

舌の残存機能に着目した新しい生活支援技術の開発

岩手大学大学院工学研究科

助教 佐々木 誠

1. はじめに

舌は脳神経に支配されており、頸髄損傷などによる重度障害においても運動機能が残存しやすく、素早く正確な運動が可能である。そのため、舌運動は重度障害者の失われた機能を代替するヒューマンインタフェースとして大きな可能性を秘めている。これまで、舌運動を計測する方法としては、舌に永久磁石を固定して磁界強度の変化を磁気センサで検出する方法や、人工口蓋プレート上にダイオードを配置して舌の近接を検出する方法、人工口蓋プレート上に圧力センサを配置して舌の接触力を検出する方法などが提案されている⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾。しかしながら、いずれの方法も計測装置を口腔内に設置する必要があるため、異物挿入による心理的ストレスの増加、口腔衛生状態の劣悪化、窒息、感電、バッテリーの液漏れなど、様々な実用化上の問題を含んでいる。

そこで本研究では、下顎底部で観測可能な舌骨上筋群の表面筋電位から、非侵襲かつ安全に舌の随意運動を識別する手法を開発し、実験によりその有効性を検証した。

2. 舌運動の識別方法

2-1. 舌の運動メカニズム

舌の運動は、舌の形や舌先の向きなどの形態制御を担う内舌筋と、舌の前方突出や後方引き下げなどの位置制御を担う外舌筋で発現される⁽⁸⁾。しかし、これらの筋活動の計測には、口腔内への電極設置や針電極を要するため、本研究では、下顎底部で観測可能な舌骨上筋群（顎二腹筋、茎突舌骨筋、顎舌骨筋、オトガイ舌骨筋）の表面筋電位（surface electromyogram: EMG）に着目した。舌骨上筋群は、下顎骨が咀嚼筋に固定された状態では、舌骨を引き上げて嚥下などを行うが、舌の側方運動時には顎舌骨筋、舌の前方突出時にはオトガイ舌骨筋、舌の口蓋への圧接時には茎突舌骨筋が、それぞれ舌の土台となる舌骨を適切に保持するため、舌運動の種類によって筋の活動パターンが異なる。そのため、異なる筋活動の特徴量と舌の運動状態とをニューラルネットワークなどで関連付けることにより、舌の随意運動や嚥下運動の識別が可能になる⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

2-2. 多チャンネル電極の開発

これまで、舌骨上筋群のEMG計測には、市販のディスコ電極を用い、図1(左)のように下顎底部全体を覆うような電極配置を採用してきた。しかし、この方法では、ディ

スポ電極を 20 mm 間隔で 9 つ貼り付けた上、筋電アンプボックスまで 1 本ずつリード線で接続する必要があるため、実験準備の煩雑さと装置の携帯性など実用化上の様々な問題があった。そこで、本研究では $\phi 3$ mm の銀電極をシリコンシート上に 10 mm 間隔で 22 個配置した一体型の多チャンネル電極を作成し、上述した問題点の解決、ならびに、より多くの EMG 信号の取得と、個人によって形状の異なる下顎底部へのフィッティングを実現した。

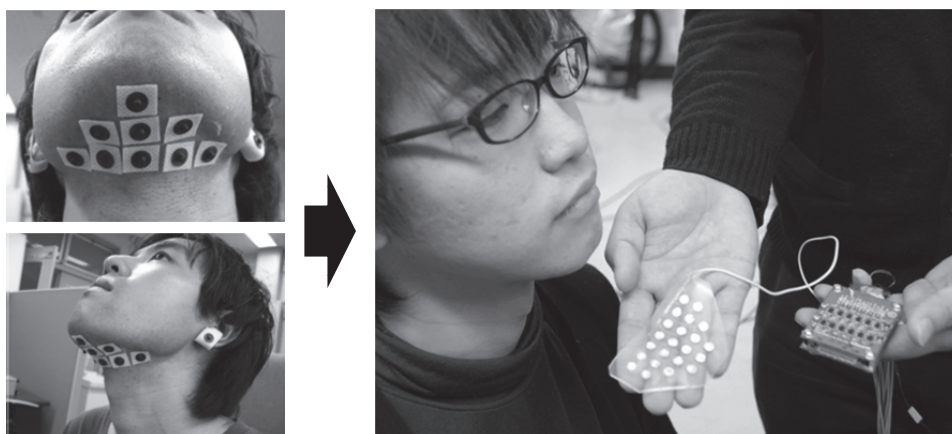


図 1 多チャンネル電極 (左：従来法，右：試作品)

2-3. 舌運動識別アルゴリズム

舌骨上筋群の EMG を利用した舌運動の識別方法を以下に示す (図 2)。

1. 片方の耳朶を基準とし、下顎底部の各電極位置ともう片方の耳朶位置での電位差をそれぞれ計測する。
2. 複数の層に重なり合った舌骨上筋群全体の筋活動を捉えるため、計測した 22 チャンネルの EMG から 231 ($=_{22}C_2$) 通りの各電極間 EMG を計算する。
3. n サンプル前までの EMG を用いて、自乗平均平方根 (root mean square: RMS) を計算する。ここで、より多くの EMG の特徴量を抽出するために、平滑化数 n が異なる 3 種類の RMS を採用する。

$$RMS_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EMG_i^2} \quad (n=100, 300, 500) \quad (1)$$

4. 計算時間短縮のために、主成分分析 (principal component analysis: PCA) を用いて、693 次元 (231 ch \times 3 種類) の特徴ベクトル $[RMS_{100} \ RMS_{300} \ RMS_{500}]^t$ を 15 次元の特徴ベクトル $Z(t)$ に低次元化する。
5. ニューラルネットワークへの入力信号は、2 サンプル前までの特徴ベクトルを考慮し、 $Y(t) = [Z(t) \ Z(t-1) \ Z(t-2)]^t$ とする。

6. 誤差逆伝搬法により予め学習したネットワークを用いて, EMG の特徴量 $Y(t)$ から, 舌の運動状態に対応した識別信号 (2 進数表現) を推定する.
7. 閾値処理により推定値を 2 値化する.
8. ニューラルネットワークの出力信号を平滑化するため, 過去 k 個の推定結果に対して多数決判定 (投票) を行い, 舌の運動状態を最終決定する.

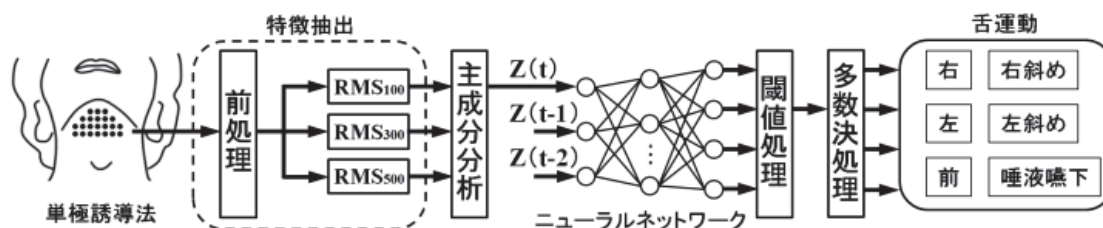


図 2 舌運動識別アルゴリズム

3. 評価実験

3-1. 舌運動推定実験

はじめに, 舌骨上筋群の EMG を用いた舌運動推定実験を行った. 被験者は, 舌機能が正常な健康成人男性 5 名 (年齢 23.0 ± 1.0 歳, 身長 167.4 ± 3.8 cm, 体重 60.2 ± 2.7 kg, mean \pm SD) とした. 実験では, 舌尖を左右上下に突き出す合計 4 動作を 1 セットとし, 合計 20 セットの舌運動を計測した (図 3). 動作時間は, 約 1 秒とし, 各動作の間に 2 秒の安静時間を設けた. 多チャンネル電極で検出した舌骨上筋群の EMG は, 増幅率 1950 倍, ハイパスフィルタ 2.3 Hz, ローパスフィルタ 320 Hz の生体アンプを介して, サンプル周波数 2,000 Hz で PC に取り込んだ.

20 セット分の計測データのうち, 10 セットをニューラルネットワークの学習, 残り 10 セットを舌運動の推定に用いた. そして, 次式を用いて, 舌運動の推定精度を評価した結果, 90%以上の精度で 4 動作を識別できることが示された.

$$\text{識別率} = \frac{\text{推定動作の正解数}}{\text{推定に用いた動作総数}} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

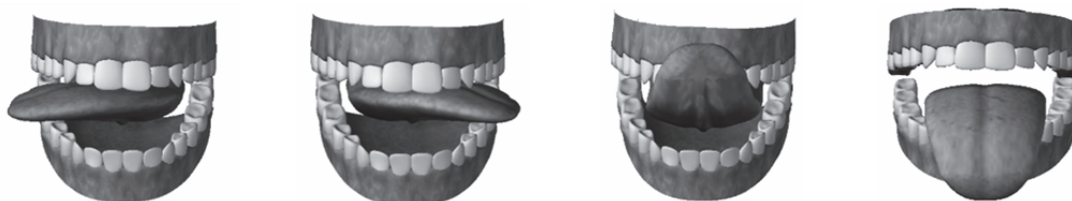


図 3 舌の随意運動

3-2. マウス操作実験

次に，本提案手法を利用した外部機器制御の一例として，舌運動によるマウス操作実験を行った．マウス操作の対象として，図4のようなブラウザゲーム⁽¹¹⁾を採用し，左右に舌を突き出す動作を，操作バーの左右移動と対応させた．その結果，舌骨上筋群のEMGから識別した舌運動を用いて，リアルタイムにゲーム操作が可能であることが示された⁽¹²⁾．

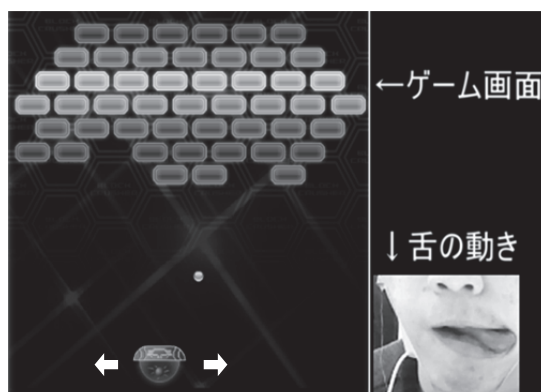


図4 舌運動によるマウス操作実験の様子

4. おわりに

本研究では，口腔内に計測装置を挿入することなく，非侵襲かつ安全に舌の運動状態を推定する手法として，舌骨上筋群のEMGを用いた舌運動識別法を開発した．また，識別した舌運動により，リアルタイムに外部機器を制御できることを確認した．

謝辞

本研究は，公益財団法人インテリジェント・コスモス学術振興財団によるインテリジェント・コスモス奨励賞，実用化研究助成，ならびに，科学研究費補助金基盤研究（C）（課題番号：24500637）の支援を受けて実施された．ここに感謝の意を表します．

参考文献

- (1) Sonoda, Y., Observation of tongue movements employing magnetometer sensor, IEEE Trans. Magn., Vol.10, (1974), p.954-957
- (2) Huo, X., Wang, J. and Ghovanloo, M., Introduction and preliminary evaluation of the Tongue Drive System: wireless tongue-operated assistive technology for people with little or no upper-limb function, J. Rehabil. Res. Dev., Vol.45, No.6, (2008), p.921-930
- (3) Wrench, A.A., McIntosh, A.D. Watson, C. and Hardcastle, W.J., Optopalatograph: real-time feedback of tongue movement in 3D, Proc. of ICSLP'98, (1998), p.1867-1870
- (4) Saponas, T.S., Kelly, D., Parviz, B.A. and Tan, D.S., Optically sensing tongue gestures for

computer input, Proc. of UIST'09, (2009), p.177-180

- (5) 一ノ瀬裕, 和久本雅彦, 本多清志, 東輝明, 佐藤準二, ワイヤレス式舌圧センサを用いたヒューマンインタフェースと電動車椅子の制御への応用, 電子情報通信学会論文誌, J86-D-II(2), (2003), p.364-367
- (6) 寺島正二郎, 佐藤栄一, 小竹和夫, 植木一範, 佐々木聡, 重度障害者のための口腔内コントローラーの開発, バイオメカニズム 20, (2010), p.87-98
- (7) 新川拓也, 河内了輔, 下顎運動と舌運動を併用したヒューマンインターフェース, 生体医工学, Vol.44, No.1, (2006), p.94-100
- (8) 井出吉信, 小出馨 (編), チェアサイドで行う顎機能検査のための基本機能解剖, 医歯薬出版株式会社, 2004
- (9) 佐々木誠, 荒川峻之, 中山淳, 山口昌樹, 重度障害者の意思伝達を目的とした舌の位置と力の同時推定法, バイオメカニズム, No.21, (2012), p.33-42
- (10) 佐々木誠, 荒川峻之, 中山淳, 山口昌樹, 舌骨上筋群の協調運動を利用した舌運動推定法, 生体医工学, Vol.50, No.1, (2012), p.31-37
- (11) ブラウザゲーム (株式会社マリエッタ) , スペースブロック崩し,
<http://www.p-game.jp/game80/>
- (12) Makoto Sasaki, Kohei Onishi, Atsushi Nakayama, Katsuhiko Kamata, Dimitar Stefanov, Masaki Yamaguchi, “A System for Tongue Motor Function Training” Proceedings of the SICE Annual Conference 2013 (2013)

著者連絡先

〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5

岩手大学大学院工学研究科機械システム工学専攻

佐々木 誠 (makotosa@iwate-u.ac.jp)