喉頭の発声機能検査法の問題点

小池 靖夫・宇高二良・石田達也・阿河邦治

Some Problems Associated with Current Methods for Examining Laryngeal Function

Yasuo Koike, Jiro Udaka, Tatsuya Ishida and Kuniharu Agawa

This paper presents a critique of clinical methods currently used for assessment of laryngeal function. Acoustic, aerodynamic and perceptual analysis are discussed. It is suggested that acoustic analysis is limited relative to establishing a specific diagnosis but may have application in screening for laryngeal malignancy. The problems identified with aerodynamic assessment are those associated with the warm-wire anemometer. Criticisms of the perceptual scales widely adopted in Japan focus on the fact that parameters selected are arbitrary and other measures may be more precise in describing vocal hoarseness. Crossing all measures of vocal function is the need for standard calibration procedures. The authors conclude that considerable study is needed before laryngeal function tests can be considered a true clinical examination of the vocal system.

Key words : 発声機能検査, 音響分析, 呼気流率, 聴覚心理的検査

1. はじめに

ヒトの喉頭は多くの機能をもっている。発声機能はその一つであるが、生物学的にみればこれは決して不可欠の機能ではない。喉頭癌のために喉頭全別をうけた患者が立派に生存できることは、このことを端的に示している。しかし、ヒトは社会生活を営む生物であり、社会生活を維持するためには言葉によるコミュニケーションが極めて重要な役割を果たしている。喉頭の発声機能は、社会的存在としてのヒトにとって、極めて重要な機能である。

かつては、患者の生物学的生存が臨床医学の目的であり得たが、今日の臨床医学の課題は決してそれにとどまらない。臨床医学の一分科としての今日の喉頭科学は、喉頭疾患の診断と治療、さらには予防等の実践を通じて、患者の社会生活を回復させ保全することを課題とするものである。喉頭の発声機能を評価することは、患者の社会生活を念頭においた喉頭科学の立場からみると、特に重要性の高いことがらである。

このような重要性にもかかわらず、発声機能の評価法は未だ十分に基準化されているとは言いがたい。多くの臨床機関や研究施設において様々な試みがなされているが、臨床検査法として確立しているものは未だ乏しいのが現状である。しかし最近、わが国においても、また国際的にも、発声機能検査法の洗い直しと基準化の必要性が指摘されるようになってきた。

そこで本論文においては、わが国で行われている発声機能検査法のいくつかについて、臨床検査としてみたときの問題点を指摘し、それらに対する対策を検討してみたい。

なお、臨床検査の本来の意味は“診断の目的で行われる調査研究”^{1),2)}であるから、本論文においてはこの定義に従う。発声機能検査としては、多種多様な解析が行われているが、紙数の関係から、本稿では音響分析、空気力学的検査、聴覚心理的検査の3つの分野に限って考察する。

2. 音響分析による検査に関して

ヒトの音声波は音響の一種であるから、音声波によって伝えられる情報は、言語的情報にしても非言語的情報にしても、すべて何らかの形の音響信号として音声波の中に含まれていることになる。従って、ヒトが聞いて判断できる情報なら、いつかは音響解析によってとり出すことができるだろうという考えが成り立つ。そこで、例えば喉頭疾患の存否といった情報が、患者の声を聞いただけで判断できるのなら、その情報を音響解析によって取り出そうという試みがなされるのは当然である。

しかも一方においては、熟練した耳鼻科医が、しばしば患者の声を聞いただけで、喉頭疾患の存否や、場合によっては疾患の性質までも推測し得るという事実がある。従って、いろいろな音響解析技術を病的な音声に応用し、喉頭疾患に対応する特徴を検索する試みが古くから行われてきた。例えばサウンドスペクトログラフによる解析^{3),4)}はその適例である。

しかしここで注意しなければならぬことは、こうした検討が、実は他の臨床的診断手段で既に診断の確定した患者について行われたものである点であろう。つまり、サウンドスペクトログラフ上で見出された各疾患の特徴が、喉頭疾患の診断に役立つか否かは未だ検証されていないのであ

る。勿論、だからといってサウンドスペクトログラフが無用だということになる訳ではない。例えばある喉頭疾患に対する治療の効果を目でみえるように呈示するといった目的で使うのなら、この方法も充分に有用であろう。

また音響分析は、臨床診断とは少し異なった分野で、大きな可能性をもっている。それは、多数の一般人（患者ではなく）の中から、喉頭悪性腫瘍をもつ可能性の高い者（high risk group）を検索する、いわゆるスクリーニングの領域である。この領域で音響分析を利用することは1960年代から盛んに行われ、多くの指標が考案された。そして、かなり高い実用性が報告されている^{5), 6), 7), 8)}。この種の検討は、患者を対象とする臨床検査とは厳密にいうと異なるが、今後なお多くの発展が期待されるし、またそうした指標の検討が、将来臨床検査のために役立つこともあるものと思われる。

音響分析に関する問題のいま一つは、聴覚的判断との関係であろう。音声信号に対するヒトの聴覚的判断は恐ろしく精緻な生理機構によって行われており、現在われわれが持っている信号解析手段はまだ聴覚的判断には及ばないのが現実である。ただ、音響解析は客観的に行い得る上、一旦高精度で録音したあとでは、高い再現性をもっている。とくにデジタル録音はそうである。従って実際に聴覚的判断が行われる際の諸条件に注目して信号解析法を改善するならば、音響解析の精度を高め、臨床検査の目的で役立つようにすることも、いずれは可能であろう。

具体的には、持続母音の解析ばかりでなく、子音も含む音節や文、話しことば等の解析が是非とも必要であろう。実際に臨床家が聴覚的判断を行うにあたっては、会話の全体を手掛りとしているからである。また病歴や視診所見など、音声波以外の情報と組み合わせて判断するシステムも、臨床的には重要であろうと思われる。

3. 空気力学的検査に関して

発声機能に関連した検査のうち、わが国で最もひろく行われているものの一つに、いわゆる“空気力学的検査”がある。実際には、発声中の呼気流率を測定することを指しており、動力学とはあまり関係がない。この検査は、専用の機器が phonation analyzer とか phonolaryngograph といった名称で数社から市販されているため、一般に普及するに至ったものである。しかしこれらの機器の精度に関してはなお多くの問題が残されているので、こうした機器によるデータの評価にあたっては、十分な注意が必要である。

一般にこれらの機器では、発声中の呼気流率とならんで、声の基本周波数や強さの時間的経過がグラフとして表示されるようになっていいる。呼気流率の測定には定温型の熱線流量計が用いられており、被験者は流量計に連絡されたマウスピースをくわえて発声するようになっている。基本周波数は流量計あるいはマイクロホンの出力をピッチ抽出器に導いて得られ、強さはマイクロホンでとらえられた音圧を dB 単位で表示する。また、各出力に関する校正信号の

発生装置を内蔵しているのが普通である。

こうした機器によって得られるデータの信頼性を検討するため、著者らは R 社製 SH01 と M 社製 PA500 による計測値の比較を行った。対象は正常成人16名（うち女子6名）で、これを男子5名、女子3名から成る2群に分け、それぞれM社群とR社群に振りわけた。各被験者に最も出し易いピッチで、ピッチを出来るだけ一定にして発声させ、声の大きさを楽な声、弱い声、強い声の3段階に変化させた。そしてこの間、呼気流率と声の強さを記録した。口唇からマイクまでの距離は20cmであった。

呼気流率ならびに声の強さの出力は、各装置に内蔵されている校正信号発生装置の出力を用いて校正した。また各被験者について、小型圧変換器を経鼻的に声門下腔に導入して声門下圧を同時記録し、得られたデータから声門抵抗等の値を計算した。図1は得られたデータから声門下圧と呼気流率の関係をプロットしたもので、白丸がR社製、黒丸がM社製の装置によって得られたデータである。各個人について弱い声、楽な声、強い声の値を直線で結んで示している。

声門下圧が上昇すると呼気流率も上昇する傾向があることが分かるが、線分の勾配にはかなりのバラツキがある。これは、声門下圧と呼気流率との係わり方には個人差があることを示すものである。2つの装置によるデータは一部重なり合うが、M社製の装置によるもののほうが高い流率値を示す傾向がみとめられる。

この2つの装置からのデータは、声門下圧と音圧との関係についてみると、明らかに分離してしまう（図2）。R社製の装置によるデータのほうが、音圧に関して明らかに高い値をとる。ただ、声門下圧と音圧との間に比較的直線

図1 ピッチを一定にし、声の強さを変化させたときの声門下圧（横軸）と呼気流率（縦軸）の関係を示す。白丸はR社製、黒丸はM社製の測定装置によるデータである。同一被験者の弱い声、楽な声、強い声の値を線分で結んでいる。声門下圧が上昇すると呼気流も上昇する傾向があるが、両者の関係には個人差がある。M社製の装置によるデータのほうが、図の上方にある。

図2 声門下圧（横軸）と音圧（縦軸）との関係を示す。この両者の間には比較的直線的な関係があるが、音圧に関してかなりの個人差がみられる。また音圧に関しては、R社製の装置による測定値のほうが、M社製のものによるデータよりも明らかに図の上方に偏っている。

的な関係があることは、どちらのデータからも読みとることができる。また、音圧に関して個人差が大きいことも明らかである。

呼吸流量と音圧との関係についても同様であって、R社製の装置から得られたデータとM社製の機械からの値とは分離してしまう（図3）。ただ、呼吸流量が高くなると音圧も増加する傾向をうかがうことは、どちらのデータからも可能である。個人差が大きいことも同様である。図4は音圧と声門抵抗との関係を示したもので、かなり複雑であり、個人差も大きい。ただ、R社製の装置によるデータは右側、つまり高い音圧の側に偏り、M社製のものによる測定値は左側、つまり低い音圧の側に偏っている。なお、この実験の間、声門下圧の変化にもかかわらず、ピッチをほぼ一定に保つことは可能であった（図5）。

以上のデータから、声の強さの調節に関していろいろなことを読みとることが出来るが、問題はR社製の装置によるデータと、M社製の測定機によるデータの違いであろう。上述の成績は、各製品に内蔵している校正信号発生装置の出力による校正が、真の意味での校正にはなっていないことを示すものと思われる。音圧や流量の読みが測定装置のメーカーごとに大きく異なるようでは、これらの測定を臨床検査と見做すことは困難である。

しかし、音圧に限って言えば、このような違いをなくすことも、それ程困難なことではない。例えばマイクロホンの規格を統一し、被験者の口唇からマイクロホンまでの距離を一定にするだけでも、装置による音圧の読みの差は大きく減少するものと思われる。さらに、piston-phone による直接校正等の方策を採用するならば、現在の技術水準で

図3 呼吸流量（横軸）と音圧（縦軸）との関係を示す。呼吸流量の増加に伴って音圧も増大する傾向がうかがわれるが、この関係には個人差が大きい。また、R社製の装置によるデータは図の左上方、M社製のものによるデータは図の右下方に偏っている。

図4 音圧（横軸）と声門抵抗（縦軸）との関係を示す。この関係はかなり複雑で、個人によって大きく異なる。M社製の装置によるデータは、図の左下方に偏っている。

図5 声の大きさを変化させた場合、声門下圧が変動しているにもかかわらず、ピッチをほぼ一定に保つことは可能であったことを示す。声門下圧の変動幅には著しい個人差がある。

充分解決可能な問題であると思われる。

しかし呼気流量の測定に関しては、解決が必ずしも容易でない問題が残されている。これらは、定温型熱線流量計に附随する問題と、マウスピースに関連する問題とに分けて考えることができる。まず、熱線流量計の限界に関する考慮が必要である。熱線流量計は流れの方向を検知することが出来ないから、しばしば息つぎを伴う発声発語の場合の測定には適していない。また熱線流量計では、気流のごく限られた一部分の流速を計っているにすぎないので、発声に用いられる呼気流全体を代表させるには無理がある。ヒトの発声中の呼気流は部位によって流速が違い、厳密な層流でもないのだから、熱線流量計の出力で呼気流全体を表そうとすると、かなりの誤差が生じている可能性がある。

また、気流の流速によって周波数特性が変わることも問題である。発声中の呼気流は、流速がしばしば変わるが、それに応じて、記録される信号周波数帯域も変化しているのである。したがって、例えば起声部や止声部では、とくに誤差が大きくなる。しかし、こうした流速計そのものの問題よりも、マウスピースのもたらす問題のほうが、喉頭の発声機能の評価という面からはむしろ深刻な問題である。

市販の“空気力学的検査装置”を用いて呼気流量の計測を行う場合、呼気を流量計に導くため、マウスピースを被験者にくわえさせるのが普通である。そうすると、流量計内の空間がマウスピースによって口腔と連絡され、特定の共鳴を生ずることになる。この共鳴周波数に一致した周波数成分の信号エネルギーは著しく増強されるから、声の周波数成分の如何によって、つまり、基本周波数や音色の如何によって、流量の出力が左右されることになるのである。

この共鳴の問題は、とくに喉頭の効率とか singing formant といった精緻な問題を扱うためには避けて通れないところであり、十分な注意を要する点である。しかし最近では呼気流量測定法のこのような欠点を補う方法もいくつか提案されているから^{9),10)}、こうした進歩をとり入れて、呼気流量測定装置が改善されることを望みたい。なお、呼気流量に関しても、共通の校正方法を確立する必要があることは勿論である。

4. 聴覚心理的検査に関して

音声障害、とくに嗄声は、本来声の音色の障害であり、聴覚的にとらえられるものである。聴覚心理的評価は従って、例えば発声時呼気流量の測定などよりも、より直接的に発声機能の評価することだということもできる。そしてヒトの聴覚機構が、音声信号の認識に関して極めて鋭敏な能力をもっていることは先に述べた通りである。しかし聴覚心理的判断がかなり主観的であり、普遍妥当性に乏しいこともまた事実である。

そこで、出来るだけ共通の物差し（尺度）を作り、その尺度の上で定量的評価を行おうとする試みがなされるようになった。日本音声言語医学会が提唱した、嗄声の評価に関する GRBAS 尺度はそうした尺度の一つである。こうし

た尺度の上での評価はまだ不完全なものではあるが、音声障害の定量化を試みるという点で大きな意味をもつといってよいであろう。また、複雑な嗄声の性格を考慮し、複数の尺度の上でそれぞれ評価を行なうことも重要な点である。

ただ、こうした尺度ないし形容詞（Rough, Breathly, Strained, etc.）が任意（arbitrary）に選ばれたものにすぎないことは注意を要する。つまり、嗄声の聴覚心理的評価に適する尺度が、他にもあるかも知れないのである。音響学的な解析と対比してこうした尺度のもつ特性を明らかにしようとする試みが最近しばしば行われているが¹¹⁾、尺度自体の検索も大いに意味のあることであろう。

もう一つの問題は、聴覚心理的な尺度として用いられる形容詞の意味内容が普遍的（universal）なものではないかも知れない点である。例えば、breathly という形容詞に最もよく対応するとされる音声のスペクトル構造は、研究者の所属する国によってかなり違う^{11),12)}。このことは、例えば breathly という言葉の意味内容が、日本とスウェーデンでは違うかも知れぬことを示唆する。国際的に通用する評価尺度を作ろうとするのなら、こうした点も当然考慮されるべきであろう。

なお、先述のように、臨床家が喉頭疾患の診断を行う場合には、持続母音の聴取だけに頼るわけではない。会話の全体にわたって、各種の子音を含む音節の音韻的特徴や、抑揚などの韻律的特徴等、いろいろな手がかりを頼りにして発声機能異常の判断を行なうのが普通である。従って音響分析の場合と同様、聴覚心理的評価に際しても、持続母音ばかりではなく、文の朗読や話しことば等も含めた言語材料の検討が是非とも行われるべきであろう。

5. お わ り に

以上述べたように、今日発声機能検査法とよばれている諸手法には多くの問題点が残されており、それらの解決が必要なのは明らかである。しかもこれらの問題のうちいくつかは、今日の技術水準において解決可能と思われるので、早急な対策の実行が望まれる。これらの諸検査を本来の意味での臨床検査としてふさわしいものにするためには、しかしながら、まだまだ多くの研究が必要であろう。

とくに、喉頭疾患と病的音声をつなぐ要素が、声帯ヒダの振動様式であることを改めて強調したい。声帯ヒダの振動様式と音声の特徴との関係はよく分っているように思われているが、実はわれわれの知識は未だ限られている。とくに、病的振動様式と病的音声とのかかわりについては、われわれの知るところは極めて少ない。この関係の詳細が明らかになるならば、音響分析や聴覚心理的評価の臨床的意義も著しく増大するものと思われる。

6. 要 旨

現在わが国で行われている発声機能検査法のうち、音響分析による検査、空気力学的検査、聴覚心理的検査の三者

を選び、それらに関連する問題点を指摘した。

音響分析に関しては、喉頭疾患診断のための有用性が未だ確立されていないことを指摘した。しかし音響分析は、喉頭悪性腫瘍の screening の目的では有用であると述べた。

空気力学的検査に関しては、熱線流量計による呼気流量測定法に問題があることを示した。また市販の発声機能検査装置の示す値がメーカーによって大きく異なることを指摘し、共通の校正法を確立する必要があるとした。

聴覚心理的検査に関しては、嗄声の評価のために一般に用いられている尺度が、任意に選ばれたものにすぎないことを指摘した。また持続母音ばかりでなく、会話の際の発語なども検討の対象とすべきだと述べた。

文 献

- 1) Stedman TL : Stedman's Medical Dictionary. (23rd ed), Williams & Wilkins, Baltimore, 1976.
- 2) ドーランド医学大辞典編集委員会：ドーランド図説医学大辞典（日本語初版），広川書店，東京，1980.
- 3) 今泉敏也：サウンド・スペクトログラフによる病的音声の分析. 日本音響学会誌 36：9～16, 1980.
- 4) 比企静雄，今泉 敏：サウンドスペクトログラフィ. 声の検査法，（日本音声言語医学会編）133～164, 1979.
- 5) Lieberman P : Some Acoustic Measures of the Fundamental Periodicity of Normal and Pathologic Larynges. J Acoust Soc Am 35：344～353, 1963.
- 6) Hecker MHL & Kreul EJ : Description of the Speech of Patients with Cancer of the Vocal Folds, Part 1, Measures of Fundamental Frequency. J Acoust Soc Am 49：1275～1282, 1971.
- 7) Koike Y : Vowel Amplitude Modulations in Patients with Laryngeal Diseases. J Acoust Soc Am 45：839～844, 1969.
- 8) Kasuya H et al : Preliminary Experiments on Voice Screening. J of Phonetics 14：463～468, 1986.
- 9) Rothenberg M : Measurement of Airflow in Speech. J S H R 20：155～176, 1977.
- 10) Rothenberg M : A New Inverse-filtering Technique for Deriving the Glottal Air Flow Waveform during Voicing. J Acoust Soc Am 53：1632～1645, 1973.
- 11) Imaizumi S : Acoustic Measurement of Pathological Voice Qualities for Medical Purposes. Proceedings of IEEE-IECEJ-ASJ International Conference of Acoustic, Speech and Signal Processing, 677～680, 1986.
- 12) Hammarberg B : Acoustic and Perceptual Analysis of Dysphonia. Studies in Logopedics and Phoniatrics No. 1, Huddinge University Hospital, Stockholm, 1986.

別刷請求先 〒770 徳島市蔵本町3丁目18-15
徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室 小池靖夫