

## 論文

音声訓練法による顔面皮膚振動パターンの変化  
— 言語聴覚士を対象にした計測 —川村直子<sup>a</sup>, 北村達也<sup>b</sup><sup>a</sup> 姫路獨協大学 医療保健学部 言語聴覚療法学科

姫路市上大野 7-2-1, 670-8524

<sup>b</sup> 甲南大学 知能情報学部 知能情報学科

神戸市東灘区岡本 8-9-1, 658-8501

(受理日 2020 年 11 月 16 日)

## 概要

音声障害のリハビリテーション(音声リハビリ)で行う音声訓練において,発声時の顔面の皮膚振動感覚は効率の良い発声状態を表すとして重視されている。しかしながら,顔面の皮膚振動感覚はあくまで患者の主観に基づいた感覚であり,指導する言語聴覚士が患者の顔面の皮膚振動を把握することは現状では難しい。さらに,音声訓練中の顔面の皮膚振動について検証した報告は今のところ見受けられない。そこで,本研究では,音声リハビリ経験のある言語聴覚士を対象に,顔面の振動感覚を重視する3つの音声訓練法を用いて,スキャニング型レーザドップラ振動計により発声時の顔面の皮膚振動速度パターンを計測したので報告する。

キーワード: レーザドップラ振動計, 皮膚振動, 音声訓練, ハミング, ストロー発声

## 1 はじめに

音声リハビリテーション(音声リハビリ)とは,音声障害患者の不適切な声の使用や発声の仕方を改め,日常の音声コミュニケーションの改善を目指す治療的介入である。声のかすれや出しにくさなどの訴えを持つ患者が医療機関を受診し,耳鼻咽喉科医師によって声の使い方や出し方の修正が必要な音声障害であると診断された場合に,音声リハビリが開始される。患者は音声リハビリを担当する言語聴覚士の指導のもと,音声リハビリを一定期間(約3ヶ月)実施することになる。

音声リハビリでは声の衛生面の指導(声帯に悪い影響を及ぼすような生活環境や習慣を避けさせるための指導)に加えて,音声訓練が実施される。音声訓練は,発声の機能的側面の問題に対して実際に声を出しながら適切な発声へと修正していくこと(望ましい発声の再学習)を目的としている。特に,喉に負担がかからない効率の良い発声,かつ響きの良い声の習得が求められ

る。

効率が良くかつ響きの良い発声の習得を目指すにあたり、発声時の声の響きの感覚や顔面の振動感覚は、良い発声の状態を表すとして重視されている [1]。例えば、口を軽く閉じた状態で発声するハミング発声では、患者は鼻や口唇周辺に皮膚振動感覚を自覚することを言語聴覚士により指導される。さらに、ストローを軽く口にくわえた状態でストローを吹く要領で声を出すストロー発声では、口唇周辺に振動感覚をはっきりと自覚することが求められる。

両者は、**Semi-Occluded Vocal Tract Exercises** (半遮蔽声道エクササイズ, SOVTE) と呼ばれる音声訓練法に含まれ、音声障害患者を対象とした音声リハビリや、声楽歌唱のウォーミングアップの方法として推奨されている。理論的には、発声時の声道長を長くするか、声道 (共鳴腔) の一部に狭めをつくることによって、フォルマント同調及び声門上の声道インピーダンス整合が起こり、声帯に負担のかからない声帯振動を起こすことが可能になると説明されている [2], [3]。また、このような原理による効率的な音声の生成は、顔面の振動感覚につながるとされている。これは、声道の狭め (あるいは閉鎖) 部分をつくることによって口腔内の音圧が上昇した結果によると考えられている [3]。そのため、発声時の顔面の振動感覚は、望ましい発声の再学習を行ううえでの一つの到達目標になる [4]。

しかしながら、顔面の皮膚振動感覚はあくまで患者の主観的指標に基づいた感覚であり、言語聴覚士が実際の顔面の皮膚振動の状態について把握することは現状では難しい。さらに、音声訓練法によって顔面の皮膚振動パターンがどのように変化するかを検証した報告は今のところ見受けられない。そこで、本研究では、音声リハビリで行う音声訓練法のうち発声時に顔面の皮膚振動を体感するとされている3つの音声訓練法に着目し、各発声時の顔面の皮膚振動パターンの計測を試みた。これにより、これまで主観的感覚だけで捉えられていた音声訓練時の顔面の振動を可視化することができる。可視化された情報は、患者と言語聴覚士の共通認識に利用することができ、さらには音声訓練の定量的評価として指導に活用することが期待できる。

発声時の皮膚振動の計測については、皮膚に接触する加速度センサを用いた研究 [5] や非接触型のスキャニング型レーザドップラ振動計を用いた研究 [6], [7] が報告されている。どちらも声道の形態が変わると顔面の皮膚振動パターンが変化することを明らかにしている。本研究では、後者の手法を用いた。そして、医療機関で音声リハビリの指導経験がある言語聴覚士2名を対象に、3つの音声訓練法を用いて、(1) 音声訓練法による発声時の顔面の皮膚振動パターンの変化、(2) 各音声訓練法の振動体感部位と実際の顔面の振動部位との類似性、について検証したので報告する。

## 2 方法

### 2.1 スキャニング型レーザドップラ振動計

本研究では、スキャニング型レーザドップラ振動計 Polytec PSV-400-M4 を利用して発声時の顔面の皮膚振動速度を計測した。振動する物体にレーザ光を照射しその反射光を観測するとドップラ効果により光の周波数が変化する。レーザドップラ振動計は、この変化量に基づいて計測対

象の光軸方向の振動速度や変位を計測することができる。光を用いるため、計測対象に非接触で計測することが可能である [8]。本研究で使用したスキャニング型の振動計は、計測対象上の複数の計測点を自動的に走査して連続的に計測することができる。本研究で利用した振動計のハードウェアは、レーザ光を照射・受光するスキャニングヘッドおよびコントローラから成る (図 1)。さらに、ハードウェアの制御、結果の表示・分析等を担うソフトウェアを加え、全体のシステムを構成する。



図 1: PSV-400 Scanning Vibrometer  
写真はポリテックジャパンより提供

## 2.2 実験

### 2.2.1 実験参加者

非音声障害者の言語聴覚士の女性 2 名 (実験参加者 A, B) が実験に参加した。計測時点における両者の音声リハビリ経験年数は、実験参加者 A が 4 年、実験参加者 B が 17 年であった。

### 2.2.2 発声課題

顔面の皮膚振動速度パターンの計測で使用した発声課題を表 1 に示す。本研究では、医療機関で実際に用いられている音声リハビリの音声訓練法のうち、顔面の皮膚振動感覚を体感するとされている 3 つの音声訓練法 (ハミング発声 /m:/, ストロー発声 /u:/, 鼻音化の /i:/ 発声) を発声課題として採用した。これらは、発声学習の基礎的な練習として有用であるとされている [9]。なお、発声時の口の閉じ方 (歯の噛み合わせの有無) や声区 (地声と裏声)、振動感覚を意識する部位 (鼻梁部と口唇部)、発声時の力み等によって顔面の皮膚振動速度パターンが変化する可能性が

表 1: 発声課題

No.	音声訓練法		歯の 噛み合わせ	声区	振動感覚を意識する 顔面部位
1-1	ハミング発声 /m:/	楽な発声	なし	地声	口唇部
1-2	ハミング発声 /m:/	楽な発声	あり	地声	口唇部
1-3	ハミング発声 /m:/	楽な発声	なし	裏声	口唇部
1-4	ハミング発声 /m:/	楽な発声	なし	地声	鼻梁部
1-5	ハミング発声 /m:/	力んだ発声	なし	地声	なし
2	ストロー発声 /u:/	楽な発声	なし	地声	口唇部
3	鼻音化の /i:/ 発声	やや小さい声	なし	地声	鼻梁部

ある。そこで、ハミング発声 /m:/ ではさらに4つの条件を設けて顔面の皮膚振動速度パターンを検証することとした(表1, No. 1-2 ~ 1-5)。

各音声訓練法の基本的な発声の仕方を以下に示す。

1つ目のハミング発声 /m:/ (表1, No. 1-1) は、軽く口を閉じた状態で発声する。一般的に音声リハビリでは、まず鼻梁部分に声を響かせ、声が顔の中心から出るイメージで発声を促す。この際、やや高い声になることが多いとされている。鼻梁部分に声を響かせる感覚がつかめたら、発声時に口蓋前方部や上口唇が振動する感覚を確認しながら発声練習を進めるとされている [1]。

2つ目のストロー発声 /u:/ は、ストローと口唇の間に隙間ができないようにストローを軽くくわえて、ストローを吹く要領で発声する(図2)。実験では直径5mm、長さ180mmのプラスチックストローを使用した。1回の発声で5~10秒程度持続し、それを何度も反復する。ストロー発声時には、ストローの先端あるいは口唇に振動を自覚できることが重要であるとされ、発声時の口唇、口蓋前方部の振動感覚を常に意識させ、患者自身が体感できるまで練習を行う [1]。この振動感覚は、口唇部の断面積の減少によって高められた口腔内音圧に起因するとされている [10]。実際に、力みのないストロー発声時では、口唇、口蓋前方部の辺りに振動感覚をはっきりと自覚することができる。



図 2: ストロー発声

3つ目の鼻音化の /i:/ 発声は、Vocal Function Exercises (VFE) [11] のプログラムの一つ目の「発声持続時間の延長」にて行う発声法である。鼻梁部分に声を響かせるイメージで母音 /i:/ をできるだけ長く持続発声する。VFE は、内喉頭筋の筋力増強と発声に伴う筋活動のバランス調節訓練が特徴の訓練プログラムである。声帯への負荷を抑えるために、弱めの声で鼻梁から顔の前面に振動感覚を感じながら発声することが重要であるとされている [1], [11]。

なお、表 1 の No. 1-1 ~ 1-4 のハミング発声は楽な発声で、No. 1-5 のハミング発声は喉に力を入れて絞るような力みのある発声で計測を行った。No. 2 のストロー発声は楽な発声で、No. 3 の鼻音化の /i:/ 発声は前述のとおりやや小さい声で計測した。

### 2.2.3 手続き

実験は防音室で実施した。実験参加者は、頭部までもたれられる高い背もたれのある椅子に腰かけた。さらに、背もたれに設置したバーで頭部を両側から挟んで固定した。眼の保護の目的で、レーザー光を遮断するテープを貼り付けた水泳用のゴーグルを装着し、振動計のスキャニングヘッドは実験参加者の顔の正面に配置し三脚で固定した。

顔面の測定点は、振動計の制御ソフトウェアを用いて実験参加者ごとに定めた(実験参加者A: 62点, B: 80点)。1点の測定につき約1~2秒を要するため、全ての計測点の測定には約2分が必要となる。したがって、実験参加者は計測中に適宜息継ぎを行い、持続発声を継続した。各計測点では、建物の暗振動や実験参加者の身体の揺れの影響を除去することを考慮して、100 Hz から 5 kHz までの振動速度を計測した。

以上の実験方法は、「甲南大学におけるヒトを対象とした研究審査」により承認されたものである。

## 3 結果

### 3.1 3つの音声訓練法による発声時の顔面の皮膚振動速度パターンの変化

各音声訓練法の発声時の顔面皮膚振動速度パターンを図3~5に示す。図中の格子点は測定点で、その他の色のついている点の値は補間によって求められた。図中の顔面皮膚振動パターンの色は、赤色に近いほど皮膚振動速度が大きく、青色に近いほど小さいことを意味している。

#### 3.1.1 ハミング発声 /m:/

ハミング発声 /m:/ (表 1, No. 1-1) の結果を図 3 (a) に示す。実験参加者 A, B とともに、前額の皮膚振動速度が相対的に小さく、鼻と口唇周辺、さらに頬の皮膚振動速度が大きくなっていた。これらは音声訓練時に皮膚振動感覚を自覚するよう指導される部位と一致していた。

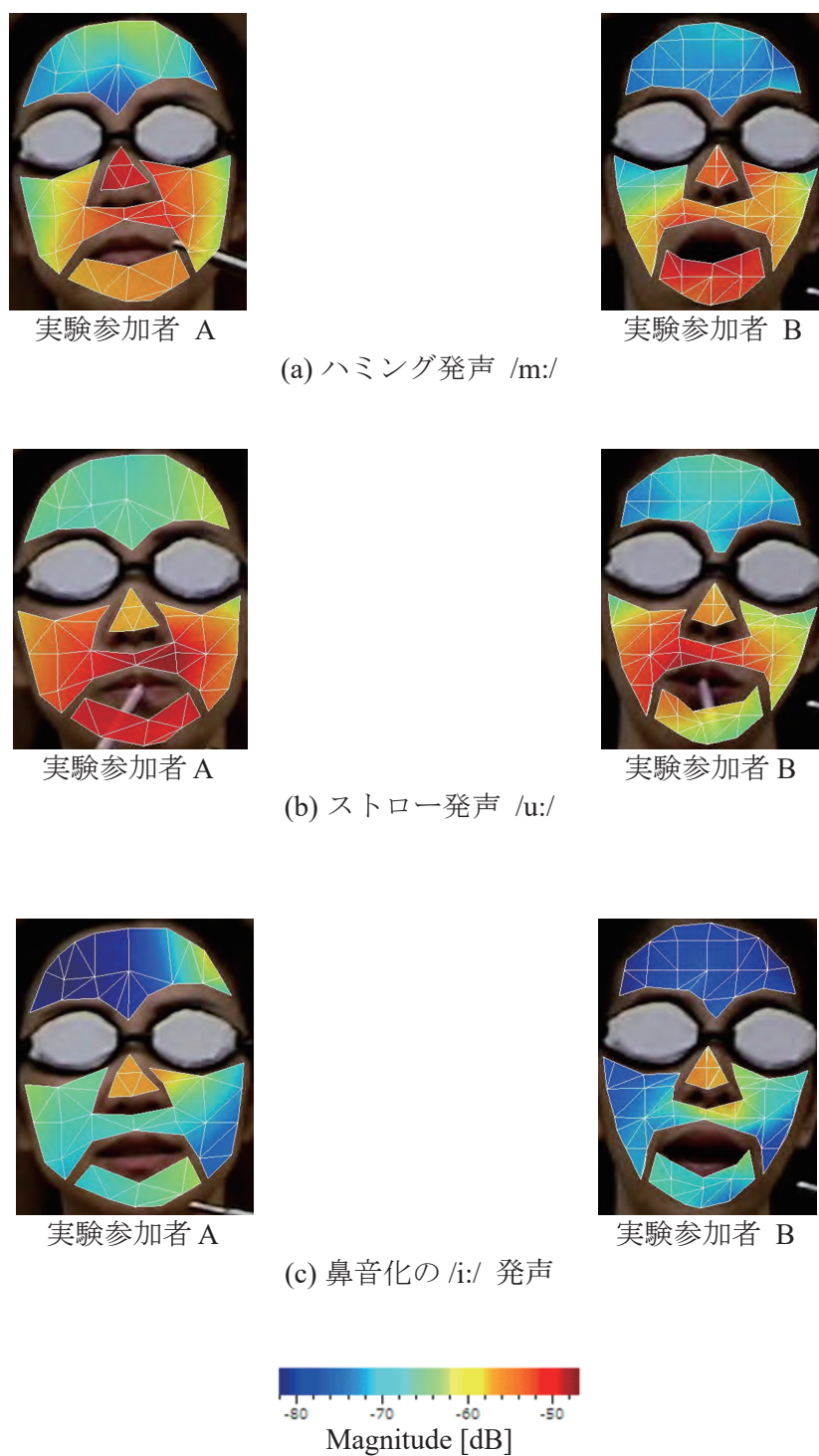


図 3: 各音声訓練法の発声時の皮膚振動速度パターン  
 (a) ハミング発声 /m:/, (b) ストロー発声 /u:/, (c) 鼻音化の /i:/ 発声. 振動速度を表すカラーバーの数値の単位は m/s (dB) で, 0 dB は 1 m/s に対応する.

### 3.1.2 ストロー発声 /u:/

ストロー発声 /u:/ (表 1, No. 2) の結果を図 3 (b) に示す。ストロー発声 /u:/ では、両実験参加者ともに顔面の皮膚振動速度が 3 つの音声訓練法の中で最大となっていた。とりわけ鼻の部分よりも口唇周辺と頬の皮膚振動が大きくなっていた。これは音声訓練時に皮膚振動感覚を自覚するよう指導される部位と一致している結果であった。

### 3.1.3 鼻音化の /i:/ 発声

鼻音化の /i:/ 発声 (表 1, No. 3) の結果を図 3 (c) に示す。鼻音化の /i:/ 発声では、両実験参加者ともに鼻の皮膚振動速度が相対的に大きく、その他の顔面部位では全体的に小さくなっていた。これは音声訓練時に皮膚振動感覚を自覚するよう指導される部位と一致している結果であった。

## 3.2 発声条件によるハミング発声 /m:/ の顔面の皮膚振動速度パターンの変化

ハミング発声 /m:/ をさらに異なる 4 つの条件で行った際の顔面の皮膚振動速度パターンを図 4, 5 に示す。

### 3.2.1 ハミング発声 /m:/, 歯の噛み合わせありの場合

歯の噛み合わせを行った状態のハミング発声 /m:/ (表 1, No. 1-2) の結果を図 4 (a) に示す。実験参加者 A, B ともに、図 3 (a) と同じように前額の皮膚振動速度が相対的に小さく、鼻と口唇周辺、さらに頬の皮膚振動速度が大きくなっていた。しかしながら、実験参加者 A, B とも図 3 (a) に比べて図 4 (a) の顔面の皮膚振動速度が小さくなっており、歯の噛み合わせの有無によって発声時の顔面の皮膚振動速度が若干変化していることが示された。

### 3.2.2 ハミング発声 /m:/, 裏声で発声した場合

裏声によるハミング発声 /m:/ (表 1, No. 1-3) の結果を図 4 (b) に示す。実験参加者 A, B とも図 3 (a) と同じように前額の皮膚振動速度が相対的に小さく、鼻と口唇周辺、頬の皮膚振動速度が大きくなっている皮膚振動パターンを示した。しかしながら、図 3 (a) に比べて図 4 (b) では実験参加者 A, B ともに下顎の皮膚振動速度が小さくなっていた。さらに、実験参加者 A の前額の皮膚振動速度は図 4 (b) の方が図 3 (a) に比べて小さくなっていた。また、実験参加者 B では、図 4 (b) の方が図 3 (a) に比べて鼻の皮膚振動速度が小さくなっていた。以上より、裏声によるハミング発声時は地声によるハミング発声時と類似した皮膚振動パターンを示したが、皮膚振動速度が大きく現れる範囲は前者の方が後者よりも小さくなることが示された。

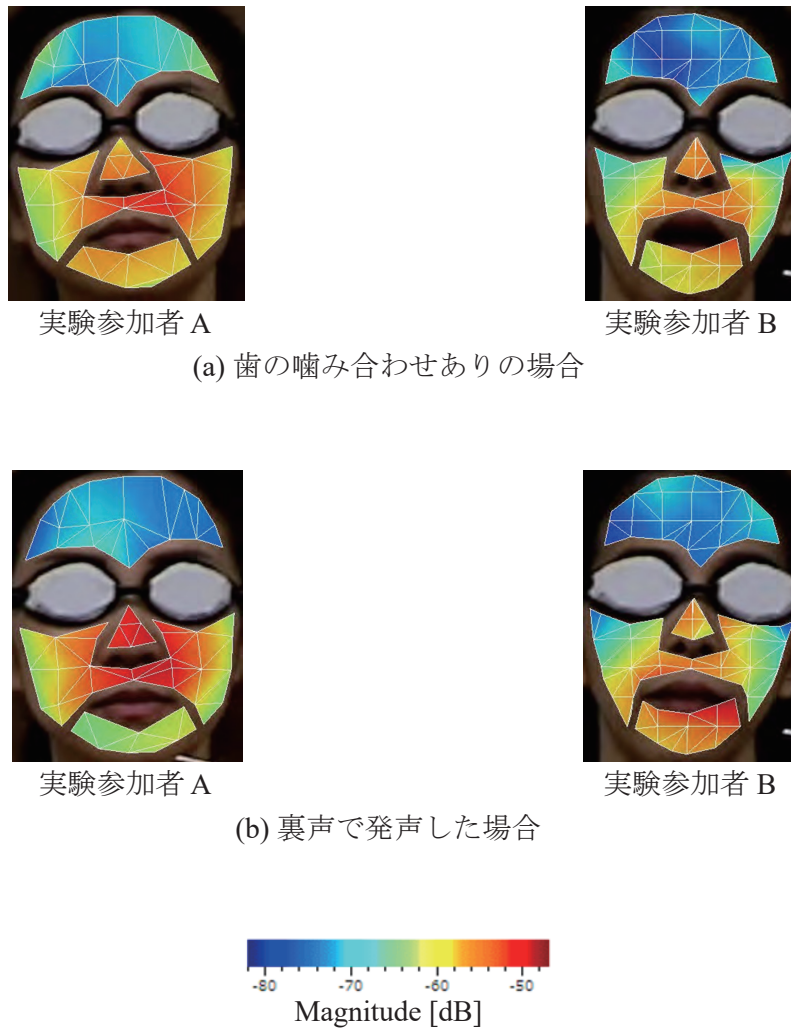


図 4: ハミング発声時の皮膚振動速度パターン  
 (a) 歯の噛み合わせありの場合, (b) 裏声で発声した場合. 振動速度を表すカラーバーの数値の単位は  $\text{m/s (dB)}$  で, 0 dB は  $1 \text{ m/s}$  に対応する.

### 3.2.3 ハミング発声 /m:/, 振動感覚を鼻梁部に意識した場合

鼻梁部に振動感覚を意識したハミング発声 /m:/ (表 1, No. 1-4) の結果を図 5 (a) に示す. 実験参加者 A, B とも図 3 (a) と同じように前額の皮膚振動速度が相対的に小さく, 鼻と口唇周辺, 頬の皮膚振動速度が大きくなっている皮膚振動パターンを示した. しかしながら, 実験参加者 B では, 図 3 (a) に比べて図 5(a) の鼻と口唇周辺, 頬の皮膚振動速度が小さくなっていた.





図 5: ハミング発声時の皮膚振動速度パターン

(a) 振動感覚を鼻梁部に意識した場合, (b) 喉に力をいれて力みながら発声した場合. 振動速度を表すカラーバーの数値の単位は m/s (dB) で, 0 dB は 1 m/s に対応する.

### 3.2.4 ハミング発声 /m:/, 喉に力をいれて力みながら発声した場合

喉を絞るように力をいれて力みながら発声したハミング発声 /m:/ (表 1, No. 1-5) の結果を図5 (b)に示す. 実験参加者 A, B とも顔面の皮膚振動速度が全体的に小さくなるパターンを示した.

## 4 考察

### 4.1 3つの音声訓練法による発声時の顔面の皮膚振動速度パターンの変化

2名の言語聴覚士を対象に、音声リハビリで使用される3つの音声訓練法について、発声時の顔面の皮膚振動速度パターンを計測した。その結果、音声訓練法によって発声時の顔面の皮膚振動速度パターンが変化することが示された。さらに、各音声訓練法において声の響きの感覚や振動感覚を体感するとされている部位の皮膚振動速度が大きくなるパターンとなっていたことが確認された。

ハミング発声 /m:/ では、両実験参加者ともに、前額の皮膚振動速度が相対的に小さく、鼻と口唇周辺、さらに頬の皮膚振動速度が大きくなっていた。これは、ハミング発声時に鼻腔や副鼻腔、口腔内の音圧変動が大きいことによると考えられる。また、本研究の顔面皮膚振動速度パターンは、先行研究 [6] が示した鼻音発声時の結果と類似していた。

ストロー発声 /u:/ では、両実験参加者ともに顔面の皮膚振動速度が3つの音声訓練法の中で最大であった。とりわけ上唇と頬の皮膚振動が大きく現れていた。コンピュータシミュレーションによると、ストロー発声の口腔内音圧は母音 /u/ に比べて3倍高く、この高い口腔内音圧は、ストロー発声を行ったときに口唇や顔面皮膚に振動感覚をもたらすと考えられている [10]。ストロー発声時の口唇周辺の皮膚振動感覚と効率的な発声は関連があるとされており、今回の口唇周辺の皮膚振動速度の増大は、このようなストロー発声の原理が作用している可能性が考えられる。

鼻音化の /i:/ 発声では、両実験参加者ともに鼻の皮膚振動速度が相対的に大きく、その他の顔面部位では全体的に小さくなっていた。これについては弱めの声で発声したことが影響したと考えられる。

### 4.2 発声条件によるハミング発声 /m:/ の顔面の皮膚振動速度パターンの変化

同じハミング発声でも、歯の噛み合わせや声区(地声と裏声)、振動感覚を意識する部位、発声時の力み等によって顔面の皮膚振動速度パターンが変化する可能性を考えて、ハミング発声 /m:/ ではさらに4つの条件で発声時の顔面の皮膚振動速度パターンを検証した。

歯の噛み合わせの有無によって発声時の顔面の皮膚振動速度が若干変化した。これは、歯を噛み合わせないで口唇のみを閉鎖する方が、口腔内の音圧変動が大きく、鼻および口唇周辺の振動感覚を自覚しやすくなる可能性を示唆している。

声区および振動感覚を意識する部位の条件を変えても、皮膚振動速度パターンの変化は殆どみられなかった。裏声発声や、顔面の上方に振動感覚を意識した場合の発声の方が、皮膚振動速度が小さい結果を示した。これについては、裏声発声に比べて地声発声の方が音源に豊かな倍音構造を含む [12] ことや、振動感覚部位の意識を上方に向けると声の高さが上昇しやすくなることなどが関与しているかもしれない。

力んだハミング発声時では、全体的に顔面の皮膚振動速度が小さくなっていた。これについては、力んだ発声のために効率のよい声帯振動が損なわれていることと、咽喉頭腔の過度な狭窄による影響が推測される。

以上より、ハミング発声 /m:/ においては、地声で、歯の噛み合わせが無く、振動感覚を口唇部に意識した時に顔面の皮膚振動速度が大きくなることが示された。つまり、この条件で声道内の音声の振幅が最も大きくなっていることが考えられる。

本研究では、発声課題中の声の高さ・大きさの定量的な統制は行っていない。この点については今後の計測時に考慮していきたいと考える。発声時の皮膚振動は骨や筋、皮膚等の解剖学的形態の個体差に影響されると考えられるため、顔面の皮膚振動速度パターンを個人間で比較することは難しい。しかしながら、個人内の皮膚振動の変化を捉える指標としての可能性は十分に期待できる。したがって、音声訓練時の皮膚振動の定量的指標は、発声状態のフィードバックとして有効活用できると考えられる。

## 5 おわりに

本研究では、音声リハビリ経験のある言語聴覚士を対象に、顔面の振動感覚を重視する音声訓練法を用いて、スキャニング型レーザドップラ振動計による発声時の顔面の皮膚振動速度パターンを計測した。その結果、音声訓練法によって発声時の顔面の皮膚振動速度パターンが変化することが確認された。さらに、各音声訓練法において声の響きの感覚や振動感覚を体感するとされている部位の皮膚振動速度が実際に大きくなることが本研究により初めて示された。これまでの主観的指標に加えて、本研究のような客観的指標を音声リハビリに取り入れることで、より効果的な音声訓練が実施できると期待できる。

## 謝辞

本論文の一部は、JSPS 科学研究費 (16K13226) の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] 大森幸一編, 言語聴覚士のための音声障害学. 医歯薬出版, pp. 109-117, 2015.
- [2] B. H. Story, A.-M. Laukkanen and I. R. Titze, "Acoustic impedance of an artificially lengthened and constricted vocal tract," *Journal of Voice*, vol. 14, no. 4, pp. 455-469, 2000.
- [3] I. R. Titze, "Voice training and therapy with a semi-occluded vocal tract: Rationale and scientific underpinnings," *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, vol. 49, no. 2, pp. 448-459, 2006.
- [4] 廣瀬肇, 城本修, 小池三奈子, 遠藤裕子, 生井友紀子, STのための音声障害診療マニュアル. インテルナ出版, pp. 85-89, 2008.

- [5] I. Kirikae, T. Sato, H. Oshima and K. Nomoto, “Vibration of the body during phonation of the vowels,” *Revue de laryngologie-Otologie-Rhinologie*, vol. 85, pp. 317–345, 1964.
- [6] T. Kitamura, “Measurement of vibration velocity pattern of facial surface during phonation using scanning vibrometer,” *Acoustical Science and Technology*, vol. 33, no. 2, pp. 126–128, 2012.
- [7] T. Kitamura and K. Ohtani, “Non-contact measurement of facial surface vibration patterns during singing by scanning laser Doppler vibrometer”, *Journal of Frontiers in Psychology, Section: Performance Science*, vol. 6, article. 1682, pp. 1–8, 2015.
- [8] 北村達也, “スキャニングレーザードップラ振動計による歌唱時の皮膚振動計測における再現性の検証,” *音声言語医学*, vol.55, no. 2, pp. 167–172, 2014.
- [9] 苅安誠, 城本修, 改訂音声障害. 建帛社, p. 23, 2012.
- [10] I. R. Titze and A.-M. Laukkanen, “Can vocal economy in phonation be increased with an artificially lengthened vocal tract? A computer modeling study,” *Logopedics Phoniatrics Vocology*, vol. 32, no. 4, pp. 147–156, 2007.
- [11] J. C. Stemple, L. Lee, B. D’Amico and B. Pickup, “Efficacy of vocal function exercises as a method of improving voice production,” *Journal of Voice*, vol. 8, no. 3, pp. 271–278, 1994.
- [12] 日本音声言語医学会編, 声の検査法第2版基礎編. 医歯薬出版, p. 178, 1994.