

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01450

研究課題名(和文) 舌運動推定技術の高度化と嚥下機能評価・訓練支援システムへの応用

研究課題名(英文) Advancement of tongue motion estimation technique and its application to evaluation and training support system for swallowing function

研究代表者

佐々木 誠 (Sasaki, makoto)

岩手大学・理工学部・准教授

研究者番号：80404119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、重度障害者の生活支援のために開発した「舌骨上筋群の表面筋電位に基づく舌運動推定技術」を、嚥下機能の評価ならびに訓練支援に応用することを目的とし、間接訓練(食物を用いない基礎訓練)における様々な口腔運動や力の情報を推定する高度なAI技術を開発した。また、本手法による推定精度は、高齢者と若年者との間に有意な差は認められず、年齢や口腔機能に依存しないことが示唆された。さらに、ゲーム操作を通して嚥下機能の評価・訓練可能なシリアスゲームを開発し、その有効性を示すとともに、左右上下前方など、任意方向への舌の力発揮能力を評価・訓練できるシステムへと発展させた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to apply "Tongue motion estimation technique based on surface electromyography (EMG) signals of the suprahyoid muscles" developed for the life support of severely handicapped person to evaluation and training of swallowing function. First, we developed advanced AI technology to estimate various motions and forces of the tongue in indirect training (basic training without food). There was no significant difference between the elderly and the young in estimation accuracy of tongue motion by this method, and it was shown that the accuracy does not depend on age and oral function. Next, we developed a serious game that can evaluate and train the swallowing function by game operation and showed its effectiveness by experiment. Finally, we realized a system that can evaluate and train the ability of the tongue in any direction, such as left-right, up-down front.

研究分野：リハビリテーション科学, ロボット工学

キーワード：嚥下障害 舌骨上筋群 多チャンネル表面筋電位 間接訓練 舌運動 機械学習 人工知能(AI)

### 1. 研究開始当初の背景

嚥下機能の評価には、精密検査（嚥下造影検査や嚥下内視鏡検査）と簡易検査（スクリーニング）がある。しかし、これらの検査は、誤嚥や窒息、肺炎などの何らかの症状が現れた後に実施されるケースが多いため、医療機関以外でも日常的に嚥下機能の低下や訓練の必要性を自覚できるような、簡便な評価技術の開発が不可欠である。一方、嚥下障害の予防や回復を支援するためには、自らの意思で継続的に訓練を実施するための仕組みづくりも必要となる。嚥下機能の訓練には、舌運動訓練や舌抵抗訓練など、自宅で手軽に行える様々な間接訓練が存在するが（日本摂食嚥下リハ学会、間接訓練のまとめ、2014）、間接訓練は単調であるうえ、訓練効果をフィードバックする仕組みが備わっていないことから、高齢者が高いモチベーションを維持しながら、訓練を継続することは困難である。

### 2. 研究の目的

本研究では、重度障害者の生活支援のために開発した「舌骨上筋群の表面筋電位に基づく舌運動推定技術」を、嚥下機能の評価ならびに訓練支援に応用することを目的とし、間接訓練（食物を用いない基礎訓練）における様々な口腔運動や力の情報等を推定する高度な AI 技術を構築する。また、口腔運動や力の情報とゲーム操作を対応付けることで、楽しく遊びながら嚥下機能の改善を図る新しい訓練支援システムを実現し、本システムの有効性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 口腔運動と力の推定法

研究代表者はこれまで、舌骨上筋群の表面筋電位を、機械学習の一つであるサポートベクターマシンを用いて分析することにより、舌の随意運動をはじめとする口腔運動の識別法を開発してきた。本研究では、高齢者の間接訓練における口腔運動を、本識別法により推定できるか検討した。

対象は、嚥下障害による通院履歴のない高齢者 12 名（平均 69.4 歳）とした。被験者は、顎下部にフレキシブル 22 チャンネル表面電極、左右耳たぶに GND 電極とコモン電極をそれぞれ装着した（図 1）。そして、22 チャンネル表面電極の各電極とコモン電極との間の電位差を、GND 電極を基準に、筋電アンプ BOX で 2052 倍に差動増幅した後、AD 変換器を介して、サンプリング周波数 2,000Hz で PC に取り込んだ。計測動作は、舌運動訓練として舌を口外の右、左、上、下に突き出す 4 動作、開口訓練として開口動作、随意的な嚥下訓練として空嚥下の合計 6 動作とした。本実験では、これらの 6 動作を 1 セットとし、合計 14 セットを座位にて計測した。14 セットの計測データのうち、最初の 4 セットをサポートベクターマシンの学習、残り 10 セットを識別精度の評価に用いた。また、識別精度と口腔機能の

関係を調べるために、最大舌圧、オーラルディアドコキネシス、反復唾液嚥下テスト、水飲みテストなども測定した。



図 1 高齢者の口腔運動測定の様子

次に、間接訓練の一つである舌抵抗訓練に着目し、舌骨上筋群の表面筋電位を用いた舌尖力ベクトルの可視化について検討した。被験者は健常成人男性 5 名（平均 23.6 歳）とした。実験では、頭部および舌尖の位置を固定した状態で、1 周 4 秒のペースで、時計回りに 360° 円を描くように力を加え、6 軸力覚センサでその値を計測した。これを 1 セットとし、計 16 セットの計測を行った。そして、16 セットのうち、8 セットをディープニューラルネットワークの学習、残り 8 セットを推定精度の評価に用いた。ネットワークは、Stacked Sparse Auto-Encoder を用いて構成した。

#### (2) 嚥下訓練支援システム（シリアスゲーム）

嚥下において重要な役割を担う舌機能を様々な視点から数値化するため、舌の最大筋力、瞬発力、持久力、巧緻性などを、ゲーム操作を通して評価・訓練可能なシリアスゲームを作成した。開発言語には matlab を用いた。本ゲームは、画面右方向に一定の速さで進む自動車の高さを、①間接訓練を行う際の舌骨上筋群の表面筋電位の大きさ、②表面筋電位から推定した口腔運動や力の大きさ、③舌圧測定器で観測できる舌圧の大きさ、のいずれかでコントロールし、目標軌道である道路に沿うように走行させるものである（図 2）。実験では、健常成人男性 10 名（平均 22.8 歳）を対象とし、1 日 10 分、2 週間（平日のみ 10 日間）のゲーム操作（舌機能訓練）を実施し、目標値に対する追従誤差から、舌機能の変化を数値化した。なお、本実験では③をゲーム操作に選択した。また、機能評価の比較のため、最大舌圧、オーラルディアドコキネシス、反復唾液嚥下テストなども測定した。

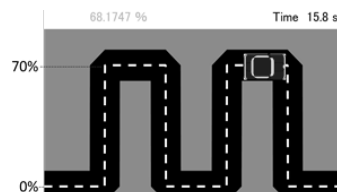


図 2 シリアスゲームの一例

一方、③の舌圧測定器は、口腔内に挿入したバルーン内圧を測定する装置であり、舌の口蓋への押し付け動作しか評価・訓練することができない。そこで、本研究では、左右上下前方など、任意方法に発揮可能な舌ベクトルを測定するために、3D プリンタで製作した舌接触部、6 軸力覚センサ、AD 変換器、PC、舌位

置調整用 2 軸ステージで構成される, 3 次元舌力測定装置を開発し, 舌機能の時空間的な評価を可能にした. 実験では, 健常成人男性 (平均 22.5 歳) ならび脳卒中患者 5 名 (軽度運動障害性構音障害, 軽度嚥下障害) を対象とし, 頭部を固定した状態で左右上下前方に対する最大筋力, 瞬発力, 持久力, 巧緻性などを測定した. また, 比較のために, 最大舌圧, オーラルディアドコキネシス, 反復唾液嚥下テストなども測定した.

なお, 上述したすべての研究内容は, 岩手大学倫理審査委員会の承認を得た後, 被験者に実験の内容とリスクについて口頭と書面の双方で説明し, 十分なインフォームドコンセントを得たうえで実施した.

#### 4. 研究成果

##### (1) 口腔運動と力の推定法

高齢者の口腔運動 6 動作に対する平均識別率は 95.2% であり, 若年者の 95.4% と比較して, 統計学的に有意な差は認められなかった. また, 最大舌圧, オーラルディアドコキネシス, 反復唾液嚥下テスト, 水飲みテストの結果と, 識別率の間に相関関係も認められなかった. このことから, 年齢や口腔機能に寄らず, 舌運動訓練動作 (舌を口外の右, 左, 上, 下に突き出す動作), 開口訓練動作, 嚥下訓練動作 (空嚥下) を, 舌骨上筋群の表面筋電位から高い精度で識別できることが明らかとなった.

一方, 本手法は, 22 チャンネル表面電極の装着位置によって観測される舌骨上筋群の表面筋電位が異なるため, 電極装着ごとに表面筋電位と各運動との関連付け (機械学習による識別モデルの作成) を行う必要がある. これに対して, 本研究では, 複数の電極位置での筋活動パターンを学習モデルに加えたところ, 電極装着直後のキャリブレーション作業を省略できるロバストな口腔運動識別法を実現できることを示した. また, 本識別法を, 間接訓練における口腔運動だけではなく, 直接訓練における嚥下動作へと適用したところ, 随意嚥下の強度や一回嚥下量の違いについても, 同様に識別できることを確認した.

力情報については, 舌骨上筋群の筋活動パターンと舌尖力ベクトルの関係をディープニューラルネットワークで学習させたところ, 相関係数 0.8 程度の精度で, 力ベクトルを推定できることが示された (図 3). 推定精度は, 前方押付方向  $F_x$  が最も高く, 左右方向  $F_y$ , 上下方向  $F_z$  の順に低い結果となった. また, 前方突出量と推定精度の間に有意差は認められ

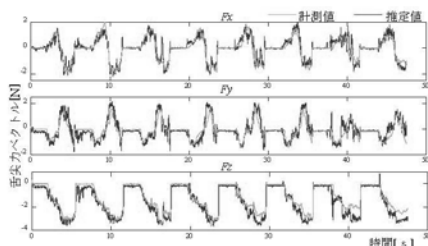


図 3 舌尖力ベクトルの推定結果

ず, 任意の舌位置における舌尖力ベクトルの推定可能性が示唆された.

##### (2) 嚥下訓練支援システム (シリアスゲーム)

若年者を対象に, 10 日間のバイオフィードバック訓練を実施した結果, 舌の最大舌圧は 49.8 kPa から 61.7 kPa, 持久力は 18.6 s から 31.5 s へとそれぞれ有意に増加することが示された ( $p < 0.01$ ). また, 目標値に対する力の調整能力を評価したところ, Root mean square 誤差は 13.4 % から 9.3 % に有意に減少し, 最大筋力, 瞬発力, 持久力に加え, 巧緻性に対する本提案システムの有効性についても確認された.

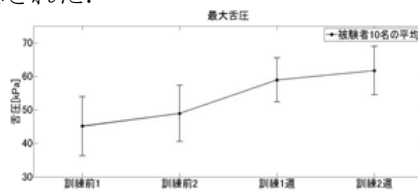


図 4 バイオフィードバック訓練による最大舌圧の変化

3 次元舌力測定装置の開発では, 6 軸力覚センサを採用することで, 左右上下前方など, 任意方向に発揮可能な舌力の発揮特性 (最大筋力, 瞬発力, 巧緻性, 持久力) を, 定量的かる視覚的に評価できることを示した. 本成果は, 特許として出願済みである.

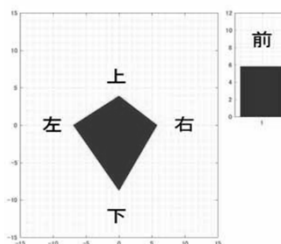


図 5 舌力発揮方向に対する最大筋力

また, 若年者を対象とした 10 日間のバイオフィードバック訓練では, 各方向における舌機能がすべて向上することが確認された. さらに, 一般的な口腔機能の評価指標である最大舌圧, RSST, オーラルディアドコキネシスと比較したところ, 従来法では十分に検知できない機能改善を, 本システムにより評価できる可能性が示唆された. 嚥下障害者との比較では, 舌機能が若年者より劣ることや, 左右差などの麻痺の影響を定量的に評価できる可能性が示唆された. なお, 嚥下障害者の測定では, 頸部の代償動作が一部みられたことから, 測定結果への影響を防げるよう, 装置改良が今後必要と考えられた.

##### (3) まとめ

本研究では, 間接訓練における様々な口腔運動や力の情報を非侵襲的に推定する高度な AI 技術を開発した. また, 本手法による推定精度は, 高齢者と若年者との間に有意な差は認められず, 年齢や口腔機能に依存しないこ

とが示唆された。さらに、ゲーム操作を通して嚥下機能を評価・訓練可能なシリアスゲームを開発し、その有効性を示すとともに、左右上下前方など、任意方向への舌の力発揮能力を評価・訓練できるシステムを実現した。今後は、本技術をさらに発展させ、嚥下障害に対する問題解決に取り組んでいきたい。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計3件)

- 1 鈴木雅大, 佐々木誠, 多チャンネル表面筋電図×人工知能による嚥下機能の見える化, リハビリテーション・エンジニアリング, 33(2), 2018, 特集記事(依頼原稿), 査読無
- 2 中居志紀也, 佐々木誠, 多チャンネル表面筋電図×人工知能による舌操作型電動車いすの開発, リハビリテーション・エンジニアリング, 33(2), 2018, 特集記事(依頼原稿), 査読無
- 3 Makoto Sasaki, Kohei Onishi, Dimitar Stefanov, Katsuhiko Kamata, Atsushi Nakayama, Masahiro Yoshikawa, Goro Obinata, Tongue Interface Based on Surface EMG Signals of Suprahyoid Muscles, ROBOMECH Journal, 3:9, DOI:10.1186/s40648-016-0048-0, 2016, 査読有

### 〔学会発表〕(計29件)

- 1 鈴木雅大, 佐々木誠, 鎌田勝裕, 中山淳, 玉田泰嗣, 柴本勇, 多チャンネル表面筋電図の画像認識による嚥下パターン分類, 第27回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2018. 3. 9, 杏林大学(東京都三鷹市)
- 2 中居志紀也, 佐々木誠, 中山淳, 舌運動により電動車いすを操るAI技術, 第7回超異分野学会, 2018. 3. 2, TEPIA先端技術館(東京都港区)
- 3 Tatsuya Watanabe, Makoto Sasaki, Mamoru Kikuchi, Isamu Shibamoto, Tongue movement training device by intraoral sensory stimuli for articulation disorders, 14th international conference on uHealthcare 2017, 2017.12.5, Seoul National University Hospital (Korea)
- 4 鈴木雅大, 佐々木誠, 柴本勇, 玉田泰嗣, 中山淳, ディープラーニングを用いた嚥下パターン解析の基礎的検討, 第51回日本生体医工学会東北支部大会, 2017.12.2, 秋田大学(秋田県秋田市)
- 5 中居志紀也, 佐々木誠, 菊池護, 中山淳, 舌操作型電動車椅子の走行評価, 第51回日本生体医工学会東北支部大会, 2017.12.2, 秋田大学(秋田県秋田市)
- 6 佐々木誠, 工学的視点から摂食嚥下リハビリテーションを考える, いわて摂食嚥

下リハビリテーション研究会第27回研修会, 2017.10.21, 岩手医科大学(岩手県盛岡市), 招待講演

- 7 佐々木誠, 機械学習を用いた舌骨上筋群の表面筋電図解析による口腔機能の見える化, 第59回歯科基礎医学会学術大会, 2017.9.16, 松本歯科大学(長野県塩尻市), 招待講演
- 8 平間計徹, 佐々木誠, 中山淳, 大日方五郎, 独立成分分析による舌骨上筋群の表面筋電位信号からの舌および顎運動の分離, LIFE2017, 2017.9.15, お茶の水女子大学(東京都文京区)
- 9 鎌田勝裕, 柴本勇, 佐々木誠, 表面筋電を用いた舌骨上筋群バイオフィードバック訓練装置の開発, 第18回言語聴覚学会, 2017.6.23, くにびきメッセ(島根県松江市)
- 10 平間計徹, 佐々木誠, 大日方五郎, 独立成分分析を用いた表面筋電位の分離による舌および顎運動の推定, ライフサポート学会第26回フロンティア講演会, 2017.3.10, 芝浦工業大学(東京都江東区)
- 11 Shumpei Ito, Makoto Sasaki, Isamu Shibamoto, Atsushi Nakayama, Katsuhiko Kamata, EMG-based Classification of Tongue Training Motion, Joint International Conference of Big Data Analytics in Health Informatics 2016 (BDAHI2016) and the 13th International Conference on Ubiquitous Healthcare (u-Healthcare2016), 2016.10.29, 会津大学(福島県会津若松市)
- 12 Ryosuke Oikawa, Makoto Sasaki, Mamoru Kikuchi, Isamu Shibamoto, Atsushi Nakayama, Katsuhiko Kamata, Electric Wheelchair Control Using EMG-Based Tongue Interface, Joint International Conference of Big Data Analytics in Health Informatics 2016 (BDAHI2016) and the 13th International Conference on Ubiquitous Healthcare (u-Healthcare2016), 2016.10.29, 会津大学(福島県会津若松市)
- 13 佐々木誠, 舌機能検査・訓練を目的としたシリアスゲームの開発, 第22回日本摂食嚥下リハビリテーション学会学術大会, 2016.9.23, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市), パネルディスカッション
- 14 佐々木将瑛, 佐々木誠, 中山淳, 鎌田勝裕, 阿部信之, 佐藤義朝, 柴本勇, 舌圧測定器を用いたバイオフィードバック訓練システムの開発, 第22回日本摂食嚥下リハビリテーション学会学術大会, 2016.9.23, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)
- 15 猪狩和子, 宍戸敦子, 田中翔太, 加藤文弥, 埴総司, 佐々木誠, 佐々木啓一, 摂食嚥下リハビリテーションを支える口腔ケアスキルの可視化, LIFE2016, 2016.9.4, 東北

- 大学 (宮城県仙台市)
- 27 Guangzhou (China)
- 16 伊藤駿平, 佐々木誠, 鎌田勝裕, 柴本勇, 中山淳, 嚥下リハビリテーションを目的とした舌運動推定法に関する研究, 第 31 回リハ工学カンファレンス, 2016. 8. 26, 高知県立ふくし交流プラザ (高知県高知市)
  - 17 及川涼介, 佐々木誠, 菊池護, 鎌田勝裕, 柴本勇, 中山淳, 舌運動に着目した筋電インタフェースの開発, 第 31 回リハ工学カンファレンス, 2016. 8. 26, 高知県立ふくし交流プラザ (高知県高知市)
  - 18 佐々木誠, 伊藤駿平, 鎌田勝裕, 中山淳, 柴本勇, 舌骨上筋群の筋活動パターンに着目した高齢者の舌運動評価, 第 17 回日本言語聴覚学会, 2016. 6. 10, ロームシアター京都 (京都府京都市)
  - 19 渡辺達也, 佐々木誠, 中山淳, 柴本勇, 口腔内振動刺激の知覚特性に関する基礎検討, 日本顎口腔機能学会第 56 回学術大会, 2016. 4. 23, 東洋大学 (埼玉県川越市)
  - 20 佐々木将瑛, 佐々木誠, 中山淳, 柴本勇, 舌骨上筋群の表面筋電位を用いた舌尖の力ベクトル推定, 日本顎口腔機能学会第 56 回学術大会, 2016. 4. 23, 東洋大学 (埼玉県川越市)
  - 21 Isamu Shibamoto, Makoto Sasaki, Atsushi Nakayama, Katsuhiko Kamata, Identification of the tongue motion and dry swallow by suprahyoid muscles activity pattern using multi-channel surface EMG, Dysphagia Research Society 2016 Annual Meeting, 2016. 2. 25, Arizono (USA)
  - 22 佐々木誠, 肢体不自由者の移動支援のためのヒューマンインタフェース, 人間支援のためのロボット技術開発セミナー, 2016. 2. 25, 中部大学 (愛知県名古屋), 招待講演
  - 23 伊藤駿平, 佐々木誠, 佐々木将瑛, 鎌田勝裕, 中山淳, 柴本勇, 表面筋電位を用いた高齢者の舌運動識別, 日本機械学会第 28 回バイオエンジニアリング講演会, 2016. 1. 9, 東京工業大学 (東京都目黒区)
  - 24 加藤裕貴, 佐々木誠, 渡辺達也, 菊池護, 中山淳, 柴本勇, 構音訓練のため口腔内振動知覚に関する基礎的検討, 日本機械学会第 28 回バイオエンジニアリング講演会, 2016. 1. 9, 東京工業大学 (東京都目黒区)
  - 25 橋本康矢, 佐々木誠, 佐藤和貴, 中山淳, 柴本勇, 食事動作の異常検出に関する基礎的検討, 日本機械学会第 28 回バイオエンジニアリング講演会, 2016. 1. 9, 東京工業大学 (東京都目黒区)
  - 26 Isamu Shibamoto, Makoto Sasaki, Atsushi Nakayama, Katsuhiko Kamata, Aya Hirata, The volitional control of swallowing sounds in elders, Asia Pacific Conference of Speech Language and Hearing 2015, 2015. 10. 9,
  - 27 佐々木誠, 伊藤駿平, 中山淳, 鎌田勝裕, 柴本勇, 多チャンネル表面筋電図を用いた舌押し付け力の推定, 第 21 回日本摂食嚥下リハビリテーション学会学術大会, 2015. 9. 11, 国立京都国際会館 (京都府京都市)
  - 28 伊藤駿平, 柴本勇, 中山淳, 鎌田勝裕, 佐々木誠, 嚥下障害者を対象とした舌運動識別法に関する基礎的検討, 第 4 回 4 校学術交流会, 2015. 7. 10, 一関工業高等専門学校 (岩手県一関市)
  - 29 鎌田勝裕, 柴本勇, 佐々木誠, 中山淳, 構音障害自主訓練用支援アプリケーションの開発, 第 16 回日本言語聴覚学会, 2015. 6. 26, 仙台国際センター (宮城県仙台市)
- [出願状況] (計 2 件)
1. 名称: 舌機能検査・訓練装置  
発明者: 佐々木誠, 柴本勇, 鎌田勝裕  
権利者: 岩手大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2017-092131 号  
出願年月日: 2017. 5. 8  
国内外の別: 国内
  2. 名称: 舌機能評価方法, 舌機能訓練方法, 舌機能評価装置, 及び舌機能訓練装置  
発明者: 佐々木誠, 柴本勇, 鎌田勝裕  
権利者: 岩手大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2016-182278  
出願年月日: 2016. 9. 16  
国内外の別: 国内
- [その他]  
ホームページ  
<http://www.mech.iwate-u.ac.jp/~makotosa>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
佐々木 誠 (SASAKI, Makoto)  
岩手大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 80404119
  - (2) 研究分担者  
柴本 勇 (SHIBAMOTO, Isamu)  
聖隷クリストファー大学・リハビリテーション学部・教授  
研究者番号: 30458418
  - (3) 中山 淳 (NAKAYAMA, Atsushi)  
一関工業高等専門学校・未来創造工学科・教授  
研究者番号: 70270212