特 集

声門下圧直接測定法とその応用

小 池 靖 夫

A Method for Direct Determination of
Sub-glottal Pressure and Its Applications

Yasuo Koike

A newly developed method for direct measurement of sub-glottal pressure is described. The technique involves employment of a miniaturized solid-state pressure transducer which is inserted into the sub-glottal space via the glottis. The minute size and wide frequency response of this series of transducers provides a new approach to the study of the rapid air-pressure variations inside the vocal mechanism.

Advantages of this procedure are discussed in comparison with other methods of measuring the sub-glottal pressure, such as those that employ an esophageal balloon, a thin catheter through the glottis, or a tracheal puncture. Some qualitative data, including the sub-glottal pressure wave recorded simultaneously with the supra-glottal pressure wave, or with the high speed motion picture of the larynx, are presented and debated. Limitations of the technique are considered together with the technical modification of the equipment needed for speech research.

I. はじめに

声門下圧は、人間の発声に關与する生理的パラメータのうちでも特に重要なものの一つである。声帯振動の駆動力を供給するのは主として声門下圧であり、声門の上下に気圧差がなければ声帯の振動は起こらない。したがって、たとえば理論的モデルによる発声発語機構の検討に際して、このパラメータが重視されるのも当然であろう。言語学的な面でも、たとえば韻律的特徴の解析のために有用な手がかりとして利用されている。また音声医学的側面においても、たとえば喉頭形成術をうけた患者の発声の制禦が、ほとんど声門下圧だけを介して行われることが注目されている。

しかし声門下圧とその時間的变化を精密に測定することは、必ずしも容易な作業ではない。喉頭自体がすでに

かなり深部にある器官である上、それに加えて、発声中には声門が閉鎖されるから声門下腔はいっそう到達し難い空間となり、その中における圧変動を把握して外部に導き、記録するためには多くの工夫が必要となってくる。

そこで、食道内圧から間接的に声門下圧を推定しようとする試みが古くから行われてきた¹⁻⁵⁾。これらの間接法によっても、肺や気管の弾性など幾つかの条件を考慮に入れるならば、少なくとも韻律的特徴の研究に役立つ程度には声門下圧波形に近似した波形が得られるとされている。したがって研究の目的によっては間接法も有用であるし、間接法のほうがむしろ望ましい場合もありうる。しかし、音声の基本周期に対応する急速な圧変動の検討を行うようなときには、間接法は全く不向きであり、別の方策が必要となる。

一方、声門下圧を直接測定するための方法も、いろいろ提案されている。最も古くから行われているのは、気

管壁に注射針を刺入し、カテーテルで圧変換器に連結する方法である。注射針の内径が十分に太ければ、この方法でもかなりよい周波数特性が得られるが、出血や皮下気腫をおこす危険があり、皮膚に瘢痕を残すことも多いので、一般に推奨するにはためらいがある。van den Berg⁶⁾は、細いポリエチレンカテーテルを声門を通して声門下腔に挿入し、声門下圧波形の記録が可能であることを示した。これは、比較的低い周波数帯域の信号を得るためには、有用な方法の一つであろうと思われる。

近年、半導体工学と集積回路技術の進歩に伴い、声門下圧を声門下腔内において直接測定することが可能となった。1968年 Koike ら⁷⁾がはじめて超小型圧変換器を声門下腔に導入し、声門下圧変動の広帯域記録に成功して以来、圧変換器、測定技術の両者についていろいろな改善が行われ、声門下圧変動に関する知見が次第に増加しつつ今日に至っている。本稿では主としてこの超小型圧変換器による直接測定法につき概観し、2, 3の応用例を図示する。

II. 超小型圧変換器に関して

声門下圧の変動は、圧変換器を用いて電圧あるいは電流の変動に変換し、適当に増幅して記録するのが普通である。こうした目的に最も繁用されるのは電磁型の変換器であって、感度もよく、周波数特性もすぐれたものが多数作られている。しかし、生体内計測に用いるほどの小型化をはかるには技術的な困難があるため、生体内計測には他の原理のものが用いられているのが実情である。現在、超小型圧変換器として実用化されているもののうち、主要なものは電気抵抗型と、感圧トランジスタ型の2種類である。

電気抵抗型の変換器では、半導体の電気抵抗が、外圧によるひずみに応じて変化することを利用する。電気抵抗の変化は Wheatstone bridge によって電圧変動として取り出され、記録装置に導かれる。この型のものは現在多数市販されており、外径1mm程度のものが普通である(図1)。一般に丈夫なものが多く、反応周波数帯域幅もきわめて広いが、温度感受性があるため、温度の変化によって基線のずれを起こしやすいのが欠点である。したがって静圧を測定したいときには、他の方法によるべきであろう。また、出力が比較的小さいため、良質の増幅器が必要である。なお、最近市販されている国産の圧変換器の中には、かなり粗悪なものもあるから、変換器の選択には十分な注意が必要である。

感圧トランジスタ型の変換器も、温度感受性があることは電気抵抗型と同様であるが、出力の大きいことがこの型の特徴である。したがって、信号を増幅するために

図1 電気抵抗型変換器の1例
(DYNASCIENCES 1007)

図2 感圧トランジスタ型変換器の1例
(STOLAB PITRAN)

図3 声門下圧測定用変換器 (DYNASCIENCES 1015 C)
声門を通過する部分だけ、ケーブルを細くしてある。

高級な増幅器を用いる必要がない。感圧トランジスタ型の変換器はまだ音声言語領域の研究にはほとんど利用されていないが、今後応用される可能性が大きいと思われる。図2は小型化された感圧トランジスタの一例である。

III. 圧測定の手技に関して

著者らが現在使用している圧変換器は、電気抵抗型の DYNASCIENCES 1015 C であって、電源および Wheatstone bridge を内蔵した 同社製 BE-3 増幅器に連絡するが、出力が小さいため、そのままでは Data Recorder に入力することができず、もう一段高利得の増幅器を経由する必要がある。多くの場合著者らは、モニターもかねている HP 1201 A オシロスコープに出力を導き、CRT 面で波形を観察するかたわら、その垂直出力を Data Recorder に記録する方法をとっている。声門下圧と声門上圧とを同時記録するときは、同一特性の変換器ならびに増幅器各2個を用いる。

声門下圧測定用の変換器に接続したケーブルは、声門を通過する部分を特に細くしてあり(図3)、この部分が声門の後交連付近にあたるように導入する。後交連付近には、正常者でも発声時に間隙が残っている場合があるし、一般に粘膜に余裕があるので、ケーブルを挿入していても音声の変化がきわめて少ない。しかしケーブルが声帯膜様部にかかる、音声はかなりの嘎声になる。他の条件が許すときは被験者を仰臥させて記録すると、ケーブルが後交連に入って音質がよくなる場合が多い。しかし高速度映画と同時記録をするような場合には、被

験者の姿勢が固定されてしまうので、ある程度音質が悪いのを我慢しなければならぬことが多い。

変換器の導入に際して最も重要な点は麻酔である。一般に、かなり深い表面麻酔を施しておくのが望ましい。麻酔が終わったら、分泌物を十分喀出させ、変換器導入後には咳をしないように注意する。いったん導入してしまえば30分以上の実験が十分可能であり、追加麻酔は必要でない。声門下に到達する径路としては経口と経鼻の両者が可能であり、手技の難易度からいえば経口導入のほうが容易であるが、著者らは経鼻導入を原則としている。これは経鼻法のほうがケーブルの固定が容易であるし、構音運動に対する影響が少ないためである。

声門下圧と声門上圧を同時記録する場合には、2個の変換器の感圧面間の距離が一定になるよう、2本のケーブルを束ねて1本にしておく。声門からの距離は、ケーブルの細くなっている部分を目印にして読みとる。2つの変換器をあらかじめ同じ静圧ならびに種々な周波数の動圧で校正し、出力波形の極性および利得を確かめておくのは当然である。

IV. 実例と考按

先に述べたように、超小型圧変換器による圧測定法は、静圧よりも、動圧の測定に適しており、また測定できる周波数帯域幅が広いのが特徴であるから、たとえば基本周期に関連する圧変動のように、急速な圧変化を検討するのに最も有用である。声門下圧変動の諸相についての詳細な検討は本稿の目的でないので省略するが、一例をあげるならば、声門下腔における共鳴の問題が検討可能となったことは、本法のメリットとして強調すべきであろう。

図4 同一ピッチで、声の強さを变化させた場合の声門下圧波形の変化

上段が弱い声、中段が中等度、下段が強い声である。基本周期は、正の大きなピークによって明らかであるが、基本周期内に、声門下腔の共鳴に由来する小さいピークが2つ認められ、その位置は声の強さにかかわらずほぼ一定している。

図5 声門面積波形と声門下圧波形の位相関係
声門が開大を始めたときに声門下圧がピーク値をとる(小池靖夫・他: 音声言語医学, 19: 41-42, 1978による)。

図4は、同一のピッチで声の強さをいろいろ変えたときの声門下圧波形を示す。基本周期に一致して正の大きなピークがあるが、そのほかに、声門下腔の共鳴によって生ずるピークがあり、その位置は、声の強さが変わっても変化しないことがよく分かる。被験者は成人男子である。

声門下圧波形を、声門下の希望の部位で直接測定することが可能になれば、この信号と他の情報を同時記録することによって、発声の生理的機構を精密に検討する一つの方法が開けることはいうまでもない。したがって、いろいろな信号と声門下圧との同時記録が試みられるようになっていく。たとえば比企ら⁹⁾は声門下圧と気管前壁音を同時記録することによって気管前壁の伝達特性を計算しており、著者ら¹⁰⁾は喉頭高速度映画と同時記録することによって、声門の開閉運動と声門下圧波形との関係を検討している。図5は声門下圧波形と声門面積波形の位相関係を示したもので、声門が開大し始めたときに、声門下圧がピーク値に達することがわかる。この被験者は成人女子で、基本周波数が非常に高かったことと、1秒あたりのフィルムコマ数に対応する低域圧波効果のため、声門下の共鳴に基づく部分音のピークは著明に出ていない。

図6は声門上圧と声門下圧の同時記録の例であるが、声門上圧波形は基本周期に対応して負の著明なピークを持ち、その位置が声門下圧の正の dominant peak にほぼ一致することがわかる。被験者は成人男子である。なお、声門上圧波形は母音の種類によっていろいろ変化するが、dominant peak に関してはこの関係が保たれるとみてよいようである。

V. おわりに

以上の例からも、超小型圧変換器による声門下圧測定法が有用な情報をもたらしうることは明らかであろう。ことに、発声あるいは発語に関係する他のパラメータと

図6 声門下圧変動波形と、声門上圧変動波形の同時記録例

声門上圧にみられる負の dominant peak の位置が、声門下圧の正の dominant peak の位置によく一致している。被験者は成人男子、母音ウ。

組み合わせることによって、発声・発語の生理機構を解明する有効手段の一つとなりうる点が重要といえよう。本法によると被験者に外傷を与えず、声門下腔の生理的構造を破壊することなしに声門下圧変動の広帯域直接記録が可能であるが、静圧ないしきわめて低い周波数帯域の情報を得るためには、他の方法を利用すべきだと思われる。このような限界を十分認識して使用するならば、本法の利用価値は大きく、まだまだ多くの知見が本法によって得られることになるだろう。

文 献

- 1) M. Draper, P. Ladefoged, and D. Whitteridge : Expiratory Pressures and Air Flow during Speech, Br. Med. J., 1: 1837-1843, 1960.
- 2) L. Kunze : Evaluation of Methods of Estimating Sub-Glottal Air Pressure, J. Speech Hear. Res., 7: 151-164, 1964.
- 3) P. Ladefoged : The Regulation of Sub-Glottal Pressure, Folia Phoniatri., 12: 169-175, 1960.
- 4) P. Lieberman : Direct Comparison of Subglottal and Esophageal Pressure during Speech : J. Acoust. Soc. Am., 43: 1157-1164, 1968.
- 5) R. McGlone : Intraesophageal Pressure during Syllable Repetition, J. Acoust. Soc. Am., 42: 1208(A), 1968.
- 6) Jw. van den Berg : Direct and Indirect Determination of Mean [Subglottic Pressure, Folia Phoniatri., 8: 1-24, 1956.
- 7) Y. Koike and W. Perkins : Application of a Miniaturized Pressure Transducer for Experimental Speech Research, Folia Phoniatri., 20:

360-368, 1968.

- 8) W. Perkins and Y. Koike : Patterns of Subglottal Pressure Variations During Phonation, *Folia Phoniatr.*, 21 : 1-8, 1969.

- 9) 比企静雄・他 : 声門下側圧の変動特性と気管前壁

の伝達特性, 日本音響学会講演論文集 (昭47) : 41-42, 1972.

- 10) Y. Koike and M. Hirano : Glottal-area Time Function and Subglottal Pressure Variation, *J. Acoust. Soc. Am.*, 54 : 1618-1627, 1973.