

食道発声法訓練用デバイスに関する研究 －筋電位信号の有効性に関する考察－

大恵 克俊

機械システム工学科 〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1丁目10番2号

k-oe@daiichi-koudai.ac.jp

Proposal of esophageal speech method training device - Consideration about effectiveness of myoelectric signal -

Katsutoshi OE

Department of Mechanical Systems Engineering, 899-4395 1-10-2 Kokubu-chuou, Kirishima, Kagoshima

k-oe@daiichi-koudai.ac.jp

Abstract: The patients who undergo the laryngectomy lose their voice. For these patients some speaking method are developed and used. One of them is the esophageal speech, this method uses the air from esophagus to generate the primary tone. This method has good characteristics at voice quality and convenience. But learning of this method is difficult, the acquisition rate of a simple conversation is about 60-70%, and the training term is more than 6 months. One of the reasons is the scientific training method is not established. In this research, we aim to establish the training method of esophageal speech with bio monitoring. The esophageal speech method use some muscles for taking in air to the esophagus. Therefore, it is important that the clarification of "what muscle" is activated in esophageal speech. And "when" the muscle activates is important, too. In this report, we took a survey to esophageal speech users, for clarification of "what muscle" is activated in esophageal speech. From the result, it was clarified that the muscles of mouth and abdominal were tensing up, we guessed the tongue and diaphragm were activated in esophageal speech. Based on these results, the myoelectric signal of the lower jaw and the lowest intercostal were measured, at the same time, the voice was measured, too. From the result of measurement, it was clarified that the sequence of each muscle activation and voice generation was same.

Keywords: esophageal speech method, myoelectric signal, training device, diaphragm, tongue

1. はじめに

現在、喉頭傷害や喉頭ガン等の理由により声帯を失った患者が日本国内で 30,000 人、世界では 700,000 人ほど存在すると言われており⁽¹⁾、声帯を失った患者は声を発することが不可能となる。このような発声に障害を持つ者が再び声を出せるようになるための代用発声法の一つに「食道発声法」がある。

食道発声法とは、口や鼻から食道内に空気を取り込み、その空気を逆流させて食道入口部の粘膜のヒダを仮声門として用い、声帯の代わりに振動させて音声を発生する方法である。これはゲップ時に声が出ることを利用しており、人為的にゲッ

プを出させることで、これを音声として活用する発声法である⁽²⁾。本手法と他の代用発声法との最も大きな違いは器具を使用しないという点であり、器具のメンテナンスや交換等が不要でさらにハンズフリーで発声することができる。さらに自分自身の肉体を使用するため、比較的自然な発声が可能である。しかし習得するまで約半年かかり、習得率も 3-6 割程度と低い。これは発声法のコツを得るのが難しいことや、間違った練習により誤発声を習得してしまうことが原因である。そこでその解決策として、食道発声の練習を支援できる装置が必要であると考え、手軽に筋肉の動きを捉える方法である筋電信号に着目し、これを利

用した支援デバイスを提案する。

本報告では、食道発声法使用者へ行ったアンケート結果より食道発声時に使用する身体の部位（筋肉）を推測、それを基にそれぞれの箇所の筋電位信号を測定して発声時の筋肉の動きについて調査および考察を行った結果について述べる。

2. 食道発声法使用者へのアンケート

食道発声法訓練デバイスに用いる筋電位信号の測定箇所を決定するため、食道発声時に使用する筋肉を同定する必要がある。そのために、食道発声法使用者にアンケートを実施し、発声する際に力を入れている箇所を調べた。アンケート回答者は50-80代の男性11名であり、アンケートの設問は「発声するときに意識して力を入れている場所がありますか?」とした。また食道発声法の習熟度との相関を調べるため、一回で発声可能な音数に関しても同時に調査し、それらの結果を図1に示す。

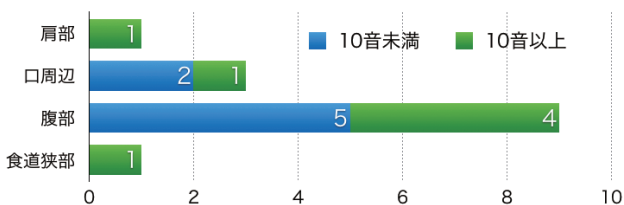


図1 発声時に意識して力を入れている箇所についてのアンケート結果

図1から11人中9人が腹部と回答しており、口と回答したのは3人であった。これらの傾向は一度に10音以上発声できる熟練者、それ以外の初級者を問わず見られた。他にも肩や食道狭部とした回答が各1人（いずれも熟練者）存在した。この結果から、食道発声時に行われる腹式呼吸や舌の動きにより空気を食道内に取り込むという動作と一致しており、妥当な結果であると考えられる。そこでこれらの筋の筋電位信号を検出し、それらの時間的な相関関係を調べることで、発声時に使用する筋肉の動作順序が明らかになると考えた。

3. 食道発声と筋電位信号との関係

腹式呼吸では吸気の際に横隔膜が収縮し下降することで胸郭が広がり、呼気の際に弛緩して上昇することで胸郭が狭まる。そこで腹部は横隔膜の筋電位信号を測定し、その運動を特定する。測定箇所として、過去研究より胸骨下端にある剣状突起（以下、胸骨下端と記述）⁽³⁾、と右鎖骨中央線上の最下肋間（以下、最下肋間と記述）⁽⁴⁾の2箇所を候補とした。

舌の筋電位信号を検出する筋として、喉頭適出手術時に温存することができ、肩甲骨と舌骨を結びつけている肩甲舌骨筋と、下顎で最も浅層に位置し、舌骨上筋軍の中で表面積が最大である顎舌骨筋に着目した⁽⁵⁾。これらはいずれも舌骨に付着し、舌の動きに連動する。

3.1 目的

横隔膜および舌の動きの測定に適した筋を決定するために、上述の4箇所の筋電位信号を測定しそれらの実効値により比較を行う。

3.2 測定方法

食道発声法を20年以上日常的に使用し、一回の発声で10音以上を発声することのできる熟練者の60代男性1名を被験者とした。筋電位信号の測定にはアンプ一体型双極電極（Biometrics Ltd.製SX230）を使用する。本電極はアンプを内蔵し、測定後直ちに信号を1000倍に増幅するためノイズの影響が小さい。その信号を信号集積モジュール（日本ナショナルインスツルメンツ株式会社製NI9234）を介してPCにサンプリング周波数1kHzで取り込み、LabVIEW2012を用いてフィルタ処理およびRMS値計算を行った。横隔膜の筋電位信号測定では200Hzのハイパスフィルタを、顎舌骨筋と肩甲舌骨筋の筋電位測定では5~500Hzのバンドパスフィルタを使用した。接地電極は左手首に装着した。

被験者に「あ」と発声させた際の音声と筋電位信号を同時に計測し、その時間的な変化を求めた。筋電位信号の検出部位は以下の2通り、音声

はマイク出力，筋電位信号は実効値により評価を行った．それぞれの測定箇所を図2に示す．

- 1) 横隔膜部位の計測：胸骨下端・最下肋間
- 2) 頸部筋の計測：肩甲舌骨筋・顎舌骨筋

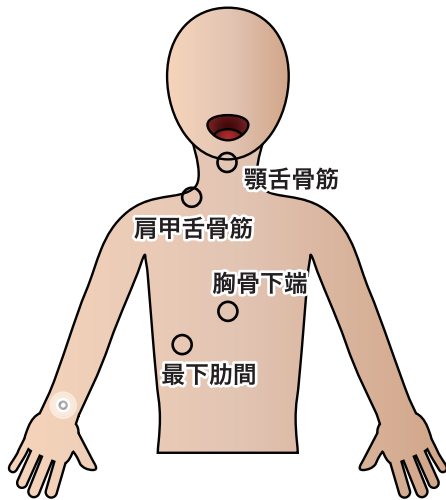


図2 筋電位信号測定箇所

3.2 結果および考察

図3に横隔膜部位の筋電位信号の実効値およびマイク出力を示す．最下肋間，胸骨下端共に発声の前直前に現れている．このことから，発声時には横隔膜が運動していることが明らかとなった．また両者の実効値を比較すると，最下肋間の方が高い値を示した．従って横隔膜の筋電位信号の検出箇所を右鎖骨中央線上の最下肋間とする．

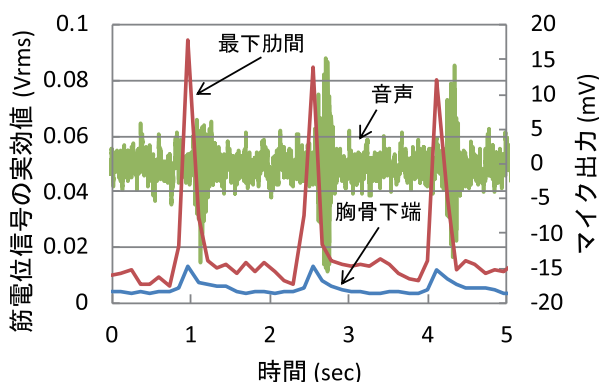


図3 横隔膜部位の筋電位信号の実効値とマイク出力の時間変化

図4に頸部筋の筋電位信号の実効値およびマイ

ク出力を示す．こちらも横隔膜部位と同様に，顎舌骨筋，肩甲舌骨筋共に発声の前直前に筋電位信号が発生している．このことから，食道発声前に食道に空気を取り込む際に舌を用いて押し込むという動作が推定される．また両者の実効値を比較すると，顎舌骨筋の方が高い値を示すことが明らかとなった．従って，頸部位の筋電位信号の検出箇所を顎舌骨筋部位とする．

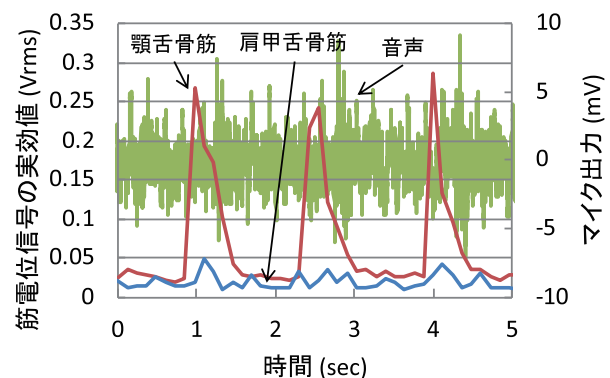


図4 頸部位の筋電位信号の実効値とマイク出力の時間変化

4. 筋電位信号の発生と発声のタイミング

前項により決定した測定筋の筋電位信号の発生と，食道発声法による音声との時間的關係を求めることで発声熟練者の発声時の筋肉の使い方を解明することができ，発声訓練支援デバイスへの適用が期待される．

4.1 目的

食道発声時の横隔膜と顎舌骨筋の筋電位信号と音声を同時に測定し，食道発声時にこれらの筋肉の活動のタイミングを調査する．

4.2 測定方法

前項と同じ被験者（60代男性）の最下肋間と顎舌骨筋に筋電位信号測定電極を貼付し，「あ」と7回発音した際の筋電位信号を測定，同時にマイクにより音声を収録する．測定に際し使用した機材およびその設定は前項と同様とした．

4.3 結果および考察

図5に横隔膜・顎舌骨筋の筋電位信号の実効値とマイク出力の時間変化の一例を示す。

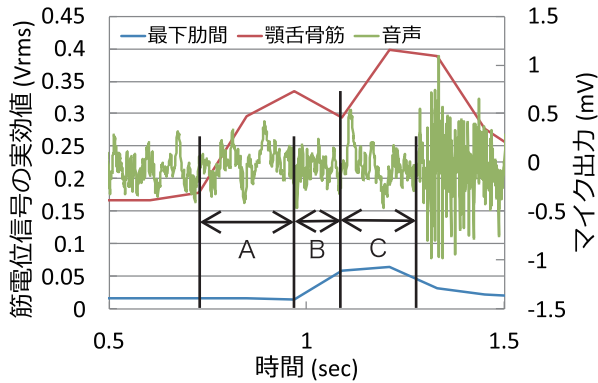


図5 横隔膜・顎舌骨筋の筋電位信号の実効値とマイク出力の時間変化の一例

図5より、最初に顎舌骨筋の実効値が上昇、次いで最下肋間、再び顎舌骨筋の実効値が上昇した後に音声が発せられていることが明らかとなった。顎舌骨筋に関してはピークが2回見られることから、まず空気を口腔内に取り込むために口を開ける動作を行い、その後に舌により空気を気管内に押し込む動作を行っていることが推測される。また横隔膜の動きを示す最下肋間の筋電位信号が立ち上がった直後に2回目の舌の動きが観測されていることから、胸郭を広げて気管内を陰圧にした上で舌による空気の押し込みを行い、効率よく空気を食道内に取り込んでいるのではないかと考えられる。この筋電位信号と音声の発生順序は7回の試行を通じて全て同じであった。

表1に図5中に示したA(顎舌骨筋の筋電位信号の発生から最下肋間の筋電位信号の発生までの時間)、B(最下肋間の筋電位信号の発生から2回目の顎舌骨筋の筋電位信号の発生までの時間)、C(顎舌骨筋の筋電位信号の発生から音声の発生までの時間)の7回の試行における平均値とその標準偏差を示す。この結果から、それぞれの標準偏差は平均時間の約1/4-1/2となり、ばらつきは多いと考えられる。しかしサンプルが少ないことも一因であると考えられるため、被験者を増やした上

で再検討が必要である。

表1 図5中のA, B, Cの時間の平均値と標準偏差

	顎舌骨筋から横隔膜:A	横隔膜から顎舌骨筋:B	顎舌骨筋から発声:C
平均時間(msec)	207.6	103.8	203.9
標準偏差(msec)	59.0	45.8	46.5

5. まとめ

食道発声時に使用する筋肉を同定するため、筋電位信号計測により舌と横隔膜の活動を示す電極添付箇所を求めた。これらの結果から、舌の動きは顎舌骨筋、横隔膜の動きは右鎖骨中央線上の最下肋間において筋電位信号として検出することが可能であることが明らかとなった。またこれらの筋電位信号と音声を同時に計測することで、食道発声時における筋肉の活動の順序が求められた。今後はサンプル数を増やし、より詳細な測定・検討を行う予定である。

謝辞

本研究遂行にあたり、アンケートにご協力頂いた鹿児島県鶴鈴会の皆様および測定にご協力頂いた井ノ上博範氏に深く感謝する。本研究の一部はJSPS 科研費 JP17K01602 の助成を受けたものである。

参考文献

- 橋場参夫, 山元寧, 山口悦範, 須貝保徳, 他, “音声の自然性を備えた電気人工喉頭の開発研究(第2報)”, 北海道立工業試験場報告, 294, (1995), pp.143-150
- 中村正司, “食道発声入門”, 銀鈴会, (2013)
- 森下伸也, “横隔膜筋電位による笑いの定量化システムの構築とそれをを用いた応用健康科学的研究”, 科学研究費助成事業 研究成果報告書, (2014)
- 金子秀雄, 永井良治, 吉住浩平, “最大吸気圧測定の反復に伴う呼吸筋活動の変化”, 理学療法科学, 25, 4(2010), pp.487-492
- 興津太郎, 有田元英, 園田茂, 大田哲生, 他, “舌骨上筋群における嚥下表面筋電図の電極位置の検討”, リハビリテーション医学, 35, (1998), pp241-244