原 著

聴覚フィードバックを考慮した音声検査の試み(第1報)

高山悦代 斎藤成司* 大築淳一
福田宏之*

要 約：従来より、発声に対する聴覚系よりの制御作用は、きわめて重要なものとされている。しかしながら、発声機能を把握する目的で行われている現在の発声検査では、トランスデューサーの装着は、呼気流量測定のために、マウスピースやマスクを用いているので、被検者は、自らの声を聴覚系よりフィードバックさせることが困難である。

そこで、今回われわれは、イコライザーによって、より自然な発声に近づけた音声を被検者に、ヘッドフォンより聴かせながら検査をする方法を試みた。

索引用語：音声検査, Auditory Feedback

Phoniatric Examination with Regulation by Auditory Feedback

Etsuyo Takayama, Shigeji Saito*, Junichi Otsuki
and Hiroyuki Fukuda*

Abstract : It is well known that control by the auditory system for voicing is very significant in order to produce a good vocal sound. In normal phonation, this auditory feedback regulation plays an important role in daily voice production. However, this auditory regulation cannot be performed normally in daily clinical examination of the phonatory function because the patient cannot hear his/her own voice naturally when wearing a mouthpiece or mask.

To remedy this circumstance, we have recently designed a system in which a patient being examined can listen to his/her voice naturally. The patient's voice is picked up by a pitch extract amplifier and then introduced to an equalizer amplifier, by which it can be equalized fairly naturally. The equalized voice can be heard through open type headphones. Thus auditory feedback regulation can be maintained normally during examination of the voice.

In this paper, the method is demonstrated, and the results are discussed mainly from the viewpoint of application in daily clinical examination.

Key words : phoniatric examination, auditory feedback

東京都済生会中央病院耳鼻咽喉科：〒108 東京都港区三田1-4-17

* 慶応義塾大学医学部耳鼻咽喉科学教室：〒160 東京都新宿区信濃町35

Department of Otolaryngology, Saiseikai Central Hospital Tokyo 108, Japan

* Department of Otolaryngology, School of Medicine, University of Keio Tokyo 160, Japan

原稿受理 昭和62年7月3日

はじめに

正常人の発声中に、聴覚を通じて適当な音響刺激を負荷すると、その音声の動揺が著明になるなど、1911年に報告された、いわゆる Lombard 現象¹⁾を始めとして、発声に対する聴覚系よりの制御作用は、きわめて重要なものと考えられてきた。しかしながら、発声機能を把握する目的で行われている現在の音声検査では、トランスデューサーの装着は、呼気流量測定のために、マウスピースやマスクを用いており、被検者は、自らの声を聴覚系よりフィードバックさせることが困難である。このことが、従来の音声検査が、客観性・再現性の点で問題とされる一因ではないかと考えられる。

われわれは、今回ヘッドフォンを介して、被検者に自らの声をフィードバックさせる検査法を試み、音声のパラメータの変化を、従来の方法と比較した。

方 法

図1に、本方法のブロックダイアグラムを示す。発声機能検査装置 PHONOLARYNGO-GRAPH SH-02 (RION) を用い、ピッチ抽出器に入力される前の被検者の声を、イコライザーによって周波数補正をし、オープン・タイプのヘッドフォンを介して、被検者に聴かせながら、発声させた(図2)。

イコライザーによってなされた音声の補正は、母音「U」を例にとり、FFT アナライザーを用いて周波数分析を行った結果は図3のようであった。(1)は、マウスピースもマスクも付けずに口唇より20 cmの距離よりマイクロフォンを介して得た音声の周波数スペクトルである。(2)、(3)はおのおののマウスピースを装着して発声させた時の、イコライザーによって補正をしていない音声と、イコライザーによって補正をした後の音声の周波数スペクトルであり、同様に(4)、(5)は、お

図1 本検査法のブロックダイアグラム

図2 本検査法の実際

のおの、マスクを装着して発声させた場合の周波数分析である。

検査は、再現性、データのバラツキを検討する目的で、音声検査に熟練した健康な医師3名に、各人20回、合計60回の測定を、無関位発声、最小発声、最大発声について行った。音声のパラメータは、基本周波数、平均呼気流量、音圧の同時測定値とし、ヘッドフォンを介した補正音を聞かせた状態と従来の方法とで、そのパラメータの変化を、マスクを用いた場合とマウスピースを用いた場合について比較した。

結 果

得られた、基本周波数、平均呼気流量は、対数変換

図3 母音[U]の周波数スペクトル

することにより、正規分布を示した。また、従来の方法と、ヘッドフォンを介したフィードバックを施行した時との平均値の比較を、Mean TestとMann-Whitney U-Testにより検定した結果、マウスピース装着時における最大発声での基本周波数にのみ、従来の方法との間で、5%の確率で有意差を認めた。しかし、その他の発声では、各パラメータは、マウスピース装着でもマスク装着でも、従来の方法と比較して、平均値に有意差は認められなかった(表1)。

基本周波数、平均呼気流量、音圧は、個人によって異なった値をとり、そのバラツキも一様ではなかったが、各人につき、平均値で標準偏差を割った値は、3人とも非常に一致を示したので、個々に測定値を、

各人の平均値に対する%偏差としてあらわせば、60個の測定値を一括してとりあつかうことができ、その標準偏差の値をバラツキ幅として算出した。

表2は、マウスピースを用いた時の%偏差における標準偏差である。⊖が従来の方法、⊕が聴覚フィードバックをヘッドフォンを介して行った場合で、全体の傾向として、平均呼気流量のバラツキ幅は、基本周波数、音圧に比較して広く、従来の方法との比較では、最小発声、最大発声において、ヘッドフォン装着時、基本周波数のバラツキ幅の減少を認めた。

表3は、マスクを用いた時の%偏差における標準偏差である。平均呼気流量のバラツキ幅は、マウスピースを用いた場合と同様に、他のパラメータに比べ、広

表1 各発声における各パラメータの平均値の比較

		T-test	Mann-Whitney U-test
EP	pitch	0.431	0.687
	flow	0.563	0.512
	intensity	0.516	0.652
MIN	pitch	0.304	0.675
	flow	0.403	0.372
	intensity	0.240	0.354
MAX	pitch	0.028*	0.021*
	flow	0.373	0.675
	intensity	0.364	0.188

* : $P < 0.05$

		T-test	Mann-Whitney U-test
EP	pitch	0.540	0.285
	flow	0.133	0.079
	intensity	0.426	0.585
MIN	pitch	0.162	0.129
	flow	0.297	0.153
	intensity	0.257	0.212
MAX	pitch	0.064	0.223
	flow	0.546	0.688
	intensity	0.383	0.494

上段：マウスピース装着，下段：マスク装着

表2 マウスピースを用いた場合

		% 偏差における標準偏差	
		⊖	⊕
EP	pitch	1.00	1.10
	flow	4.25	3.70
	intensity	2.78	2.97
MIN	pitch	2.03	1.92
	flow	4.95	5.62
	intensity	1.74	1.86
MAX	pitch	1.29	1.16
	flow	3.78	4.53
	intensity	2.37	2.15

⊖：ヘッドフォン使用なし，⊕：ヘッドフォン使用

表3 マスクを用いた場合

		% 偏差における標準偏差	
		⊖	⊕
EP	pitch	1.74	1.82
	flow	3.84	2.25
	intensity	2.00	2.40
MIN	pitch	2.79	2.13
	flow	6.04	5.57
	intensity	1.49	1.48
MAX	pitch	1.78	0.51
	flow	2.23	3.33
	intensity	1.60	1.10

⊖：ヘッドフォン使用なし，⊕：ヘッドフォン使用

い傾向を示し，従来の方法との比較では，ヘッドフォン装着時に，最小発声・最大発声での基本周波数のバラツキ幅が狭かった。

考 察

音声外科の発展とともに，発声機能に対する検査法が報告され，検討が重ねられてきたが²⁻¹¹⁾，その方法，結果に対する統一した見解が見い出されていないのが現状である。著者も，1976年斎藤ら¹²⁾の基本周波数，平均呼気流率，音圧の同時測定法を用い，発声法を変

化させることにより，喉頭疾患における発声障害を明らかにさせることを報告した¹³⁾。しかしながら，発声機能は能動的，かつ多様性を持つため，いかなる発声をするかにより，その機能を示すパラメータが，検査の度に変化することもあり，客観性，普遍性に欠けることも否定できない。

ヒトにおける音声認識の方法には，中枢よりの発声器官への刺激からの anatomical feedback と，出力としての音声からの auditory feedback が関与していると考えられており¹⁴⁾，前者について，Stevens¹⁵⁾が aur-

iculatory reference theory として「音声認識は聞き手自身の音声の発声運動感覚を仲介として、それとの比較によって行われる」と報告している。そして、音声は音源の特性と声道の共振特性をあらわす周波数スペクトルの包絡線を規定することはできるが、耳は単純な周波数分析器ではなく、生理的機構に基づいた分析が基本となる聴覚機能の果す役割、つまり後者も十分に考慮する必要があるというわけである。正常人における、auditory feedback の働きについては、auditory masking に関する研究が多くあり、Lee¹⁶⁾以来、DAF (Delayed Auditory Feedback Effect) の追試はわが国でも府川¹⁷⁻¹⁹⁾によって、文章や早口ことばについて行われた。また、音声負荷による音声の変化について桜井ら²⁰⁾は音階を用い、岡本ら²¹⁾は話声位について検討しているが、それらの結果は、負荷音声の音圧等によって、必ずしも、一致しているものではなかった。

また、1981 年 Elman²²⁾は、音声の Pitch の変化に対する auditory feedback の効果の有無を検討し、10% 程度の Pitch の変化による Frequency-Shifted auditory feedback は、話声位に変化をもたらすこともなく、また被検者自身も気づかず、一定の Pitch を保ったと報告している。このことは、われわれが今回試みた音声検査時における聴覚フィードバック施行時の結果と対応しているものと考えられる。つまり、無関位発声における発声は、聴覚フィードバックのみによって定常状態を保つのではなく、“Servo” mechanism²³⁻²⁵⁾やその他の reflex が関与しており²⁶⁾、そのため、マウスピースやマスクの装着によって、変化した周波数スペクトルの変化は、無関位発声の音圧や基本周波数に変動をもたらさなかったであろう。また、一方では、発声の能力を把握する目的で行った最小発声や最大発声という負荷発声においては、聴覚フィードバックを施行することによって、発声の再現性を高められることが、基本周波数や音圧の測定値のバラツキの減少を得たことによって確められたといえる。

結 論

音声検査において、マスクやマウスピースによって変化した音声の音圧と周波数の補正を、人間の聴覚印象を基準としてイコライザーによる補正をおこない、発声時にヘッドフォンを介して、被検者に聞かせ、現在の音声検査における聴覚フィードバックの必要性の有無について検討した。その結果、以下の知見を得た。

1) 無関位発声時、マウスピース法でもマスク法でも、聴覚フィードバックの有無に関わらず、基本周波数、音圧の測定値にバラツキは少なかった。

2) マウスピース法では、最小発声、最大発声において、聴覚フィードバック施行により、基本周波数の測定値のバラツキが減少した。

3) マスク法では、最小発声、最大発声において、聴覚フィードバック施行により、基本周波数と音圧の測定値のバラツキが減少した。

終稿にあたり、周波数分析を担当していただいたりオン(株)、堀清治、原 哲淑の両氏に深謝いたします。

本論文の要旨は、第 30 回日本音声言語医学会総会において発表した。

文 献

- 1) Lombard, E.: Le signe de l'elevation de la voix. *Ann Mal Oreil Larynx*, 37: 101-119, 1191.
- 2) 小宮山荘太郎: 発声の新しい評価法. 耳鼻, 18: 428-440, 1972.
- 3) 小宮山荘太郎, 他: phonemeter の試作. 耳鼻, 23: 105-110, 1977.
- 4) 斎藤成司: 発声機構の基礎的研究及び喉頭内腔への臨床的アプローチ, 宿題報告. 耳鼻, 23 補(1): 171-384, 1977.
- 5) 福田宏之: ピッチメータ. 耳鼻, 53: 789-795, 1981.
- 6) 福田宏之: 発声効率に関する検査. 日本音声言語医学会編“声の検査法”. 医歯薬出版, 東京, 240-252, 1979.
- 7) 福田宏之, 他: 基本周波数・強さ・および呼気流の同時測定による発声効率の検討. 日本音響学会音声研究会資料, S 81-105, 845-852, 1982.
- 8) 垣田有紀, 他: 発声の効率を示す新しいパラメータと表示方法の提案. 音声言語医学, 23: 202-210, 1982.
- 9) 垣田有紀: 発声中の音声波—呼気流指数. 日耳鼻, 86: 958-965, 1983.
- 10) 佐藤 学, 他: phonolaryngogram におけるパターンの評価. 音声言語医学, 23: 184-192, 1982.
- 11) 鯨井和朗: 発声時呼気流率, 基本周波数と音圧の関係. 耳鼻, 29: 756-769, 1983.
- 12) 斎藤成司, 他: 発声時呼気流率, 音声の強さ, 音声の高さの同時測定の試み. 音声言語医学, 17: 79, 1976.
- 13) 高山悦代: 負荷発声を用いた音声検査に対する統計学的解析. 耳鼻, 31: 260-269, 1985.
- 14) 中田和男, 杉本利孝: 音声情報処理. 電子通信学会編“聴覚と音声”電子通信学会, 東京, 415-470,

- 1968.
- 15) Stevens, K. N. : Toward a model for speech recognition J. Acoust. Soc. Am., 32 : 47-51, 1960.
 - 16) Lee, B. S. : Effect of delayed speech feedback. J. Acoust. Soc. Am., 22 : 824-826, 1950.
 - 17) 府川昭世 : 朗読課題の熟知度と遅延聴覚フィードバック効果—言語運動の外在および内在フィードバックモデルの観点からみた DAF 効果 (I) —. 音声言語医学, 21 : 103-108, 1980.
 - 18) 府川昭世 : 遅延聴覚フィードバック効果における朗読課題の熟知度・練習の影響および性差—言語運動の外在および内在フィードバックモデルの観点からみた DAF 効果 (II) —. 音声言語医学, 22 : 151-156, 1981.
 - 19) 府川昭世 : 日本人大学生の於ける遅延聴覚フィードバック効果に及ぼす言語 (日本語・英語) と構音の難易の影響—言語運動の外在・内在フィードバックモデルからみた DAF 効果 (III) —. 音声言語医学, 24 : 174-182, 1983.
 - 20) 桜井 栄, 他 : 音感についての実験的検討. 日耳鼻, 73 : 1527-1532, 1970.
 - 21) 岡本 健, 他 : 話声位の検査法—Pitch と Intensity の関係について. 耳鼻, 30 : 1-9, 1984.
 - 22) Elman, J. L. : Effects of frequency-shifted feedback on the pitch of vocal productions. J. Acoust. Soc. Am., 70 : 45-50, 1981.
 - 23) Fairbanks, G. : Systematic research in experimental phonetics : I. A. theory of speech mechanism as a servosystem J. Speech Hear. Disord., 19 : 133-139, 1954.
 - 24) Fry, D. B. : "The control of speech and voice," in Regulation and Control in Living Systems, edited by H. Kalmus (Wiley, London), p. 137-154, 1966.
 - 25) Wyke, B. D. and Kirchner, J. A. : "Neurology of the larynx," in Harrison and Hinchcliffe Scientific Foundations of Otolaryngology (Heinemann, London), p. 546-574, 1976.
 - 26) Sapir, S. and McClean, M. D. : Effects of frequency-modulated auditory tones on voice fundamental frequency in human. J. Acoust. Soc. Am., 73 : 1070-1073, 1983.

別刷請求先 : 〒108 東京都港区三田 1-4-17

東京都済生会中央病院耳鼻咽喉科

高山悦代