



Reçu le :
31 mai 2015
Accepté le :
4 novembre 2015

Disponible en ligne sur

ScienceDirect

www.sciencedirect.com

Exploration quantitative de la phonation par aérophonoscopie : étude de reproductibilité sur sujets sains

Quantitative study of phonation by aerophonoscopy:
Reproducibility study on healthy volunteers

L. Ganry^{a,*,b}, P. Blot^c, S. Balandier^c, J.-M. Bouric^c, W. Sabouni^d, P. Corre^c,
R.H. Khonsari^{a,b}

^a *Service de chirurgie maxillofaciale et stomatologie, hôpital Pitié-Salpêtrière, AP-HP, 75013 Paris, France*

^b *UPMC université Paris 06, 75005 Paris, France*

^c *Clinique de stomatologie et chirurgie maxillo-faciale et Centre de compétence Maladies rares des Pays de Loire pour le traitement des fentes labio-palatines et malformations faciales, CHU de Nantes, 44000 Nantes, France*

^d *Clinique d'orthopédie dento-faciale La Réserve, 83150 Bandol, France*

Summary

Introduction. The aerophonoscope allows for recording buccal and nasal airflow during breathing and speech and the sounds emitted by the patient. It is known to be useful in the postoperative follow-up of cleft lip and palate children, but there are currently no studies that quantitatively validate its reliability in pathological or non-pathological situations. The aim of our study was to measure the reliability of aerophonoscopic measures in adult healthy volunteers.

Material and methods. A quantitative evaluation of the reliability of aerophonoscopy has been carried out in 30 healthy adult volunteers by measuring its inter- and intra-individual reproducibility and its sensibility in relation with the degree of the velopharyngeal sphincter constriction using a test–retest protocol.

Results. The aerophonoscope allows for inter- and intra-individual reproducible measures in healthy adult volunteers. Its sensibility to velopharyngeal sphincter constriction is good in healthy adult volunteers.

Discussion. The interest of aerophonoscopy in the treatment strategy of cleft lip and palate patients remains unclear. More reliable quantitative data would be of major interest to determine whether this device is suitable for the follow-up of cleft lips and palate patients or not. This would also allow for planning a second soft-palate operation

Résumé

Introduction. L'aérophonoscope permet d'enregistrer les flux d'air buccaux et nasaux lors de la respiration et de la phonation, ainsi que les sons émis par le patient. Il est réputé utile pour le suivi post-opératoire des enfants porteurs de fente labio-alvéolo-palatine, mais il n'existe à l'heure actuelle pas d'études qui valident de façon quantitative sa fiabilité en situations pathologique ou non pathologique. Le but de notre étude était de mesurer la fiabilité des mesures aérophonoscopiques chez des adultes volontaires sains.

Matériel et méthodes. Une évaluation quantitative de la fiabilité de l'aérophonoscopie a été réalisée chez 30 sujets adultes sains en mesurant sa reproductibilité inter- et intra-individuelle ainsi que sa sensibilité au degré de fermeture du sphincter vélo-pharyngé à l'aide d'un protocole de type test–re-test.

Résultats. L'aérophonoscope fournit des mesures quantitatives inter- et intra-individuelles reproductibles chez des sujets adultes sains. Sa sensibilité au degré d'occlusion du sphincter vélo-pharyngé est bonne chez les sujets sains.

Discussion. L'intérêt de l'aérophonoscopie dans l'établissement du plan de traitement des fentes labio-alvéolo-palatines reste à établir. Plus de données quantitatives fiables sont nécessaires pour déterminer la place de ce dispositif dans le suivi des enfants porteurs de fente, dans la pose d'une indication de reprise chirurgicale du voile

* Auteur correspondant.

e-mail : laurentganry@hotmail.fr (L. Ganry).

and for assessing the efficacy of revision surgery such as superior or inferior pedicled pharyngoplasty.

© 2015 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Medical devices, Cleft lip and palate, Reproducibility of results, Rhinolalia, Retreatment, Follow-up, Outcome assessment

et dans l'évaluation de l'efficacité de gestes secondaires telles les pharyngoplasties à pédicule inférieur ou supérieur.

© 2015 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Dispositifs médicaux, Fente labio-alvéolo-palatine, Reproductibilité de résultats, Rhinolalie, Reprise du traitement, Suivi, Évaluation des résultats

Introduction

L'aérophonoscope, développé par Georges Rineau en 1989, permet d'enregistrer les flux d'air buccaux et nasaux lors de la respiration et de l'émission des sons. L'examen aérophonoscopique permet d'attribuer un profil de fonctionnement vélaire aux enfants vus en consultation postopératoire après reconstruction de fente labio-alvéolo-palatine. L'association de l'étude des flux d'air nasaux et buccaux et du son émis par le patient permettrait de définir objectivement une courbe ou « profil » de dysphonie. Aucune étude n'a jusqu'à présent mesuré de façon quantitative la fiabilité du dispositif, ce qui est problématique lorsqu'une indication de reprise chirurgicale est envisagée en se fondant en partie sur ce profil. D'autres dispositifs mesurant le profil vélaire existent sur le marché, mais posent les mêmes problèmes de validité des résultats et/ou des difficultés d'utilisation. L'aérophonoscope nous semble être un bon compromis pour le suivi à long terme des enfants présentant une fente labio-alvéolo-palatine.

Le but de notre étude préliminaire était d'évaluer la fiabilité des mesures quantitatives fournies par l'aérophonoscope sur une population d'adultes sains.

Matériel et méthodes

L'aérophonoscope (Société Orthalis, Diedendorf, France) est composé d'une sonde comprenant deux orifices nasaux placés à la verticale des narines et un orifice buccal, d'un système de capteurs à fils chauds, d'un microphone externe, le tout relié à un ordinateur équipé du logiciel AÉRO RD (version 2006). Le dispositif comprend cinq canaux de saisie :

- débit d'air nasal droit ;
- débit d'air nasal gauche ;
- débit d'air nasal total ;
- débit d'air buccal ;
- son.

Le choix préférentiel de certains canaux de saisie et l'utilisation de différents temps de saisie permettent, au besoin, une analyse plus fine de la parole [1].

L'étude a porté sur 30 volontaires sains (17 femmes, 13 hommes), d'un âge moyen de 25 ans (19 à 42 ans) et exempts

d'antécédents maxillo-facial, ORL ou orthophonique. Nous avons utilisé le protocole standard appliqué au CHU de Nantes (*tableau I*) [1]. Un exemplaire écrit de ce protocole a été au préalable fourni à tous les participants, qui devaient le lire à deux reprises. Deux mesures (test et re-test) ont été effectuées. Le nombre total d'items enregistrés était de 13, sur les quatre canaux (canal son exclu). L'aérophonoscope n'étant pas destiné à fournir des données quantitatives, nous avons modifié le logiciel d'acquisition avec l'assistance du constructeur. Les données brutes ainsi obtenues correspondaient à une hauteur sous la courbe exprimée sur une échelle sans unité, allant de 0 à 100. Le calibrage des quatre canaux était identique. La fréquence d'échantillonnage était de 1/125 Hz. Toutes les analyses statistiques effectuées sur les données quantitatives ont été réalisées avec le logiciel SPSS 22 (Statistical Package for the Social Sciences, IBM).

Afin d'évaluer la reproductibilité inter-individuelle, nous avons calculé la moyenne, l'écart-type, la borne inférieure et supérieure, le coefficient de variation (CV) – qui exprime en pourcentage l'écart-type par rapport à la moyenne, avec une valeur de 100 % si l'écart-type est égal à la moyenne (*tableau II*).

Afin d'évaluer la reproductibilité intra-individuelle, nous avons calculé le coefficient de corrélation intra-classe (CCI) entre les valeurs du test et du re-test avec un modèle alpha de Cronbach, en *two-way mixed*, en cohérence absolue et en

Tableau I

Protocole d'acquisition aérophonoscopique.

Perméabilité nasale-émission des mots « NON MAMAN, NON MAMAN » + respiration de repos

Mobilisation passive/tonicité du voile

Émission d'un souffle buccal tenu

Mobilisation active du voile 1/3 - émission de voyelles orales isolées ouvertes, puis fermées

Mobilisation active du voile 2/3 - émission de syllabes isolées

Consonnes occlusives sourdes [PA TA KA]

Consonnes occlusives sonores [BA DA GA]

Consonnes fricatives [FA SA CHA]

Mobilisation active du voile 3/3 - émission de phrases orales

Tableau II

Reproductibilité inter-individuelle des mesures de l'aérophonoscope.

Paramètres	Site	Moyenne	Écart-type	CV (%)
Perméabilité nasale	Nasal R S1	80,41	20,75	25,8
	Nasal R S2	76,44	23,90	31,26
	Nasal L S1	88,72	9,35	10,54
	Nasal L S2	82,27	19,43	23,62
	Nasal total S1	85,69	11,12	12,98
	Nasal total S2	80,38	15,19	18,89
	Oral S1	17,62	12,94	73,41
	Oral S2	14,51	8,59	59,20
Voyelles orales	Nasal R S1	11,82	13,77	116,48
	Nasal R S2	8,59	4,46	51,97
	Nasal L S1	8,86	16,76	189,22
	Nasal L S2	5,17	7,27	140,52
	Nasal total S1	10,11	14,99	148,17
	Nasal total S2	5,62	4,36	77,60
	Oral S1	10,51	10,11	96,23
	Oral S2	11,31	9,33	82,51
Voyelles nasales	Nasal R S1	63,18	26,61	42,12
	Nasal R S2	59,82	27,44	45,87
	Nasal L S1	74,18	24,71	33,32
	Nasal L S2	67,54	24,48	36,25
	Nasal Total S1	69,88	20,31	29,06
	Nasal Total S2	64,16	18,66	29,09
	Oral S1	7,10	6,27	88,24
	Oral S2	9,43	11,72	124,23
Consonnes nasales	Nasal R S1	81,42	23,66	29,06
	Nasal R S2	74,34	27,63	37,17
	Nasal L S1	81,79	26,24	32,08
	Nasal L S2	79,87	26,50	33,17
	Nasal Total S1	86,37	15,10	17,49
	Nasal Total S2	82,38	14,30	17,36
	Oral S1	4,12	2,81	68,30
	Oral S2	4,12	2,08	50,49
Occlusives sourdes + voyelles ouvertes	Nasal R S1	15,75	3,31	20,99
	Nasal R S2	13,40	4,13	30,86
	Nasal L S1	9,39	4,72	50,27
	Nasal L S2	7,78	5,13	65,94
	Nasal Total S1	12,05	3,41	28,29
	Nasal Total S2	10,09	3,56	35,35
	Oral S1	19,85	9,25	46,61
	Oral S2	17,21	7,58	44,04
Occlusives sourdes + voyelles fermées	Nasal R S1	15,26	3,02	19,77
	Nasal R S2	13,12	3,35	25,50
	Nasal L S1	8,27	4,77	57,63
	Nasal L S2	7,14	3,75	52,50
	Nasal Total S1	11,33	3,17	27,96
	Nasal Total S2	9,64	1,92	19,90
	Oral S1	21,36	8,20	38,40
	Oral S2	19,69	7,10	36,08
Occlusives sonores + voyelles ouvertes	Nasal R S1	14,74	3,68	24,97
	Nasal R S2	13,22	3,56	26,90
	Nasal L S1	9,97	6,63	66,48
	Nasal L S2	7,47	4,35	58,15
	Nasal total S1	11,87	5,01	42,19
	Nasal total S2	9,99	3,17	31,73

Tableau II (Suite)

Paramètres	Site	Moyenne	Écart-type	CV (%)
	Oral S1	14,50	7,20	49,65
	Oral S2	12,41	5,88	47,41
Occlusives sonores + voyelles fermées	Nasal R S1	15,19	4,24	27,93
	Nasal R S2	13,80	3,76	27,25
	Nasal L S1	9,20	5,36	58,29
	Nasal L S2	7,45	3,87	51,97
	Nasal Total S1	12,08	4,09	33,86
	Nasal Total S2	10,18	2,91	28,62
	Oral S1	18,46	8,91	48,28
	Oral S2	16,60	8,86	53,41
Fricatives + voyelles ouvertes	Nasal R S1	15,76	8,99	57,08
	Nasal R S2	14,13	4,72	33,42
	Nasal L S1	9,61	6,05	62,99
	Nasal L S2	9,44	9,33	98,88
	Nasal Total S1	12,08	7,21	59,71
	Nasal Total S2	11,04	5,79	52,45
	Oral S1	39,20	16,98	43,32
	Oral S2	37,22	19,21	51,61
Fricatives + voyelles fermées	Nasal R S1	14,64	4,25	28,99
	Nasal R S2	12,86	3,92	30,49
	Nasal L S1	8,70	3,82	43,88
	Nasal L S2	8,55	7,49	87,65
	Nasal total S1	11,33	2,81	24,78
	Nasal total S2	10,89	4,91	45,10
	Oral S1	43,18	16,94	39,22
	Oral S2	40,71	17,10	42,01
Phrases orales	Nasal R S1	16,22	3,17	19,56
	Nasal R S2	15,31	3,82	24,94
	Nasal L S1	8,82	3,98	45,09
	Nasal L S2	8,63	4,07	47,19
	Nasal total S1	11,83	2,61	22,02
	Nasal total S2	11,83	2,89	24,39
	Oral S1	34,77	14,06	40,43
	Oral S2	33,13	12,04	36,36
Phrases nasales	Nasal R S1	13,11	4,85	37,01
	Nasal R S2	14,61	4,79	32,79
	Nasal L S1	8,61	5,69	66,10
	Nasal L S2	8,81	5,55	63,00
	Nasal total S1	10,31	4,34	42,07
	Nasal total S2	11,06	4,69	42,35
	Oral S1	94,20	2,24	2,38
	Oral S2	94,86	0,93	0,98

S1 : test ; S2 : re-test.

mesure moyenne. Une valeur CCI > 0,75 est considérée excellente en termes de fiabilité, alors qu'une valeur entre 0,45 < CCI < 0,75 est considérée comme correcte (tableau III).

Résultats

Tous les échantillons avaient une distribution normale et leur variance était homogène.

Tableau III
Reproductibilité intra-individuelle des mesures de l'aérophonoscope.

Paramètre	Site	CCI
Perméabilité nasale	S1/S2 nasal droit	0,73
	S1/S2 nasal gauche	0,59
	S1/S2 nasal total	0,79
	S1/S2 oral	0,67
Voyelles orales	S1/S2 nasal droit	0,37
	S1/S2 nasal gauche	0,77
	S1/S2 nasal total	0,44
	S1/S2 oral	0,77
Voyelles nasales	S1/S2 nasal droit	0,81
	S1/S2 nasal gauche	0,81
	S1/S2 nasal total	0,79
	S1/S2 oral	0,49
Consonnes nasales	S1/S2 nasal droit	0,81
	S1/S2 nasal gauche	0,73
	S1/S2 nasal total	0,67
	S1/S2 oral	0,72
Occlusives sourdes + voyelles ouvertes	S1/S2 nasal droit	0,56
	S1/S2 nasal gauche	0,39
	S1/S2 nasal total	0,37
	S1/S2 oral	0,77
Occlusives sourdes + voyelles fermées	S1/S2 nasal droit	0,65
	S1/S2 nasal gauche	0,78
	S1/S2 nasal total	0,57
Occlusives sonores + voyelles ouvertes	S1/S2 nasal droit	0,77
	S1/S2 nasal gauche	0,71
	S1/S2 nasal total	0,77
	S1/S2 oral	0,87
Occlusives sonores + voyelles fermées	S1/S2 nasal droit	0,78
	S1/S2 nasal gauche	0,63
	S1/S2 nasal total	0,60
	S1/S2 oral	0,77
Fricatives + voyelles ouvertes	S1/S2 nasal droit	0,56
	S1/S2 nasal gauche	0,87
	S1/S2 nasal total	0,93
	S1/S2 oral	0,87
Fricatives + voyelles fermées	S1/S2 nasal droit	0,81
	S1/S2 nasal gauche	0,47
	S1/S2 nasal total	0,59
	S1/S2 oral	0,88
Phrases orales	S1/S2 nasal droit	0,84
	S1/S2 nasal gauche	0,76
	S1/S2 nasal total	0,84
	S1/S2 oral	0,90
Phrases nasales	S1/S2 nasal droit	0,57
	S1/S2 nasal gauche	0,56
	S1/S2 nasal total	0,60
	S1/S2 oral	0,09

S1 : test ; S2 : re-test ; CCI : coefficient de corrélation intra-classe. En bleu : CCI < 0,75 (excellent) ; en rouge : CCI < 0,45 (mauvais).

Reproductibilité inter-individuelle (tableau II)

Douze valeurs sur 96 (soit 12,5 % des valeurs) du CV étaient au-dessus de 70 % ; Sept de ces 12 valeurs (soit 58,3 %) se trouvaient dans le groupe des voyelles orales.

Reproductibilité intra-individuelle (tableau III)

Vingt-quatre valeurs du CCI sur 48 (soit 50 % des valeurs) étaient supérieures à 0,75 et 5 valeurs sur 48 (soit 10,4 %) étaient inférieures à 0,45.

Influence du degré de fermeture du sphincter vélo-pharyngé

Les consonnes nasales ont obtenu des valeurs de mesures significativement plus élevées que les voyelles nasales ($p < 0,05$ pour les 4 canaux, test Z bilatéral), ces dernières demandant une élévation vélaire plus importante que les consonnes nasales et donc un flux nasal moins important.

Discussion

Notre étude ne permet pas d'établir des valeurs normales pour les sujets sains mais les coefficients de variation indiquent que les valeurs de test et de re-test chez un même individu, pour un item et un canal, sont utilisables comme référence pour un sujet donné.

Notre étude indique donc que l'aérophonoscope est adapté au suivi d'un patient dans le temps mais qu'il n'a pas été possible, pour aucun canal, d'établir des normes caractérisant le statut de « sujet sain ».

Notre étude montre également que l'aérophonoscope est sensible aux degrés d'occlusion du sphincter vélo-pharyngé. Il existe de nombreux autres dispositifs de mesure du flux d'air nasal. Le nasomètre (Kay Elemetrics Corp., Lincoln Park) est le plus ancien dispositif de mesure quantitative de la nasalance et le plus communément utilisé. Cependant, les scores fournis par le nasomètre ne sont pas comparables d'une publication l'autre pour une situation donnée [2]. Le Nasalview (Tiger Electronics, Seattle) fournit des données non-comparables à celles issues du nasomètre [3], et l'appareil est peu adapté au suivi à long terme [4]. L'Oronasal Mask (Glottal Enterprises, Syracuse) est moins fiable que les deux appareils précédents en termes de reproductibilité intra-individuelle [4,5]. L'aérophonoscope a de ce fait sa place comme appareil de référence de quantification de la « nasalance ». Les reproductibilités inter- et intra-individuelles doivent cependant être analysées chez l'enfant et dans des cas pathologiques avant de conclure définitivement sur la fiabilité de ce dispositif.

Une fois ces analyses complémentaires effectuées, l'aérophonoscope pourra être utilisé pour évaluer quantitativement les effets de la chirurgie secondaire des fentes vélares, dont les résultats n'ont pas encore fait l'objet de larges études

chiffrées. Ce dispositif pourrait être alors être utilisé à des moments-clés du traitement, notamment lorsqu'une chirurgie secondaire à visée phonatoire est envisagée. Les données qualitatives actuellement fournies par la machine dans les cas pathologiques (fig. 1-3) ne sont qu'indicatives et ne permettent pas d'établir des conduites à tenir rigoureuses. Des

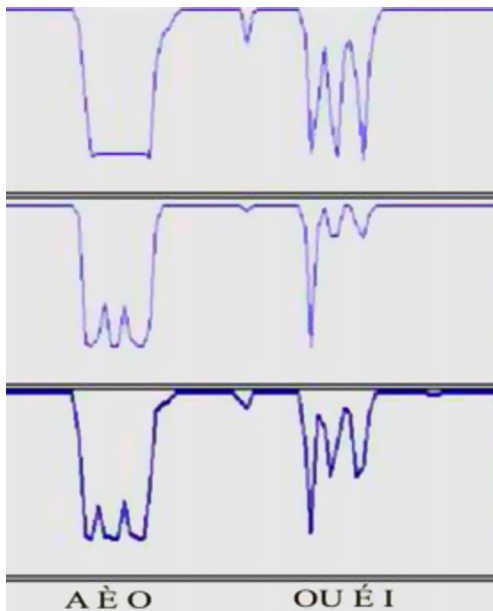


Figure 1. Rhinolalie ouverte fonctionnelle : déperditions nasales plus importantes pour les voyelles fermées que pour les voyelles ouvertes.

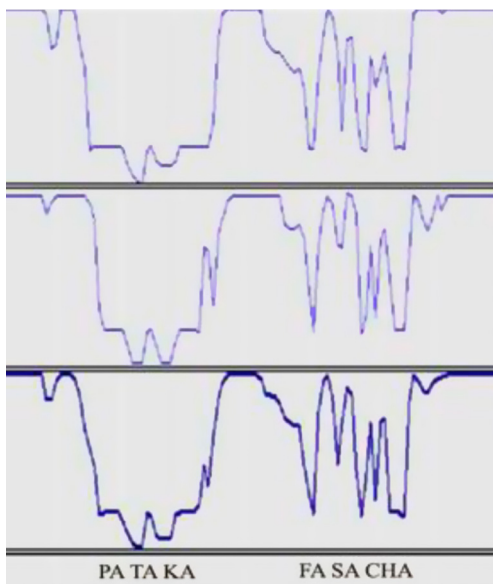


Figure 2. Rhinolalie ouverte fonctionnelle : déperditions nasales plus importantes pour les consonnes fricatives que pour les consonnes occlusives.

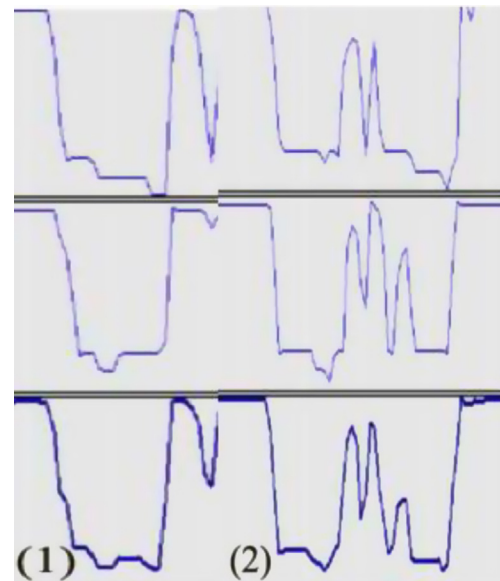


Figure 3. Rhinolalie ouverte fonctionnelle : déperditions nasales moins importantes pour les phrases standards (1) que pour les phrases en [i] (2).

données quantitatives validées seraient également d'un intérêt majeur pour confirmer les effets de gestes chirurgicaux controversés, telles que les pharyngoplasties à pédicule inférieur ou supérieur.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] [Blot P, Khonsari RH. Mesure du flux nasal et aérophonoscopie. Rev Stomatol Chir Maxillofac 2009;110:89-93.](#)
- [2] [Mayo R, Floyd LA, Warren DW, Dalston RM, Mayo CM. Nasalance and nasal area values: cross-racial study. Cleft Palate Craniofac J 1996;33:143-9.](#)
- [3] [Lewis KE, Watterson T. Comparison of nasalance scores obtained from the Nasometer and the NasalView. Cleft Palate Craniofac J 2003;40:40-5.](#)
- [4] [Bressmann T. Comparison of nasalance scores obtained with the Nasometer, the NasalView and the OroNasal System. Cleft Palate Craniofac J 2005;42:423-33.](#)
- [5] [Bressmann T, Klaiman P, Fischbach S. Same noses, different nasalance scores: data from normal subjects and cleft palate speakers for three systems for nasalance analysis. Clin Linguist Phon 2006;20:163-70.](#)