1988, **2** : 320-326

GENOVESE E, CALEARO C, BIGNARDI I. Phoniatic aspects of reconstructive laryngectomy. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)* 1992, **113** : 331-335

GRAY S, HIRANO M, SATO K. Molecular and cellular structure of vocal fold tissues. In : *Vocal Fold Physiology, frontiers in basic science*. TITZE IR (ed). Singular Publishing Group, San Diego, 1993 : 1-35

GRAY SD, THIBEAULT SL. Diversity in voice characteristics--interaction between genes and environment, use of microarray analysis. *J Commun Disord* 2002, **35** : 347-354

HABEN CM, KOST K, PAPAGIANNIS G. Lateral phase mucosal wave asymmetries in the clinical voice laboratory. *J Voice* 2003, **17** : 3-11

HAMMARBERG G, GAUFFIN J. Perceptual and acoustic characteristics of quality differences in pathological voices as related to physiological aspects. In : *Vocal Fold Physiology : Voice Quality Control*. (Proceedings of the VIIIth Vocal Fold Physiology Conference, Kurume, 1994). FUJIMURA O, HIRANO M (eds). Singular Publishing Group, San Diego, 1995

HALLEN L, TESTAD P, SEDERHOLM E, DAHLQVIST A, LAURENT C. DiHA (dextranomers in hyaluronan) injections for treatment of insufficient closure of the vocal folds: early clinical experiences. *Laryngoscope* 2001, **111** : 1063-1067

HANSON DG, JIANG J, D'AGOSTINO M, HERZON G. Clinical measurement of mucosal wave velocity using simultaneous photoglottography and laryngostroboscopy. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1995, **104** : 340-349

HEMLER RJ, WIENEKE GH, LEBACQ J, DEJONCKERE PH. Laryngeal mucosa elasticity and viscosity in high and low relative air humidity. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2001, **258** : 125-129

HEYLEN L, WUYTS FL, MERTENS F, DE BODT M, VAN DE HEYNING PH. Normative voice range profiles of male and female professional voice users. *J Voice* 2002, **16** : 1-7

HIRANO M. Clinical examination of voice. Springer-Verlag, New York, 1981

HIROSE H. Electromyography of laryngeal and pharyngeal muscles. In : *Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 3rd ed., Vol 3. CUMMINGS CW (ed). Mosby Year-Book, Inc, 1998 : 1891-1894

HOGIKYAN ND, SETHURAMAN G. Validation of an instrument to measure voice-related quality of life (V-RQOL). *J Voice* 1999, **13** : 557-569

HOGIKYAN ND, ROSEN CA. A review of outcome measurements for voice disorders. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2002, **126** : 562-572

ISSHIKI N, OKAMURA H, TANABE M, MORIMOTO M. Differential diagnosis of hoarseness. *Folia Phoniatr* 1969, **21** : 9-19

JACOBSON BH, JOHNSON A, CRYWALSKI C. The voice handicap index (VHI): development and validation. *Am J Speech Lang Pathol* 1997, **6** : 66-70

JIANG J, LIN E, HANSON DG. Vocal fold physiology. *Otolaryngol Clin North Am* 2000, **33** : 699-718

KANIA RE, HANS S, HARTL DM, CLEMENT P, CREVIER-BUCHMAN L, BRASNU DF. Variability of electroglottographic glottal closed quotients: necessity of standardization to obtain normative values. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2004, **130** : 349-352

KEMPSTER GB, KISTLER DJ, HILLENBRAND J. Multidimensional scaling analysis of dysphonia in two speaker groups. *J Speech Hear Res* 1991, **34** : 534-543

KLATT DH, KLATT LC. Analysis, synthesis, and perception of voice quality variations among female and male talkers. *J Acoust Soc Am* 1990, **87** : 820-857

KOUFMAN JA, BLALOCK PD. Vocal fatigue and dysphonia in the professional voice user: Bogart-Bacall syndrome. *Laryngoscope* 1988, **98** : 493-498

KREIMAN GERRATT B, PRECODA K, BERKE GS. Individual differences in voice quality perception. *J Speech Hear Res* 1992, **35** : 512-520

KREIMAN J, GERRATT B, KEMPSTER GB, ERMAN A, BERKE GS. Perceptual evaluation of voice quality: Review, tutorial and a framework for future research. *J Speech Hear Res* 1993, **36** : 21-40

KREIMAN J, GERRATT B. The perceptual structure of pathologic voice quality. *J Acous Soc Am* 1996, **100** : 1787-1795

LADEFOGED P, MADDIESON I, JACKSON M. Investigating phonation types in different languages. In : *Vocal Fold Physiology: Voice Production, Mechanisms and Functions*. FUJIMURA O (ed). Raven Press, New York, 1988 : 297-317

LADEFOGED P, MADDIESON I. *The Sounds of the World's Languages*. Blackwell Publishers, 1998

LALLH AK, ROCHET AP. The effect of information on listeners' attitudes toward speakers with voice or resonance disorders. *J Speech Lang Hear Res* 2000, **43** : 782-795

- LAVÉ J. The phonetic description of voice quality. Cambridge University Press, Cambridge, 1980
- LAVÉ J. Principles of phonetics. Cambridge University Press, Cambridge, 1994
- LEPLÈGE A, ECOSSE A, VERDIER A, PERNÉGER T. The french SF36 Health Survey: Translation, Cultural Adaptation and preliminary Psychometric Evaluation. *J Clin Epidemiol* 1998, **11** : 1013-1023
- MA EP, YIU EM. Voice activity and participation profile: assessing the impact of voice disorders on daily activities. *J Speech Lang Hear Res* 2001, **44** : 511-524
- MURRY T, ROSEN CA. Outcome measurements and quality of life in voice disorders. *Otolaryngol Clin North Am* 2000, **33** : 905-916
- MURRY T, MEDRADO R, HOGIKYAN ND, AVIV JE. The relationship between ratings of voice quality and quality of life measures. *J Voice* 2004, **18** : 183-192
- NAKAGAWA H, FUKUDA H, KAWAIDA M, SHIOTANI A, KANZAKI J. Lubrication mechanism of the larynx during phonation: an experiment in excised canine larynges. *Folia Phoniatr Logop* 1998, **50** : 183-194
- RAMIG LO, GRAY S, BAKER K, CORBIN-LEWIS K, BUDER E, et coll. The aging voice: a review, treatment data and familial and genetic perspectives. *Folia Phoniatr Logop* 2001, **53** : 252-265
- RANTALA L, LINDHOLM P, VILKMAN E. FO changes due to voice loading under laboratory and field conditions. A pilot study. *Logoped Phoniatr Vocol* 1998, **23** : 164-168
- RANTALA L, VILKMAN E. Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers' voices. *J Voice* 1999, **13** : 484-495
- REVIS J, GIOVANNI A, WUYTS F, TRIGLIA JM. Comparison of different phonetic materials for perceptive analysis of dysphonia. *Rev Laryngol Otol Rhinol (bord)* 1997, **118** : 247-252
- REVIS J, GIOVANNI A, TRIGLIA JM. Influence of voice onset on the perceptual analysis of dysphonia. *Folia Phoniatr Logop* 2002, **54** : 19-25
- ROSEN CA, MURRY T. Voice handicap index in singers. *J Voice* 2000, **14** : 370-377
- ROSEN CA, MURRY T, ZINN A, ZULLO T, SONBOLIAN M. Voice handicap index change following treatment of voice disorders. *J Voice* 2000, **14** : 619-623
- ROSEN CA, LEE AS, OSBORNE J, ZULLO T, MURRY T. Development and validation of the voice handicap index-10. *Laryngoscope* 2004, **114** : 1549-1556
- SMITH E, VERDOLINI K, GRAY S, NICHOLS S, LEMKE J, et coll. Effect of voice disorders on quality of life. *J Med Speech Lang Pathol* 1996, **4** : 223-244
- SMITHERAN JR, HIXON TJ. A clinical method for estimating laryngeal airway resistance during vowel production. *J Speech Hear Disord* 1981, **46** : 138-146
- SOLOMON NP, DIMATTIA MS. Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on phonation threshold pressure. *J Voice* 2000, **14** : 341-362
- SONNINEN A, LAUKKANEN AM. Hypothesis of whiplike motion as a possible traumatizing mechanism in vocal fold vibration. *Folia Phoniatr Logop* 2003, **55** : 189-198

SVEC JG, POPOLO PS, TITZE IR. Measurement of vocal doses in speech: experimental procedure and signal processing. *Logoped Phoniatr Vocol* 2003, **28** : 181-192

TITZE IR. The human vocal cords: A mathematical model. Part I. *Phonetica* 1973, **28** : 129-170

TITZE IR, LUSCHEI R, HIRANO M. Role of the thyroarytenoid muscle in the regulation of fundamental frequency. *J Voice* 1989, **3** : 213-224

TITZE IR. Vocal efficiency. *J Voice* 1992, **6** : 135-138

VILKMAN E, SONNINEN A, HURME P, KORRKO P. External laryngeal frame function in voice production revisited: a review. *J Voice* 1996, **10** : 78-92

VILKMAN E, ALKU P, VINTTURI J. Dynamic extremes of voice in the light of time domain parameters extracted from the amplitude features of glottal flow and its derivative. *Folia Phoniatr Logop* 2002, **54** : 144-157

VINTTURI J. Studies on voice production with a special emphasis on vocal loading, gender, some exposure factors and intensity regulation. Ph.D. Thesis, University of Helsinki, 2001 : 101p

VINTTURI J, ALKU P, LAURI ER, SALA E, SIHVO M, VILKMAN I. Objective analysis of vocal warm-up with special reference to ergonomic factors. *J Voice* 2001, **15** : 36-53

VOIERS WD. Diagnostic evaluation of speech intelligibility. *Acoustics* 1977, **11** : 288-296

WARD PD, THIBEAULT SL, GRAY SD. Hyaluronic acid: its role in voice. *J Voice* 2002, **16** : 303-309

WARE J, GANDEC B. Overview of the SF36 Health Survey and International Quality Of Life Assessment Project. *J Clin Epidemiol* 1998, **11** : 903-912

WILSON JA, DEARY IJ, MILLAR A, MACKENZIE K. The quality of life impact of dysphonia. *Clin Otolaryngol* 2002, **27** : 179-182

WILSON JA, WEBB A, CARDING PN, STEEN IN, MACKENZIE K, DEARY IJ. The Voice Symptom Scale (VoiSS) and the Vocal Handicap Index (VHI): a comparison of structure and content. *Clin Otolaryngol* 2004, **29** : 169-174

WOODSON GE, CANNITO M. Voice analysis. In : Otolaryngology-head and neck surgery. 3rd ed., Vol 3. CUMMINGS CW (ed). Mosby-Year Book, Inc., St Louis, 1998 : 876-1890

WUYTS FL, DE BODT MS, VAN DE HEYNING PH. Is the reliability of a visual analog scale higher than an ordinal scale? An experiment with the GRBAS scale for the perceptual evaluation of dysphonia. *J Voice* 1999, **13** : 508-517

YAMAGUCHI H, SHRIVASTAV R, ANDREWS ML, NIIMI S. A comparison of voice quality ratings made by Japanese and American listeners using the GRBAS scale. *Folia Phoniatr Logop* 2003, **55** : 147-157

YIU EM, NG CY. Equal appearing interval and visual analogue scaling of perceptual roughness and breathiness. *Clin Linguist Phon* 2004, **18** : 211-229