

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES PARAMÈTRES ACOUSTIQUES ET AÉRODYNAMIQUES APRÈS LARYNGECTOMIE FRONTALE ANTÉRIEURE DE TUCKER

A. GIOVANNI (1), D. ROBERT (1), B. TESTON (2), M.-D. GUARELLA (1), M. ZANARET (1)

(1) Laboratoire de Phonologie Clinique, Fédération des services ORL, CHU Timone, 13385 Marseille Cedex 5
(2) Laboratoire Parole et Langage (URA 261 CNRS), Avenue Robert-Schumman, 13100 Aix-en-Provence

RÉSUMÉ

L'évaluation objective du handicap vocal après laryngectomie partielle ne dispose pas d'un outil méthodologique dont la fiabilité soit démontrée. Un tel outil permettrait de suivre de façon objective l'évolution de la voix post-opératoire en fonction du temps ainsi que de comparer les différentes techniques chirurgicales du point de vue de la qualité vocale.

Les auteurs ont utilisé l'appareillage EVA qui permet des mesures acoustiques et aérodynamiques simultanées. Le matériel d'études consistait en 23 sujets normaux et 34 patients opérés de laryngectomie de Tucker, tous de sexe masculin. Les auteurs ont réalisé, au cours de la production d'une voyelle tenue, des mesures acoustiques portant sur la stabilité de la vibration (jitter, coefficient de variation de la fréquence fondamentale, shimmer, coefficient de variation de l'intensité), ainsi que sur la fuite d'air glottique (débit d'air buccal rapporté à l'intensité). La qualité de la voix des sujets opérés était jugée par un jury d'écoute qui affectait un grade global de qualité de voix.

Les résultats ont fait l'objet d'une analyse statistique visant à vérifier la corrélation des mesures objectives avec l'analyse par le jury, considérée comme la méthode de référence. Les auteurs ont ainsi démontré la pertinence des mesures portant sur la stabilité de la fréquence ainsi que sur la fuite glottique. Les méthodes dites de régression multiple ont permis de calculer le coefficient de détermination (R^2) à 0,847 ($p < 0,000$) signifiant que la variance totale des mesures objectives justifie à 84,7 % le classement de la voix par le jury d'écoute.

A partir de ces résultats satisfaisants les auteurs concluent sur l'intérêt d'une analyse multiparamétrique incluant des mesures aérodynamiques et émettent des hypothèses de travail visant à améliorer la corrélation entre mesures objectives et subjectives (travail sur l'« organisation » temporelle des instabilités vibratoires, travail sur les pressions intralaryngées).

SUMMARY : Preliminary Study of Acoustic and Aerodynamic Parameters after Frontal Anterior Laryngectomy

Currently, not objective method has been demonstrated to be reliable for the evaluation of vocal handicap after partial laryngectomy. Such a tool would allow objective assessment of the post-operative voice and its clinical course as well as a comparison of different surgical techniques in terms of voice quality. We used a EVA device to measure simultaneously acoustic and aerodynamic parameters. We included 23 normal subjects and 34 patients who had undergone a Tucker laryngectomy. All subjects were males. At sustained voice production, acoustic measures of vibration stability (jitter, coefficient of variation in the fundamental frequency, shimmer, coefficient of variation in intensity) and air leak from the glottis (buccal air flow over intensity). The quality of voice in operated patients was judged by a jury of listeners who assigned a global score to voice quality.

Results were analyzed to verify the correlation between objective measurements and the jury's score, taken as the reference measurement. The pertinence of the objective measurements was demonstrated for the stability of the frequency and the glottal air leak. Multiple regression analysis demonstrated that total variance of the objective measurements accounted for 84.7 % of the scores provided by the jury ($R^2 = 0.847$, $p < 0.0001$).

These satisfactory results emphasize the interest of multiparametric analysis including aerodynamic measurements. These preliminary results led to the hypothesis that objective and subjective measurements could be useful in techniques aimed at improving voice quality (temporal organization of vibratory instability, work on intralaryngeal pressures).

Reçu le 9 avril 1996. Accepté le 25 septembre 1996.

Tirés à part : A. GIOVANNI, adresse ci-dessus.

Ce travail a été partiellement financé par une subvention de recherche hospitalière (PHRC 1995 : Evaluation des séquelles après chirurgie reconstructive du larynx).

INTRODUCTION

Le handicap vocal après laryngectomie partielle ou reconstructive est difficilement appréciable du fait de l'absence d'un protocole normalisé de mesures objectives qui permettrait de comparer différentes procédures ou les résultats obtenus par différentes équipes ou encore de suivre l'évolution de la voix post-opératoire en fonction du temps.

Notre travail est une contribution à l'élaboration d'un tel protocole à propos de l'étude de la production vocale de patients opérés d'une Laryngectomie Frontale Antérieure Reconstructive selon le procédé de Tucker (LFAR) [1].

Notre objectif était de tester la pertinence d'un ensemble de mesures objectives dans le cas particulier de la voix après laryngectomie partielle. Nous avons utilisé l'appareillage EVA qui permet des mesures acoustiques et aérodynamiques simultanées [2] et nous avons comparé les mesures réalisées avec l'évaluation de la qualité de la voix par un jury d'écoute.

HISTORIQUE

La LFAR est une laryngectomie partielle réalisant l'exérèse de la partie ligamentaire des deux cordes vocales avec un cartilage aryénoïde, en monobloc avec l'angle antérieur du cartilage thyroïde. La reconstruction laryngée est assurée par abaissement de l'épiglotte dans le sens frontal [1]. Les résultats carcinologiques à long-terme ont été présentés [3, 4] mais aucune étude n'a présenté de mesures objectives concernant la voix.

La fermeture glottique post-opératoire est assurée par bascule du cartilage aryénoïde restant contre la face laryngée de l'épiglotte et contre le vestibule laryngé contro-latéral. La voix correspond à la mise en vibration de la muqueuse laryngée au niveau de ce rétrécissement sous l'influence de l'air expiratoire [5].

Des travaux portant sur des mesures objectives de la voix après laryngectomie partielle ont été présentés [6, 7, 8]. En raison de la complexité du phénomène vocal, la plupart des auteurs ont choisi l'analyse de plusieurs paramètres incluant des paramètres acoustiques, prosodiques et/ou aérodynamiques, en fonction de l'équipement dont ils disposaient. Il n'existe toutefois pas de protocole uniformément admis.

Nous avons utilisé l'appareillage EVA qui permet de réaliser des mesures simultanées acoustiques et aérodynamiques. Notre hypothèse était que l'association de mesures portant sur la stabilité vibratoire et de mesures portant sur la fuite d'air glottique permettrait une corrélation pertinente avec un jugement perceptuel par un jury, considéré ici, comme la méthode de référence. Si cette corrélation s'avérait po-

sitive, elle permettrait de proposer tout ou partie de ces mesures comme un moyen normalisé d'analyse objective de la voix après laryngectomie partielle.

MATÉRIEL D'ÉTUDE

CHOIX DES PATIENTS

Nous avons analysé la voix de patients opérés par LFAR plus d'un an auparavant, ne présentant aucune récurrence et n'ayant reçu aucun traitement radiothérapeutique avant ni après l'intervention. Les patients étaient revus dans le cadre de la surveillance systématique et étaient convoqués dans le secteur de phoniatry pour étude de la voix. Nous avons ainsi réalisé l'analyse de la voix de 36 patients ayant répondu à cette convocation. Parmi eux, 2 patients présentaient une voix « blanche », totalement désonorisée, ne permettant pas d'analyse acoustique valable. Nous présentons donc ici l'analyse de 34 cas présentant une voix sonorisée.

L'âge moyen était de 64,5 ans (45 ans à 76 ans). Tous les sujets étaient de sexe masculin. Tous avaient été opérés plus d'un an avant l'analyse de la voix.

L'échantillon contrôle était constitué de 23 sujets masculins dont la voix était considérée comme normale, choisis dans l'environnement du laboratoire. Leur âge moyen était de 34 ans.

MÉTHODE DE RÉFÉRENCE

La voix des sujets, normaux et opérés, était jugée par un jury constitué du médecin et de l'orthophoniste responsables de la consultation de phoniatry post-opératoire. L'échantillon vocal analysé était un fragment de parole continue enregistré lors de la lecture d'un texte (tiré des *Lettres de mon Moulin* de Daudet).

L'échelle utilisée reposait sur des critères explicites. Le grade a correspondait à une voix normale, le grade b à une dysphonie peu importante c'est-à-dire à un excellent résultat vocal, le grade c à une dysphonie plus importante mais sans extinction du voisement c'est-à-dire à un résultat vocal moyen, le grade d à un mauvais résultat vocal avec de fréquentes altérations du voisement. Ce jugement était global portant sur la totalité des dimensions perceptuelles de la dysphonie.

Nous avons ainsi analysé la voix de 23 sujets normaux (grade a), de 7 patients opérés avec un bon résultat vocal (grade b), de 11 patients avec un résultat moyen (grade c) et de 16 patients avec un résultat médiocre (grade d). Aucun patient opéré dans cette série n'avait une voix jugée normale par le jury.

RÉALISATION DES MESURES

Nous avons utilisé l'appareillage EVA® (Laboratoire Parole et Langage, URA CNRS 261, F 13100 Aix-en-Provence) dont les caractéristiques techniques ont déjà été présentées [9]. Les sujets étaient placés devant l'appareil et la hauteur de l'embouchure était adaptée pour que le sujet soit dans une position confortable. L'examineur veillait à l'absence de fuite d'air au niveau du masque en silicone. Le caractère non invasif de la procédure était confirmé par l'avis favorable du CCPPRB Marseille-1 (autorisation n° 95/25).

Les sujets témoins et les patients étaient invités, après la lecture et l'enregistrement du texte, à émettre une série de voyelles /a/ tenues pendant au moins 2 secondes devant le masque de l'appareillage EVA. L'examineur conservait pour analyse ultérieure l'enregistrement de la voyelle correspondant le mieux sur le plan auditif aux caractéristiques perceptuelles repérées lors de l'écoute de la voix de lecture.

L'analyse des signaux recueillis était réalisée dans un second temps. La première étape consistait à déterminer le début du voisement grâce au détecteur de voisement de l'appareillage. Puis nous déterminâmes une fenêtre d'analyse de 2 000 ms, placée 100 ms après le début du voisement pour éliminer les phénomènes liés à l'attaque. Pendant la durée de cette fenêtre, les valeurs suivantes étaient mesurées :

- Fréquence fondamentale ou Fo (Hz)
- Intensité ou Int (db) mesurée au niveau de l'embouchure (2 cm des lèvres).
- Débit d'air buccal ou DAB (cm³/s).
- Jitter (%) correspondant à la valeur moyenne obtenue en soustrayant la durée d'une période (Pi) de la durée de la période immédiatement précédente (Pi - 1) selon la formule $P(\text{jitter}) = P(i - 1) - P(i)$.
- Coefficient de variation de Fo ou Coef Fo (%) qui correspond à la valeur moyenne de Fo divisée par l'écart-type de la période.
- Shimmer (%) équivalent du jitter sur le plan de l'intensité.
- Coefficient de variation de l'Intensité ou Coef Int (%) correspondant à la valeur moyenne de l'intensité divisée par l'écart-type.
- Shimmer DAB (%) correspondant à la mesure de la stabilité du débit. Son mode de calcul est calqué sur celui du shimmer
- Coefficient de variation du débit d'air buccal ou Cof DAB (%).

La Fuite Glottique (FG) était calculée selon la formule $FG = DAB/Int$ (cm³/s/db). Elle correspondait à la quantité d'air nécessaire pour émettre un son de 1 db pendant 1 seconde.

RÉSULTATS

Les résultats des mesures sont donnés dans le *tableau I*.

DISCUSSION

DISCUSSION CONCERNANT LE CHOIX DES PATIENTS ET DES TÉMOINS

La différence d'âge moyen entre la population contrôle et la population objet de l'étude ne constitue pas un biais dans ce type d'études : dans la littérature, l'utilisation de sujets-contrôle plus jeunes que la population dysphonique est souvent rapportée [9, 10, 11].

Le mode de convocation des patients ne permet pas de considérer la population analysée comme un

TABLEAU I. — *Tableau des valeurs mesurées (entre parenthèses, la valeur de l'écart-type)*

| | grade a (témoins) n=23 | grade b n=7 | grade c n=11 | grade d n=16 | grades b,c,d (opérés) n=34 |
|-------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|
| Fo (hz) | 135 (19,8) | 146 (45,3) | 138 (37,7) | 176 (68,7) | 157 (56,2) |
| Jitter (%) | 0,93 (0,59) | 1,37 (0,89) | 5,37 (3,93) | 12,08 (8,94) | 7,71 (7,97) |
| Coef Fo (%) | 1,51 (0,97) | 2,40 (1,11) | 13,82 (15,71) | 25,43 (14,18) | 16,94 (15,78) |
| Int (db) | 91,01 (6,69) | 94,2 (3,96) | 87,37 (5,32) | 86,90 (5,81) | 88,56 (5,84) |
| Shimmer (%) | 0,678 (0,523) | 0,643 (0,237) | 1,00 (0,37) | 1,01 (0,30) | 0,93 (0,34) |
| Coef Var Int (%) | 1,79 (0,65) | 3,18 (4,89) | 2,23 (1,03) | 4,11 (2,98) | 3,31 (3,07) |
| DAB (cm ³ /s) | 149 (49,7) | 194 (64,7) | 268 (129,6) | 427 (189,2) | 328 (178,5) |
| Shimmer DAB (%) | 3,03 (3,52) | 2,18 (1,81) | 3,01 (3,28) | 3,35 (3,72) | 3,00 (3,22) |
| Coef Var DAB (%) | 18,57 (25,79) | 12,24 (7,86) | 16,40 (6,07) | 20,05 (8,38) | 17,26 (7,98) |
| Fuite (cm ³ /s/db) | 1,66 (0,609) | 2,07 (0,71) | 3,06 (1,42) | 4,87 (2,10) | 3,7 (2,02) |

échantillon significatif de la population générale des patients opérés. Le but de l'étude n'étant pas la qualité de la voix après Tucker mais la pertinence de mesures objectives par rapport à un jury, ce point n'est pas pénalisant.

DISCUSSION CONCERNANT L'ANALYSE PERCEPTUELLE

Le classement de la voix sur une échelle globale avec 4 grades (0, 1, 2, 3) selon des critères explicites, définis à l'avance et extérieurs à l'examineur était établi conformément au grade G de l'échelle GRBAS de Hirano. Les examinateurs ont parfois eu des difficultés à classer les voix dysphoniques, en raison d'une voix qui semblait intermédiaire entre deux grades mais les échelles plus détaillées (0 à 10 par exemple) ne sont pas d'utilisation plus commode [12].

De même, résumer l'information auditive reçue par le jury à une seule variable explicative (grade global) ne permet pas de mettre en évidence les différentes dimensions perceptuelles du phénomène dysphonique (raucité, souffle, forçage). D'autres études pourraient utiliser des échelles plus complexes (par exemple l'échelle GRBAS de Hirano [6]).

Sur le plan des analyses statistiques, l'utilisation d'une analyse perceptuelle par grades c'est-à-dire d'une variable discontinue rend nécessaire le recours à des tests non paramétriques moins « puissants » que les tests paramétriques. Dans le cadre d'études visant à déterminer les possibilités discriminatives d'un protocole de mesures, il semble qu'une échelle « continue » serait plus performante. Mais ce type d'analyse ne peut être envisagé que par comparaison à un échantillon vocal considéré comme référence [12]. Il s'agit d'une méthode difficilement applicable en clinique. Au total, l'utilisation de grades de dysphonie sur une échelle à 4 niveaux est un compromis convenable entre sensibilité et reproductibilité.

DISCUSSION CONCERNANT LE CHOIX D'UNE VOYELLE TENUE

Les mesures ont été effectuées sur une voyelle /a/ tenue pendant une durée de 2 secondes. Le choix de la voyelle /a/ est largement répandu dans la littérature [6, 13, 14]. Il s'agit d'une production simple à réaliser et facilement reproductible convenant bien aux contraintes de la pratique quotidienne.

Nous avons choisi de positionner la fenêtre d'analyse et de réaliser les mesures 100 ms après le début du voisement. En effet, les mesures disponibles sur l'appareillage EVA renvoient des valeurs du type statistique (coefficients de variation, moyennes, etc.) et leur pertinence repose sur un signal stabilisé

pendant le temps des mesures. Nous avons donc décidé d'exclure des mesures la période instable de l'attaque (vocal onset).

Le choix d'analyser la partie stable d'une voyelle tenue peut être une importante lacune [9, 15]. En effet, dans la parole, les phases stables sont inexistantes et un tel matériau phonétique apparaît « artificiel ». Toutefois cette critique théorique ne répond pas aux nécessités pratiques car il n'existe pas d'outil méthodologique permettant d'étudier objectivement les phases instables de la parole articulée [12].

DISCUSSION CONCERNANT LE CHOIX DES MESURES OBJECTIVES

Choisir un protocole de mesures repose implicitement sur la définition d'un modèle même sommaire du phénomène à étudier. Nous avons supposé que la voix des patients opérés correspondait à l'association d'une raucité (médiocres performances vibratoires de la muqueuse restante au niveau du larynx) et d'une fuite d'air glottique (médiocre fermeture du larynx opéré).

LES MESURES DE LA RAUCITÉ

Elles visent à quantifier la sensation acoustique de raucité. Dans le domaine des laryngectomies partielles, les plus utilisés sont le Jitter et le Shimmer [6, 7, 8]. Le jitter est un indicateur d'instabilité de la fréquence correspondant à la différence moyenne de durée de chaque cycle de l'échantillon par rapport au cycle immédiatement précédent. Le shimmer est le calcul équivalent pour l'intensité. Nous avons étudié également le coefficient de variation de la fréquence et de l'intensité qui sont des valeurs statistiques plus classiques et d'interprétation plus intuitive (écart-type divisé par valeur moyenne) [16].

Sur le plan théorique, le jitter et le shimmer seraient moins sensibles aux effets des variations de la période liées aux phénomènes prosodiques de la parole que les écarts-types. Dans le cas de l'analyse d'une voyelle tenue, cet argument est de peu d'intérêt. Sur un plan pragmatique, il apparaît au contraire que les valeurs de Coefficient de variation de Fo sont aussi significativement différentes que celles du jitter entre les sujets sains et les sujets opérés avec des valeurs de $p < 0,001$ (tableau II). Il en est de même des mesures de shimmer et du coefficient de variation de l'intensité. D'une manière générale, il apparaît que la corrélation est meilleure pour les mesures de l'instabilité de la fréquence que pour les mesures de l'instabilité de l'intensité.

Les indicateurs d'instabilité de la fréquence et de l'intensité, période par période, sont limités par la précision même de la méthode d'extraction de la Fo en fonction des appareillages. Notre appareillage uti-

TABLEAU II. — Comparaison des valeurs mesurées et calculées entre les sujets normaux et les sujets opérés

| | Fo | Jitter | Coef Fo | Int | Shim | Coef Int | DAB | Coef DAB | Shim DAB | Fuite |
|-------|------------|--------|---------|------------|-------|----------|-------|------------|------------|-------|
| U-t | 315 | 66 | 32 | 479 | 263 | 248 | 128 | 292 | 392 | 109 |
| p | 0,219 (NS) | 0,000 | 0,000 | 0,150 (NS) | 0,037 | 0,020 | 0,000 | 0,107 (NS) | 0,974 (NS) | 0,000 |
| chi 2 | 1,06 | 27,9 | 34 | 2,07 | 4,3 | 5,38 | 18,3 | 2,59 | 0,001 | 20,9 |

(Test de Mann-Whitney). Le p significatif est fixé à $p < 0,05$.

lise une méthode de détection électronique non algorithmique reposant sur le principe du zéro-crossing après filtrage le plus étroit possible autour de la Fo supposée pour éliminer les artefacts éventuels liés à la présence d'harmoniques sur le signal. Dans ces conditions la précision de mesure est de l'ordre de 1 Hz pour un signal sinusoïdal à 1 kHz [Données non publiées communiquées par l'URA 261 du CNRS].

LES MESURES DE LA FUITE GLOTTIQUE

Les indicateurs de fuite ont pour ambition donner une mesure objective correspondant à la sensation auditive de fuite d'air glottique lors de la phonation.

Il existe des indicateurs acoustiques reposant sur le principe de l'analyse spectrale mais qui ne permettent pas aisément de réaliser une mesure. Les mesures intitulées « rapport signal sur bruit » correspondent au rapport entre l'énergie acoustique délivrée sous forme périodique (signal) et l'énergie délivrée sous une forme non périodique (bruit). La notion de bruit est ici une notion assez éloignée de la sensation auditive de coulage aérien implicitement associée à l'idée de « bruit ». Le rapport « signal sur bruit » est perturbé non seulement par la composante continue de l'éventuelle fuite glottique mais aussi par l'instabilité elle-même qui diminue le caractère périodique de la vibration [16].

Nous avons utilisé la mesure de la « fuite glottique » (rapport du débit d'air buccal sur l'intensité, qui s'exprime en $\text{cm}^3/\text{db/s}$) qui avait déjà été présentée [9] comme une « standardisation » des mesures de DAB par rapport aux valeurs de l'intensité [17]. Les résultats de la présente étude confirment l'importante variabilité inter-individuelle avec des écarts-types élevés. Mais les mesures de débit et de fuite contribuent de façon significative au caractère discriminant de notre protocole (tableaux III et VI).

Il serait intéressant de pouvoir disposer, à l'aide d'un filtrage inverse approprié, de mesures de la fraction d'air continue (correspondant à la fuite) et de la fraction d'air pulsée (correspondant à la production vocale). Plusieurs travaux ont été présentés dans ce sens mais il ne s'agit pas encore d'un outil utilisable en clinique [11].

TABLEAU III. — Test ANOVA prenant en compte la différence entre témoins et patients opérés. Effet sur les mesures objectives. Utilisation du coefficient de détermination R2 correspondant à la proportion de variance commune des paramètres numériques et de la variable explicative (sujets sains ou opérés)

| | R2 |
|---------------------|------------------------|
| Régression multiple | 0,730(F :9,93,p<0,001) |
| Log Coef Fo | 0,566 |
| Log Jitter | 0,452 |
| Log Fuite | 0,364 |
| Log DAB | 0,353 |
| Fuite | 0,287 |
| Coeff Fo | 0,283 |
| DAB | 0,283 |
| Jitter | 0,230 |
| Log Shimmer | 0,180 |
| Log Coeff Int | 0,118 |
| Shimmer | 0,083 |
| Coeff Int | 0,090 |

COMPARAISON DES SUJETS TÉMOINS ET DES SUJETS OPÉRÉS

Nous avons cherché à vérifier l'hypothèse selon laquelle les valeurs mesurées chez les témoins était statistiquement différentes des valeurs mesurées chez les patients opérés. Nous avons choisi le test de Mann-Whitney (non-paramétrique) et nous avons fixé le seuil de probabilité de rejet de l'hypothèse nulle à $p = 0,05$.

Les résultats sont donnés dans le tableau II. Les valeurs de Fo, d'intensité ainsi que les indices de variabilité du DAB ne semblent pas pertinents pour

TABLEAU IV. — Matrice de Corrélation des valeurs logarithmiques (coefficient de Pearson)

| | Log Jitter | Log DAB | Log Coeff Fo | Log Fuite | Log Coeff Int | Log Shim |
|--------------|------------|---------|--------------|-----------|---------------|----------|
| Log Jitter | 1 | | | | | |
| Log DAB | 0,623 | 1 | | | | |
| Log Coeff Fo | 0,909 | 0,627 | 1 | | | |
| Log Fuite | 0,647 | 0,993 | 0,657 | 1 | | |
| Log Coef Int | 0,395 | 0,309 | 0,485 | 0,357 | 1 | |
| Log Shim | 0,598 | 0,419 | 0,498 | 0,452 | 0,354 | 1 |

la distinction entre sujets sains et sujets opérés. Nous ne les avons donc pas retenues pour la suite de l'étude.

L'étape suivante consistait à utiliser la totalité des variables dans une étude de régression multiple. La valeur trouvée de R2 est de 0,730 (F ratio : 9,93, $p < 0,000$). En d'autres termes, la variance sujet sain/sujet opéré est justifiée à 73 % par la variance de l'échantillon de mesures objectives. Le *tableau III* donne les valeurs de R2 pour chacune des variables. Il est intéressant de constater que la transformation logarithmique des valeurs améliore ce coefficient. Dans la suite du travail, nous utiliserons donc plutôt les valeurs logarithmiques. Ce point est confirmé par la représentation graphique des résultats (*fig. 1 et 2*).

La pertinence de l'analyse statistique semblait démontrée mais il était nécessaire de tester les éventuelles redondances entre les variables et nous avons réalisé une matrice de corrélation sur les valeurs logarithmiques retenues (*tableau IV*). Elle démontre la redondance entre la valeur logarithmique du DAB et celle de la fuite, et, pour la suite de l'étude nous avons préféré conserver les valeurs de la fuite plutôt que les valeurs de DAB.

Enfin, nous avons testé à rebours l'hypothèse de départ et nous avons cherché à retrouver le « diagnostic » initial (sujet sain / sujet opéré) par la combinaison des variables mesurées. Les résultats sont donnés dans le *tableau V*. On peut voir que, dans 2 cas sur 23, le protocole de mesures classe parmi

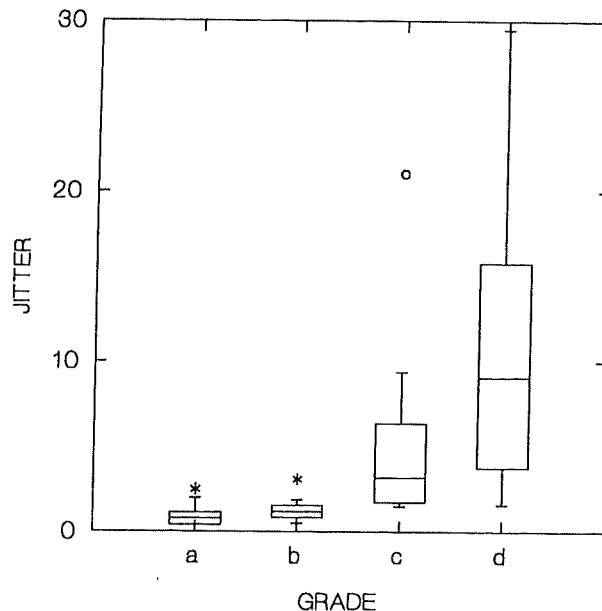


FIG. 1. — Représentation graphique des valeurs du jitter en fonction du grade.

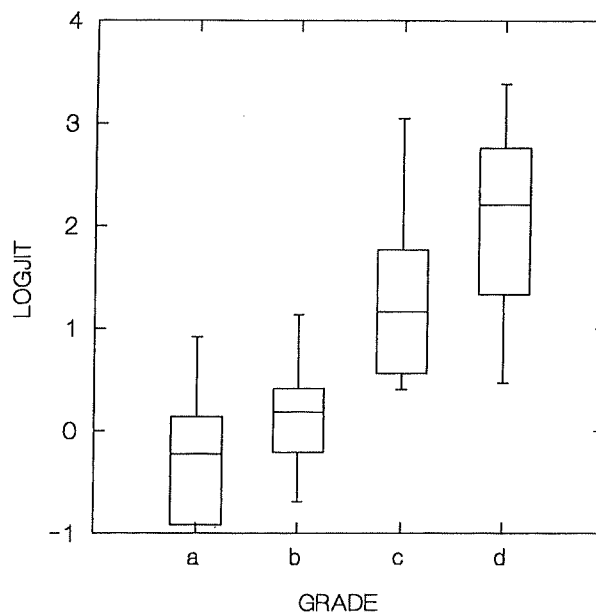


FIG. 2. — Représentation graphique de la transformation logarithmique des valeurs du jitter.

les voix pathologiques des sujets normaux. A l'inverse, 5 cas sur 34 opérés sont jugés voix normale. Au total 50 sujets sur 57 (85,3 %) étaient bien classés ($\chi^2 : 32,4$ $p < 0,000$ avec 1 degré de liberté). Notons que le classement par hasard aurait donné 50 % (2 choix possibles).

TABLEAU V. — Analyse discriminante (utilisant les valeurs logarithmiques du tableau IV). Les patients bien classés sont sur la diagonale. Prédiction N signifie prédiction de sujet normal (N). Prédiction T signifie prédiction de patient opéré de Tucker (T). Au total, 50 patients sur 57 sont bien classés (86,4 %). χ^2 (Pearson) : 32,4 ($p = 0,000$ avec 1 DDL)

| | prédiction N | prédiction T | total | bien classés |
|-----------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| Sujets contrôle | 21 | 2 | 23 | 91,3% |
| Patients opérés | 5 | 29 | 34 | 85,3% |

CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES MESURÉES ET LE GRADE AFFECTÉ PAR LE JURY

Les étapes statistiques ont été très proches des précédentes mais ont tenu compte des résultats acquis. En particulier, nous n'avons pas retenu les valeurs de Fo, d'intensité et de DAB. Le tableau VI donne les coefficients de détermination de chacune des variables ainsi que le coefficient correspondant à la méthode de la régression multiple. Ici encore, on peut voir que les valeurs logarithmiques donnent une corrélation meilleure avec le grade de dysphonie que les valeurs initiales.

Surtout, il faut noter l'importante contribution des mesures aérodynamiques concernant la fuite glottique à l'ensemble de l'étude de régression puisque

TABLEAU VI. — Test ANOVA prenant en compte les différents grades de dysphonie. Effet sur les mesures objectives. Utilisation de la valeur R2 correspondant à la proportion de variance commune des paramètres numériques et des grades.

| | R2 |
|---------------------|-------------------------------|
| Régression multiple | 0,847(F :25,54, $p < 0,001$) |
| Log Cof Fo | 0,805 |
| Log Jitter | 0,684 |
| Log Fuite | 0,546 |
| Coef Fo | 0,521 |
| Fuite | 0,512 |
| Log Coef Int | 0,257 |
| Jitter | 0,230 |
| Log Shimmer | 0,217 |
| Coef Int | 0,156 |
| Shimmer | 0,152 |

ces valeurs sont mieux corrélées à l'analyse par le jury que les mesures concernant l'instabilité de l'intensité.

L'analyse discriminante cherchant à prédire le grade affecté par le jury à partir de la combinaison des valeurs objectives est donnée par le tableau VII. Au total, 43 patients sur 57 (75,4 %) sont bien classés (χ^2 : 77,71 $p < 0,000$ avec 9 degrés de liberté). Notons que le classement par hasard aurait donné 25 % (4 choix possibles).

TABLEAU VII. — Analyse discriminante (utilisant les valeurs logarithmiques). Au total 43 patients sur 57 sont bien classés (75,4 %). χ^2 (Pearson) : 77,71 ($p = 0,000$ avec 9 DDL)

| Prédiction | Normal | Bon résultat | Rés. moyen | Mauvais rés. | Total |
|----------------|--------|--------------|------------|--------------|-------|
| sujets témoins | 18 | 5 | 0 | 0 | 23 |
| grade 2 (jury) | 2 | 5 | 0 | 0 | 7 |
| grade 3 (jury) | 0 | 1 | 8 | 1 | 10 |
| grade 4 (jury) | 0 | 0 | 5 | 12 | 17 |

CONCLUSIONS

L'association de mesures objectives concernant l'instabilité vibratoire et la fuite d'air glottique permet de rendre compte de la plus grande partie de la variance de la qualité de la voix appréciée par un jury. Ceci souligne l'intérêt des mesures aérodynamiques concernant l'appréciation de la fuite glottique pour compléter les mesures acoustiques classiques dans l'optique de la définition d'un protocole normalisé. Un tel protocole, incluant la mesure du débit d'air phonatoire peut donc utilement compléter le bilan phoniatrique habituel et contribuer à l'analyse objective de la qualité de la voix après laryngectomie partielle.

Mais certains cas, dont la voix n'est pas correctement appréciée par les mesures objectives choisies, évoquent une mauvaise adéquation du modèle physiopathologique proposé pour l'étude. Il semble en effet que le jury utilise des informations perceptuelles qui ne sont pas prises en compte dans notre protocole. L'expérience montre par exemple des cas dont les difficultés vibratoires surviennent surtout au moment de l'attaque, totalement occulté par notre protocole. Dans la parole articulée, les phases d'attaque sont prédominantes par rapport aux phases tenues et cela peut expliquer les différences entre le jugement par le jury et les mesures. Cependant, il n'existe pas d'outil normalisé utilisable dans l'analyse de cette partie du signal. Nous avons proposé

la mesure de la durée de la phase instable de la vibration [18]. Cette mesure est particulièrement difficile à réaliser de façon reproductible dans le cas des dysphonies sévères du fait d'un signal qui ne vient jamais réellement stable.

Il en est de même de l'évolution dans le temps du signal. En pratique clinique, l'observation des documents graphiques concernant la voix ne doit pas être négligée car elle apporte également de fructueuses informations. Sur le plan de la recherche, il a, par exemple, été démontré que certaines dysphonies présentent des altérations de la stabilité fréquentielle dont la répartition dans le temps ne soit pas due au hasard mais en rapport avec des phénomènes dits de « basse périodicité » [19]. Sur le plan clinique et sur celui de la recherche, il apparaît donc utile de définir des indices de cette évolution du signal en fonction du temps.

Enfin, la dimension forçage (grade S de la classification GRBAS) n'est pas appréciée de façon objective par notre protocole alors qu'elle fait nécessairement partie des éléments d'appréciation du jury lors de l'établissement d'un grade global. Les études ultérieures, utilisant l'appareillage EVA, essaieront de réaliser des mesures des pressions mises en jeu par l'intermédiaire de capteurs de pression introduits dans la cavité buccale [20].

RÉFÉRENCES

1. TUCKER HM, WOOD BJ, LEVINE H, KATZ R. Glottic reconstruction after near total laryngectomy. *Laryngoscope* 1979 ; 89 : 609-17.
2. GIOVANNI A, MOLINES V, N'GUYEN N et al. Une méthode multiparamétrique d'évaluation vocale objective assistée par ordinateur. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1992 ; 109 : 200-6.
3. TUCKER HM, BENNINGER MS, ROBERT JK, WOOD BJ, LEVINE HL. Near total laryngectomy with epiglottic reconstruction. Long Term results. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1989 ; 115 : 609-18.
4. ZANARET M, GIOVANNI A, GRAS R, CANNONI M. Near total laryngectomy with epiglottic reconstruction. Long-term results. *Am J Otolaryngol*, 1993, 14 : 419-25.
5. PECH C, GIOVANNI A, HENIN N. La voix sans corde vocale. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 1988 ; 109 : 373-7.
6. HIRANO M, HIBI S, YOSHIDA T, HIRADE Y, KASUYA H. Acoustic analysis of pathological voice. *Acta Otolaryngol* (Stockh) 1988 ; 105 : 432-8.
7. LACCOUREYE O, CREVIER-BUCHMAN L, WEINSTEIN G, JOUFFRE V, LACCOUREYE H, BRASNU D. Acoustic parameters and speech analysis after supracricoid hemilaryngopharyngectomy. *Laryngoscope* 1995 ; 105 : 1223-6.
8. CREVIER-BUCHMAN L, LACCOUREYE O, MONFRAIS-PFAUWADEL MC, MENARD M, JOUFFRE V, BRASNU D. Evaluation informatisée des paramètres acoustiques de la voix et de la parole après laryngectomie totale supracricoidienne avec crico-hyoido-épiglottopexie. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1994 ; 111 : 397-401.
9. GIOVANNI A, ESTUBLIER N, ROBERT D, TESTON B, ZANARET M, CANNONI M. Evaluation vocale objective des dysphonies par la mesure simultanée des paramètres acoustiques et aérodynamiques à l'aide de l'appareillage EVA. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1995 ; 112 : 85-90.
10. LAVER J, HILLER S, MAC KENZIE J, ROONEY E. An acoustic screening system for the detection of the laryngeal pathology. *J Phonetics* 1986 ; 14 : 517-24.
11. HOLMBERG EB, HILLMAN RE, PERKELL JS. Glottal Airflow and transglottal air pressure measurements for male and female speakers in soft, loud and normal voice. *J Acoust Soc Am* 1988 ; 60 : 511-28.
12. KREIMAN J, GERRATT BR, BERKE GS. The multidimensional nature of pathologic vocal quality. *J Acoust Soc Am*, 1994 ; 96 : 1292-302.
13. HOLLIEN, DOHERTY M, DOHERTY E. A method for analyzing vocal jitter in sustained phonation. *J Phonetics* 1973 ; 1 : 85-91.
14. KEMPSTER GB, KISTLER DJ, HILLENBRAND J. Multidimensional scaling analysis of dysphonia in two speakers groups. *J Speech Hear Res* 1991 ; 34 : 534-43.
15. DE KROM G. Consistency and reliability of voice quality ratings for different types of speech fragments. *J Speech Hear Res* 1994 ; 37 : 985-1000.
16. TITZE IR. Principles of voice production. Prentice Hall (Englewood Cliffs) 1993.
17. ISSHIKI N. Clinical significance of a vocal efficiency index. In : Titze IR, Scherer RC. Vocal fold physiology. Denver Center for performing arts (Denver) 1983 ; 19 : 231-8.
18. GIOVANNI A, ROBERT D, ESTUBLIER N, TESTON B, ZANARET M, CANNONI M. Objective evaluation of dysphonia : Preliminary results of a device allowing simultaneous acoustic and aerodynamics measurements. *Folia Phoniatr Logop* 1996 ; 48 : 175-85.
19. HERZEL H, BERRY D, TITZE IR, SALEH M. Analysis of vocal disorders with methods from non-linear dynamics. *J Speech Hear Res* 1994, 37 : 1008-19.
20. BARD MC, SLAVIT DH, MC CAFFREY TV, LIPTON RJ. Non invasive technique for estimating subglottic pressure and laryngeal efficiency. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1992 ; 101 : 578-82.