「鳴管型人工喉頭」の開発と臨床応用

宮本 健作*, 松永 亨**

Development of the “Syrinx-Type Artificial Larynx” and Its Clinical Application

Kensaku Miyamoto, D.M. Sc.* and Toru Matunaga, M.D.**

*Department of Behavioral Engineering, Faculty of Human Sciences, Osaka University, and

**Department of Otorhinolaryngology, Medical School, Osaka University, Osaka

The mynah birds, having no teeth or lips, possess the excellent ability to imitate almost any kind of sound and human speech that they hear. We began to think of apply the well-structured mynah's vocal organ to laryngectomees and developed the pneumatic “Syrinx-type artificial larynx.” By using the new apparatus, the degree of clearness of speech sounds was increased as compared with those of the conventional artificial larynx.

Key words : artificial larynx, syrinx-type, soundspectrogram

I. はじめに

一般に、喉頭癌、下咽頭癌、頭頸部癌および頸部食道癌などの治療のために、喉頭全摘出術を受けた人々（喉摘者）が音声コミュニケーションを回復するための代用音声には、大別して呼気式人工喉頭、食道発声および電動式人工喉頭による3つの発声法がある¹⁾。

これらの方法にはそれぞれ一長一短を伴い、優劣はつけ難い。しかしながら、なかでも呼気式人工喉頭による発声法は、高齢の喉摘者でも比較的容易に習得できるばかりでなく、内言語を術前の健常時と同様に、自らの肺呼気と構音動作によってことばにすることができ点ですぐれている。

かねてより著者らは、九官鳥の卓越した音声

模倣行動に着目し、とくに音声の特徴抽出能力とヒトのことばに類似した構音能力に学問的な魅力と興味を抱いてきた。それゆえ、九官鳥はヒトの聴覚障害ならびに発声・発語障害に関する実験的研究にとって最適の動物モデルと考え、基礎研究を進めてきた²⁾³⁾。その過程において、ヒトの喉頭に相当する九官鳥の「鳴管」(syrinx)に学んだ仕組みを喉摘者の代用声帯に応用できるのではないかという発想から、新型の人工喉頭を開発し⁴⁾⁵⁾、さまざまな検討と改良を加えてきた⁶⁾。

今回、従来型器具による話しことばの音質を改善し、明瞭度を高めることを意図して試作した呼気式『鳴管型人工喉頭』を用いて、臨床構音テストを試みた。本稿では、新型人工喉頭の主な特性とその話しことばの特徴について述べる。

II. 方 法

男子喉摘者（62～73歳）10名を対象に、防音室内でそれぞれ従来型人工喉頭と新型人工喉頭

*大阪大学人間科学部行動工学教室,**大阪大学医学部耳鼻咽喉科学教室

別刷請求：〒565 大阪府吹田市山田丘1-2 大阪大学人間科学部行動工学教室 宮本健作

投稿受付：1988年2月9日

を用いて、日本語5母音、一般挨拶語、日常会話などを発声させた。通常、最初に喉摘者が日頃使い慣れている自分の従来器具を使用し、次いで新型器具を用いて何ら練習を行わない条件で、先の場合と同じことばの発声テストを施行した。

喉摘者の音声を一旦、カセットコーダー（ソニー製、TC-D5）に収録し、後に再生してデジタルソナグラフ（KAY Elemetrics Corp. 製、モデル7800）を用いて分析し、主としてサウンドスペクトログラムならびに原波形をプリンター（KAY Elemetrics Corp. 製、モデル7900）により記録した。一方、ヒジピッチ（KAY Elemetrics Corp. 製、G095）を用いて、音声のピッチならびに強さを測定し、その結果をプリンター（エプソン製、RF-80 II）により記録した。

さらに、喉摘者音声の分析結果を健常者のそれと比較し、新型器具を使用することによって話しことばの音声がどのように改善されたかを中心に検討した。

III. 結 果

1. 「鳴管型人工喉頭」の特性

本器具の大きな特性は音源部の構造と振動弁の素材にある。図1は音源部の概要を示している。その主部は外径約10 mm、長さ約32 mm のテフロン製パイプで、その一端に約20～30度の傾斜角度をつけ、この斜断面に音源となる杓子型の振動弁の柄部をパイプに設けた間隙に挿入し、その上部を締用リングで固定した（図1-B）。従来型の器具では、図1-Aに示すように、音源のゴム膜が呼気の流れる方向に対して直角に位置し、ヒトの声帯と同じように呼気を遮る形で張られているのに対し、新型器具では図1-Bに明らかなように、振動弁を呼気の流れに沿うような位置に設置した。さらに、新器具の振動弁は従来器具のゴム膜と異なり、新素材としてステンレス箔（厚さ50ミクロン）、焼青銅箔（厚さ50ミクロン）およびチタン箔（厚さ50ミクロン）を使用した。これら3種の振動弁の疲労強度は簡便式折り曲げテスト（金属箔が切断するまでの回数を求める）の結果、それぞれ平均708回、460回、152回の順で、新型器具の開発当初

A

B

図1 音源部の比較

A：ゴム膜の振動体を用いた従来型人工喉頭。B：金属箔の振動弁を用いた新型人工喉頭。矢印は呼気の流れる方向を示す。

に採用したアルミ箔（20回）に比べてきわめて耐久性にすぐれていた。また、振動弁の浸水テストの結果、連続100日を経過した後もまったく変化はなく、耐蝕性の点でもすぐれていた。

2. 代用声帯原音

図2は従来型器具（A）と新型器具（B）の代用声帯原音のサウンドスペクトログラムを示している。ここでいう代用声帯原音とは、健常者の喉頭原音（声帯原音）に相当するもので、喉摘者が通常の呼気によって生じる人工喉頭の音声、つまりことばに構音する前の音をいう。図2に明らかなように、原音に含まれた周波数成分は振動弁の素材と設置角度により若干の違いはあるが、従来式（A）では1500ないし2500 Hz までの比較的狭い低周波数帯域に限られていたのに対し、新型器具（B）の場合、6500ないし7000 Hz までの広帯域にわたっていた。一方、原音のピッチは従来器具で平均85～130 Hz であったのに対し、新型器具では平均110～200 Hz で、健常者の男声に近づいた。

3. 日本語5母音の原波形

健常者と喉摘者が、5つの母音をそれぞれ単独に発声したときの音声原波形の一例を図3に示した。いずれの母音についても従来型器具の波形（B）は健常者のそれ（A）に比べて異な

図2 代用声帯原音のサウンドスペクトログラム

A: 従来型人工喉頭。B: 新型人工喉頭, 1~5: A・Bそれぞれ任意に選んだ5種類の器具を示す (B 1・2: 焼青銅箔, B 3・4: ステンレス箔, B 5: チタン箔の振動弁内蔵)。縦軸: 周波数 (kHz), 横軸 (時間)。

図3 日本語5母音の原波形

A: 健常者。B: 喉摘者(自分の従来型人工喉頭を使用)。C: Bと同じ喉摘者 (新型人工喉頭を使用)。

るが, 同じ喉摘者が新型器具を使用して5母音を発声すると (C), 健常者の波形 (A) に近似し, とくに /a/, /i/, /u/ の波形が改善された。他の被験者においても, 同様の傾向が認められた。また, 5母音のピッチをみると, 従来型器具 (図3-B) の場合は平均128.5 Hz, 新型 (図3-C) では151.5 Hzであった。

4. 話しことばの特徴

ここでは, 日常会話や一般挨拶語などのうち, 従来より人工喉頭による構音が難しく, 最も明瞭度が低いといわれてきた母音 /i/ に注目しながら, 「鳴管型人工喉頭」を用いたことばの特徴について述べる。図4は「オハヨウ」の音声スペクトログラムを示している。「オハヨウ」(o

図4 「オハヨウ」の原波形(上図)とサウンドスペクトログラム(下図)
A: 健常者の音声。B: 喉摘者の音声(自分の従来型人工喉頭を使用)。C: Bと同じ喉摘者の音声(新型人工喉頭を使用)。人工喉頭(B, C)の原波形には無声摩擦音[h]はない(▼印)。矢印は母音/i/の第2ホルマント(F2)を示す。縦軸: 周波数(kHz), 横軸: 時間。▲印は3母音と子音/h/の出現時点を示す。

図5 「コンニチワ」のサウンドスペクトログラム
A: 健常者の音声。B: 喉摘者の音声(自分の従来型器具を使用)。C: Bと同じ喉摘者の音声(新型器具を使用), 下の矢印は母音/i/の第1ホルマント(F1), 上の矢印は第2ホルマント(F2)を示している。縦軸: 周波数(kHz), 横軸: 時間。▲印は母音の出現時点を示す。

ha jo)には3つの母音(/o/, /a/, /i/)が含まれているが, 図4に明らかなように, 従来器具(B)の音声では第2ホルマント(F2: 矢印で示した)が健常者音声(A)のF2(矢印で示した)に比べてきわめて弱く, ほとんど欠けていた。次に, 同じ被験者が新型器具を使用して「オハヨウ」を発声した場合(C)には, 母音/i/のF2が著しく改善され, 健常者の音声(A)と同様にF2成分がきわめて明瞭に認められた。

さらに, 母音/i/を含む別の例を図5に示した。喉摘者が従来型人工喉頭を用いて「コンニチワ」(Konni-chi-wa)を構音した場合(図5-B), [ni]に含まれた母音/i/のF1およびF2はいずれも不明瞭で, しかもF2周波数が健常者のそれ(図5-A)より低かった。このため, F1(600 Hz)とF2(1500 Hz)の周波数帯域が互いに接近し, 健常者の音声(図5-A)における2つのホルマントの相対的位置関係と比較して著しく相違した。一方, 「コンニチワ」の[chi]に含まれている母音/i/は先の母音の場合と同様に, 喉摘者が従来器具を用いたときの音声(図5-B)のF1(下の矢印で示す)ならびに

F2 (上の矢印で示す) はともに不明瞭で、とくに F1 成分はほとんど見られなかった。

そこで、図 5-B と同じ喉摘者が新型人工喉頭を使って「コンニチワ」を発声すると、図 5-C に明らかなように、2 つの母音 / i / のホルマントはいずれも健常者のそれ (図 5-A) と同等、もしくはそれ以上に明瞭に認められた。同時に、F2 の周波数帯域が約 1500 Hz (B) から約 2000 Hz (C) に上昇し、F1 と F2 の周波数帯域の相対的位置関係が健常者の音声 (図 5-A) に近似した。[ch] 成分 (無声破擦音 tʃ) も正確に構音されていることがわかる。

なお、「鳴管型人工喉頭」の話しことばを喉摘者に聴かせてことばの明瞭度に関する評価を求めた結果、燐青銅箔の代用声帯による音声 (図 4-C, 図 5-C) が最も高い成績を得た。

IV. 考 察

一般に、呼吸式人工喉頭によることばの明瞭度は、当然のことながら、喉摘者の従来型器具の使い方ならびに構音技術の習熟度によって個人差が著しかった。したがって、習熟度が高ければ高いほど、新型人工喉頭を使用したことばの明瞭度は高く、構音の改善率も良好であった。たとえ、未熟であっても新型喉頭を用いることによって話しことばの音声改善される傾向が認められた。

しかしながら、喉摘者が原音を口腔へ導入して話す場合、口中パイプの先端が口蓋垂の前方に位置するため、子音の [h] 成分 (無声摩擦音) のような声門音は構音できなかった (図 4-B, C : 原波形の▼印)。また、有声破裂音 [g] (軟口蓋音) の構音も難しかった。さらに、無声破裂音 [p] (両唇音) や有声通鼻音 [m] (両唇音) などは人工喉頭による構音技術の習熟度によって個人差が大きかった。

すでに述べたように、「鳴管型人工喉頭」の音声は従来型人工喉頭による音声に比べて、音声スペクトログラムならびに原波形の成績からみて著しく改善され、健常者の音声に近づいた (図 4-C, 図 5-C)。その主な理由として、(1)「鳴管型人工喉頭」の代用声帯原音には、健常者の喉頭原音にほぼ近似した幅広い周波数成分が含まれていたこと、(2)喉摘者が口唇、口腔、舌お

よび上咽頭の一部などを用いて、健常時とほぼ同様の要領で構音動作を行うことによって、従来型器具には含まれていなかった高周波数成分が効果的に共鳴され強められて、母音 / i / の認知に最も重要不可欠とされている F2 が明確に形成されたことの 2 点が考えられる。

一方、従来型器具の場合、その原音に含まれる周波数成分は比較的低帯域に限局され (図 2-A), 1.2 ないし 1.5 kHz 以上の成分が欠けていることが多かった。このため、喉摘者が術前に獲得した構音運動を行っているにもかかわらず、共鳴特性が十分活用されず、母音 / i / の F2 がほとんど認められなかった (図 4-B, 図 5-B) ことが話しことばの明瞭度を低下させる一因ではないかと推測される。

V. ま と め

「鳴管型人工喉頭」を用いることによって音声のピッチが上昇し、話しことばが明瞭になった。その結果、話者自身が従来型人工喉頭による低音の話し声を聴いたときに抱いた違和感が少なくなった。あわせて聞き手の問い直しが減少したため、話者が心理的に落ち着きを感じるようになった。将来、本新型器具が喉摘者にとって『話すことの喜び』あるいは『語ることの楽しみ』を再び取り戻すための手掛かりになることを念じて、今後実用化に向けて努力したい。

稿を終るに臨み、臨床構音テストにご協力下さった阪喉会理事長楠清曠氏をはじめ、会員諸氏に深謝いたします。

本研究は昭和 61 年度科学研究費補助金 (試験研究 2, 研究課題番号: 60870060, 研究協力者: 大阪大学人間科学部行動工学教室山田恒夫・宇野宏幸) の交付を受けた。

なお、本研究に用いたテスト器具の音源部の試作に当たり、永島医科器械㈱のご協力を得た。

本論文の要旨は第 39 回日本気管食道科学会学術講演会 (昭和 62 年 10 月 22・23 日, 東京・中央区立中央会館) において発表した。

文 献

- 1) 佐藤武男: 喉頭癌—その基礎と臨床—, 金原出版, 東京, 1986.
- 2) 宮本健作: 九官鳥の音声物まね—ヒトと鳥—, 自然, 445, 2 月号: 48-55, 1983.
- 3) 宮本健作・他: 九官鳥の音声模倣学習—鳴管の特徴と脳の可塑性—, 第 10 回脳研究会シンポジ

ウム「学習の周辺」, 脳研究会会誌, 10: 227-238, 1984.

- 4) 宮本健作: 九官鳥の音声模倣行動—ヒトの聴覚—発声系を考える—, 耳鼻, 31: 887-916, 1985.
- 5) 宮本健作・他: “新型人工喉頭”を用いた音声の特徴—臨床構音テストの試み—. 昭和61年度科

学研究費補助金 (試験研究2) 研究成果報告書 (研究課題番号: 60870060), 32-44, 1987.

- 6) 宮本健作, 松永 亨: 「鳴管型人工喉頭」による話しことばの特徴と心理的效果—実用化へのアプローチ—. 第89回日本耳鼻咽喉科学会第89回総会, 予稿集, 245, 1988.