食道音声の客観的評価法

—母音の音質を対象として—

大森 孝一・庄司 和彦・藤田 修治*
福島 英行・児嶋 久剛

Objective Evaluation of Esophageal Voice Quality

Koichi Omori, Kazuhiko Shoji,
Hideyuki Fukushima and Hisayoshi Kojima
(Kyoto University)

Shuji Fujita
(Osaka Red Cross Hospital)

A method of objectively evaluating the voice quality of esophageal speech is described in this paper. We used the vowel /a/ of 27 esophageal speakers as a voice sample.

As judged from perceptual impressions, the voice samples were ranked by the paired comparison method. Acoustic parameters such as maximum phonation time, fluctuation of intensity and periodicity of vibration were examined. We compared the perceptual ranking and those three parameters by non-parametric statistical methods. There was a significant correlation between the last two parameters and the perceptual ranking. Low fluctuation (less than 10 dB in 500 msec from the voice onset) and periodic vibration were assumed to be a standard for the good voice quality of esophageal speech.

Key words: esophageal voice, objective evaluation, fluctuation of intensity, periodic vibration

はじめに

食道発声の目標は会話によるコミュニケーションであるが、その習得は容易ではなく十分な会話能力が得られない症例がみられる。その理由としては、(1)声が続かない、(2)声が小さい、(3)声質が悪いなどがあり、これらの要因の客観的評価法として、従来(1)には最大発声持続時間が、(2)には音圧が用いられてきた。しかし(3)の

声の質については食道音声の音質が一般に極めて悪いため、従来の音声評価法では不十分であった。

そこで著者らは、音声の基本である母音のうち/a/を用い、聴覚印象と音声学的指標との関係から食道音声の客観的評価基準となる指標を見いだそうとした。

対 象

食道発声者27例(男性25例, 女性2例)の音声サンプルを調べた。年齢は45~79歳, 喉摘後の期間は5カ月~18年5カ月であった。

方 法

母音 /a/ を無関位発声させて DAT に録音し, これをローパスフィルター, AD 変換器を通してコンピュータに取り込み, 以下のような分析を行なった(図1)。

1) 聴覚印象の順位付け

2つの母音 /a/ を比較し, 音質の優れた方に+1点, 劣る方に-1点, 同程度の場合には両者0点とし, これを全ての組合せ351通りについてランダムに調べ, 各症例ごとの得点を集計した。聴覚判定は耳鼻科医3名, Speech Therapist 2名の計5名で行い, 得点合計の高い順に聴覚印象の良い順とした。この際発声持続時間が聴覚印象に影響しないように起声部より500 msec を切取った音声を用いた。詳細は既報¹⁾のとおりである。

図1 ブロックダイアグラム

$$P(\text{実効音圧}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A_k^2}$$

A_k : 振幅

$N = 500$ (50 msec)

$$F(t)(\text{音圧変動}) = 20 \log \frac{P_t}{P_1} \text{ (dB)}$$

P_t : t 時の実効音圧

P_1 : 起声時の実効音圧

図2 音圧変動

音圧の経時的变化を示す。

起声時から 500 msec までの音圧の最大値と最小値の差を変動幅とした。本症例の音圧変動幅は 9.8 dB である。

2) 音声学の指標

④最大発声持続時間

食道発声では発声持続時間が極めて短く、ストップウォッチによる手動計測では誤差が大きいので、ディスプレイ上に表示した音声波形の始点から終点までの時間を測定した。

⑤音圧変動

起声時の実効音圧を基準値とした音圧レベルの経時的变化を音圧変動として表した。今回は起声時より 500 msec までの音圧の最大値と最小値の差、すなわち変動幅を音圧変動の指標とした(図 2)。

⑥振動の周期性

音声波形を高速フーリエ変換(2048ポイント、Hanning 窓)で周波数分析し、調和成分が明確に認められた例を周期性有り(図 3 A)、雑音成分が多く調和成分が不明確な例を周期性無しとした(図 3 B)。

図 3 周波数分析

- A : 調和成分が明確に認められる。
(60歳, 喉摘後 7 年 6 カ月経過)
- B : 雑音成分が多く調和成分が不明確である。
(74歳, 喉摘後10年 2 カ月経過)

3) 聴覚印象と音声学の指標の相関関係

聴覚印象順位は離散量であるからノンパラメトリックな統計学的手法が妥当と考え、聴覚印象と最大発声持続時間、及び聴覚印象と音圧変動幅との相関は Spearman の順位相関関数を、聴覚印象と振動の周期性の有無との相関は Wilcoxon T 検定を用いて調べた。

結 果

1) 聴覚印象順位

聴覚印象判定の総合得点は +97 点から -112 点に分布し、同順位が 3 組あった(表 1)。

2) 音声学の指標

④最大発声持続時間 : 428 msec ~ 2507 msec に分布し、平均 1167 msec であった。

表 1 聴覚印象順位と音声学の指標

聴 覚 印 象 (位)	MPT (msec)	音圧変動幅 (dB)	周期的振動
1	2507	6.3	+
2	852	7.6	+
3	1126	9.8	+
4	751	3	+
4	1560	7.4	+
6	1117	6.5	+
7	989	6.1	+
8	789	6	+
9	482	21.9	-
10	1028	11.1	+
10	1538	7.7	+
12	1213	9.2	+
13	2087	5.7	+
14	1468	9.1	+
15	584	8.6	-
16	2058	12.6	+
17	439	29	-
18	2356	8.2	+
19	1072	18.7	+
20	1042	15.4	+
21	689	12.8	-
22	1264	5.4	+
23	992	13.4	-
24	755	9.5	-
24	968	7.2	-
26	1397	9.3	-
27	428	19.7	-

①音圧変動幅: 3 dB~29 dB に分布し, 平均 10.6 dB であった.

③振動の周期性: 周期的振動を認めた例が18例, 認めなかった例が9例であった.

以上を表1に示す.

3) 聴覚印象と各音声学的指標の相関関係

聴覚印象順位と最大発声持続時間との関係は Spearman の順位相関関数 $rs=0.198$ (片側5%での臨界値 0.323) で相関関係を認めなかった.

聴覚印象順位と音圧変動幅では, Spearman の順位相関関数 $rs=0.428$ で相関関係が認められ (危険率5%), 変動幅が小さいほど聴覚印象が良好であった. さらに音圧変動幅の度数分布を見ると 10 dB 以内に全症例の2/3 (18例) が含まれたので (図4), 10 dBで分けて, 聴覚印象との関係をみたところ, 音圧変動幅が 10 dB 以内の群が 10 dB を越える群に比べて有意に聴覚印象が良好であった (Wilcoxon T 検定危険率5%).

聴覚印象順位と振動の周期性の有無では Wilcoxon T 検定で両群間に有意差がみられ (危険率1%), 周期性の有る群が聴覚印象良好であった.

考 按

食道発声で会話可能になるまでの期間について, 佐藤²⁾ は6カ月程度としており, 約6カ月~1年の練習で日常会話ができれば, 他の

発声法に切り替えるのが妥当と考えられている²⁾³⁾. 食道発声の会話能力の評価法は, 会話の流暢性や他人との意志疎通の程度を見る主観的方法があり⁴⁾⁵⁾, 一方, 佐藤²⁾ は, 発声持続時間, 食道発声係数 (空気摂取時間/発声時間), 最強音音圧, ピッチの変化, 1回空気摂取による発語音節数, 文章の明瞭度, 雑音の程度などの測定値をこの指標としており, Williams ら⁶⁾ も音質, 基本周波数, 音圧, 話す速さ, わかりやすさ, 会話中の外観, 雑音, 意志疎通の程度などを客観的なデータとして取り上げている. また, Schutte ら⁷⁾ は1回空気摂取による発語音節数, 最大発声持続時間, 音圧の dynamic range, 最大音圧について, 食道発声の評価基準を作成している.

前述のように食道発声の良不良を決定する因子は, (1)声の持続性, (2)声の大きさ, (3)音質に整理でき, (1)は駆動部 (摂取した空気), (2)は駆動部 (摂取した空気) 及び振動部 (下咽頭・食道粘膜), (3)は振動部 (下咽頭・食道粘膜) が主に関与していると考えられる. (3)の評価に関しては, 著者らは一対比較法を用いた食道音声の客観的聴覚判定法により, 音質と他のパラメーターとの相関関係を調べたが¹⁾, 本稿では母音 /a/ の聴覚印象と音声学的指標との相関関係を調べ, 食道音声の客観的評価基準となるものを検討した.

その結果, 聴覚印象と最大発声持続時間との

図4 音圧変動幅の度数分布

間には相関がみられず、食道内への空気摂取量が多く発声持続時間の長い例が必ずしも良好な音声には聞こえないことがわかった。音圧の経時的变化については、変動幅が小さいほど聴覚印象は良好であり、送気量が定常的で安定した粘膜振動が得られるほど良好な音声に聞こえると考えられた。さらに音圧変動幅 10 dB 以内の群が 10 dB を越える群に比べて有意に聴覚印象良好であったことから、音質の評価基準を 10 dB 以内の変動幅に設定することが妥当と考えられた。また、当然のことながら周期的振動を示す群が聴覚印象良好であり、下咽頭・食道粘膜の規則的振動がみられる例の音声が良い聞こえるものと考えられた。以上のことから食道音声の単母音に関して臨床的に基準を引くならば、音圧変動幅が 10 dB 以内、振動の周期性がある例の音質が良好といえる。

食道音声の母音の評価については、Imaizumi ら⁸⁾ が各代用音声の母音の音質を比較し聴取者の聴覚心理的尺度を分析しており、また、食道音声の基本周波数およびそのゆらぎ、音圧、発声持続時間など音声学的指標を調べた報告はみられるが^{7,9)}、今回の結果から音圧の経時の変化と振動の周期性に関する因子が聴覚印象と相関したことから、これらの因子も食道音声の客観的評価の一指標となると考えられた。本評価法は特に、粘膜振動の状態を把握することができる点で有用であると考えられた。

まとめ

食道発声者27名の母音 /a/ の音質と音声学的指標の関係を分析し以下の結果を得た。

1. 音質と最大発声持続時間とは無関係であった。
2. 音質と音圧変動、及び振動の周期性とは相関し、音圧変動幅は 10 dB 以内、振動の周期性が有る例が音質良好であった。
3. これらの基準は食道発声の振動状態の把握に有用で、食道音声の客観的評価の一指標になると考えられた。

稿を終えるにあたり、御校閲頂きました京都大学医学部耳鼻咽喉科学教室本庄 巖教授に深謝致します。

本論文の要旨は第33回音声言語医学会で口演した。

参考文献

- 1) 大森孝一, 庄司和彦, 福島英行, 他: 食道音声の聴覚判定法—母音の音質を対象として—. 耳鼻臨床 82: 967~970, 1989.
- 2) 佐藤武男: 喉頭癌—その基礎と臨床—. 金原出版, 東京, 1986.
- 3) 大森孝一, 庄司和彦, 本庄 巖: 喉頭全摘後の音声リハビリテーション. 耳鼻臨床 82: 99~102, 1989.
- 4) 高藤次夫: 食道発声の訓練法. 耳喉 38: 189~195, 1966.
- 5) 小宮山莊太郎, 広戸幾一郎, 武馬成人, 他: 無喉頭者の発声方法の適示に関する研究. 耳鼻 20: 113~121, 1974.
- 6) Williams SE and Watson JB: Speaking proficiency variations according to method of alaryngeal voicing. Laryngoscope 97: 737~739, 1987.
- 7) Schutte HK, Bors EFM, Boer GHA, et al: Evaluation of speech with and without a "Groningen Type" voice button. Speech Restoration Via Voice Prostheses (ed by Herrmann IF). pp 135~138, Springer-Verlag, Berlin, Heiderberg, 1986.
- 8) Imaizumi S, Boku S, Koike Y, et al: Evaluation of alaryngeal voice quality by nonparametric procedures. Auris-Nasus-Larynx (Tokyo) 10: 49~60, 1983.
- 9) Robbins J, Fisher HB, Blom EC, et al: A comparative acoustic study of normal esophageal and tracheoesophageal speech production. J Speech Hear Disord 49: 202~210, 1984.

(原稿受付: 平成 2 年 2 月 1 日
原稿採択: 平成 2 年 2 月 9 日
別刷請求先: 大森孝一
〒606 京都市左京区聖護院川原町54
京都大学医学部耳鼻咽喉科学教室)