

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500637

研究課題名(和文) 舌の運動を利用した生活支援技術の開発とリハビリ遊具への応用

研究課題名(英文) Development of assistive technology for communication and mobility using tongue motions, and its application to rehabilitation support system

研究代表者

佐々木 誠 (Sasaki, Makoto)

岩手大学・工学部・助教

研究者番号：80404119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：舌の運動は脳神経に支配されているため、頸髄損傷などによる重度四肢機能障害においても運動機能が残存しやすい特徴がある。そこで本研究では、顎下部で観測可能な舌骨上筋群の筋活動パターンから、安全かつ非侵襲的に舌運動を識別する手法を開発した。そして、健常成人男性5名を対象とした評価実験により、舌を右、左、上、下、前に動かす5動作、ならびに唾液嚥下の合計6動作を、95%以上の精度で識別できることを明らかにした。本インタフェースは、口腔内に計測装置を挿入する必要がないため、心理面や衛生面への影響、発話や飲食の妨げ、誤飲や窒息のリスクなど、従来の口腔内インタフェースが抱える問題を解決できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The tongue motion is governed by the twelfth cranial nerve (hypoglossal nerve). The motor functions are usually preserved even in people with cervical spinal cord damage. In this study we developed a novel tongue interface based on the classification of the tongue motions from the surface electromyogram of the suprahyoid muscles detectable at the underside of the jaw. The tongue motion classification accuracy was evaluated by experiments which participants were five healthy adult men. The results revealed that all six tongue motions included in the tests were classified with accuracy of $95.1 \pm 1.9\%$. The new interface does not require insertion of measuring sensors into the mouth cavity and thus, it does not hinder user's activities such as eating, drinking, talking, and swallowing.

研究分野：生活支援工学

キーワード：舌運動 表面筋電位 動作識別 機械学習 生活支援

1. 研究開始当初の背景

舌は、脳神経に直接支配されており、脊髄損傷などによる重度障害においても運動機能が残存する割合が高い。また、口の中の手と言われるほど自由度が高く、素早く正確な運動が可能であることから、重度障害者の新しい意思伝達方法として、舌インタフェースの開発が注目を集めている。しかしながら、これまでに開発されている舌インタフェースの多くは、舌に永久磁石を固定して磁界強度の変化を検出する方法や、人工口蓋プレート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、いずれも計測装置の口腔内設置を必要とするため、心理面や衛生面への影響、発話や飲食の妨げ、誤飲や窒息の危険性など様々な課題が残されている。

2. 研究の目的

本研究では、舌の随意運動、嚥下、あくび、開口などの顎口腔運動に関与する舌骨上筋群の表面筋電位 (surface electromyogram: EMG) から、舌の随意運動のみを正確に分離・抽出する舌運動識別法を開発する。また、PCのマウス操作等の機器制御実験を通して、舌運動を利用した生活支援技術の有効性を検証する。さらに、本インタフェースのリハビリテーション支援への応用可能性について基礎的検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 舌運動識別法の開発

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位置制御を担う外舌筋で発現される。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、顎下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 EMG 信号に着目した。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。そのため、本研究では、これらの協調運動に着目することで、舌運動の識別を試みた。本研究で開発した舌運動識別法は、主に EMG 計測部、特徴抽出部、動作識別部で構成される。

まず、舌骨上筋群の EMG 信号を計測するために、22 チャンネルアクティブ電極を開発した (図 1)。本アクティブ電極は、ベース材にポリイミドを用いた両面フレキシブル基板に、 $\phi 2\text{mm} \times 4\text{mm}$ の純銀棒を 12.5mm 間隔で 22 個配置して作成した。補強フィルムを含めた基板全体の厚さは 0.3mm であった。電極の先端は、皮膚に直接接触することを考慮し、半球状に加工した。また、皮膚インピーダンスの

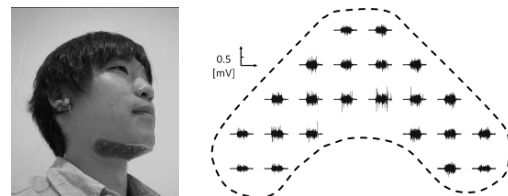


図 1 開発した多チャンネルアクティブ電極

影響を軽減するため、ボルテージフォロア回路を組み込み、各電極をアクティブ化した。さらに、基板や電子部品が皮膚と接触することを避けるため、基板全体をシリコンで覆って絶縁した。最終的な 22 チャンネルアクティブ電極全体の質量は 13.6g となった。EMG 計測の際には、顎下部に 22 チャンネルアクティブ電極を、左右の耳朶にアース電極とアクティブコモン電極をそれぞれ貼り付けた。そして、22 チャンネルアクティブ電極を構成する各電極とアクティブコモン電極との電極間電位差を、差動増幅器を用いて増幅した。増幅器のゲインは 2,052 倍、周波数帯域は EMG 信号に重畳する直流成分や高周波ノイズの除去を行うため 16~440Hz とした。22 チャンネルの EMG 信号は、16 bit A/D コンバータ (USB-6218, National Instruments Co.) を用いて、サンプリング周波数 2,000Hz で PC に取り込んだ。

特徴抽出部では、舌の動作識別に用いる特徴量をフレーム単位で抽出した。まず、特徴抽出の前処理として、長さ 128 ms のフレームを 16 ms (62.5 Hz) の周期でシフトさせながら EMG 信号を切り出した。その後、時間領域の特徴である Root mean square (RMS) と周波数領域の特徴である Cepstrum coefficient (CC) を各フレームごとに抽出し、特徴ベクトルを作成した。RMS 特徴は、EMG 信号の振幅に関する特徴であり、筋の活動量を表す。また、ケプストラム分析は、パワースペクトルを構成する成分をなだらかな成分 (包絡形状) と細かな変動成分 (微細構造) に分離可能であり、低次係数から包絡形状の特徴を抽出できる。

動作識別では、RMS 特徴と CC 特徴で構成した特徴ベクトルから、サポートベクターマシン (support vector machine: SVM) を用いて舌運動を識別した。なお、SVM は原理的に 2 クラスを識別する手法であり、複数動作の識別には直接利用できないため、one-against-one 法を用いてマルチクラスの識別に拡張した。この方法は、k 個のクラスに対して、すべての組み合わせ ($k(k-1)/2$ 個) の識別関数を構成し、得られる識別結果の中から、最も多く識別された動作クラスを最終的な識別結果とするものである。

被験者は、舌の運動機能が正常な健常成人男性 5 名 (年齢 22.2 ± 1.3 歳, 身長 169.7 ± 7.4 cm, 体重 61.0 ± 11.3 kg, mean \pm SD) であった。識別動作は、口を閉じた状態で舌尖を右, 左, 上, 下, 前に動かす 5 動作, ならびにこれら随意運動との分離が必要な唾

液嚥下を組み合わせた合計6動作とした。随意運動における舌先の位置は、実験の再現性を考慮して、上顎右第2大臼歯、上顎左第2大臼歯、硬口蓋、口腔底、上顎中切歯付近とした。各動作の時間は約2秒とし、各動作の前後にはニュートラルポジションで舌を脱力するための安静時間2秒を設けた。また、6動作を1セットと定義し、合計14セットの計測を行った。14セットの計測データのうち、最初の4セットをSVMの学習、残り10セットを識別精度の評価に用いた。

(2) 舌運動を利用した機器制御実験

PCのマウス操作を対象とし、舌運動のCG制御と、ぬり絵操作の2種類の評価実験を実施した。

まず、舌運動のCG制御では、リアルタイムに舌運動を可視化するために、3次元CGソフトウェア(Poser 9, Smith Micro Software Inc.)を用いて、舌モデルを作成した。さらに、Visual Studio 2008 Professional Edition (Microsoft Co., Ltd.)を用いて、舌モデルをマウス操作によってリアルタイムに制御するためのソフトウェアを開発した。実験では、舌先を右、左、上、下へと突き出す4動作、ならびに唾液嚥下の合計5動作を4セット計測し、SVMによる個人データの学習を行った。その後、舌骨上筋群のEMG信号から識別した舌運動の向きを、DAQユニット(USB-6218, National Instruments Co.)と入力支援装置(らくらくマウス II Wireless, KoKoTo STEP)を用いて、左右上下方向に対するマウスポインタの移動に対応付けた。また、嚥下動作は、約1~3分に一度の頻度で無意識に行われるため、ノイズキャンセルという位置付けで、マウス操作との対応付けは行わなかった。

ぬり絵実験では、CG制御実験と同様、舌先を右、左、上、下へと突き出す4動作、ならびに唾液嚥下の合計5動作を4セット計測し、SVMによる個人データの学習を行った。その後、舌先の向きをマウスカーソルの移動、随意嚥下をぬりつぶし(左クリック)に対応付けて、Microsoft Paint上のイラストにぬり絵を行った。

4. 研究成果

(1) 舌運動識別法の評価

全被験者に対する6動作の識別精度は、 $95.1 \pm 1.9\%$ であった。また、動作ごとの識別結果を比較すると、左(97.6%)、下(96.7%)、唾液嚥下(95.3%)、右(95.0%)、上(94.5%)、前(91.4%)の順で識別精度が高い結果となった。最も低い識別精度を示した“前”は、“上”、“下”、“唾液嚥下”と相互に誤識別するケースが多く、また2番目に識別精度の低い“上”は“右”と相互に誤識別するケースが多いことがわかった。また、全ての動作において、平均1.1%は動作なし(Neutral)と誤識別される結果となった。ただし、PCや電動車

いす等の機器操作を想定した場合には、Neutralは、“入力なし”のコマンドと対応付けられるため、安全面に機能する誤識別といえる。したがって、機器操作に悪影響を与える正味の誤識別の割合は、識別精度(95.1%)とNeutral(1.1%)の値から3.8%程度と考えられる。

以上の結果より、顎下部で観測した舌骨上筋群のEMG信号から、口腔内における6種類の舌運動を $95.1 \pm 1.9\%$ という高い精度で識別できることを明らかにした。本研究で開発した舌インタフェースは、口腔内に如何なる計測装置も挿入する必要がないため、心理面や口腔衛生面への影響、発話や飲食の妨げ、誤飲や窒息の危険性など、従来手法が抱える様々な問題を解決できると考えられる。

(2) 舌運動を利用した機器制御の評価

舌運動を利用したPCのマウス操作により、舌のCGモデルをリアルタイムに制御している様子を図2に示した。図中の左側が実際の舌運動、右側が舌のアニメーションである。この実験により、舌骨上筋群のEMG信号から識別した舌運動によりPCのマウスを自由に操作できること、また、その運動をリアルタイムに可視化できることが示された。



図2 EMG信号を用いた舌運動の可視化

ぬり絵実験の結果を図3に示した。CG制御実験と同様、被験者の舌の向きに応じてマウスカーソルが移動し、嚥下動作で花びらのぬりつぶしを行えることが示された。また、舌の随意運動だけでなく、実験中に行った嚥下回数も正しく表示できることが確認された。

以上の結果から、本研究で開発した舌インタフェースにより、PCのマウス操作を行えることが実証され、重度障害者の生活支援への応用可能性が示された。また、マウス操作実験で行った舌運動は、嚥下リハビリテーションにおける舌運動訓練と同じ運動であるため、ぬり絵などのゲームを楽しみながら嚥下機能を向上させるような新たなリハビリテーション遊具としての応用も期待される。今後は、重度障害者の生活支援や嚥下障害者のリハビリテーション支援に対する有効性の評価を引き続き行う予定である。



図3 舌運動によるぬり絵の様子

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

①佐々木誠, 中山淳, EMG 信号に基づく舌の動作識別法, 臨床バイオメカニクス, 査読有, 2015 (in press)

[学会発表] (計 16 件)

①佐々木誠, 中山淳, EMG 信号に基づく舌の動作識別法の開発, 第 41 回日本臨床バイオメカニクス学会, 2014. 11. 21, 奈良県新公会堂 (奈良県奈良市)

②佐々木誠, 大西康平, 中山淳, 柴本勇, 鎌田勝裕, 舌骨上筋群の表面筋電位を用いた舌運動の識別とその可視化法, 日本顎口腔機能学会第 53 回学術大会, 2014. 10. 4, 日本大学 (千葉県松戸市)

③Makoto Sasaki, Kohei Onishi, Atsushi Nakayama, Katsuhiro Kamata, Dimitar Stefanov, Masaki Yamaguchi, Tongue Motor Training Support System, 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2014), 2014. 8. 28, Chicago (USA)

④Makoto Sasaki, Assistive Technology for Communication and Mobility, Human Science and Biomedical Engineering for QOL, Tokyo Metropolitan University Symposium, 2014. 3. 5, 首都大学東京 (東京都八王子市)

⑤佐々木誠, 舌骨上筋群の表面筋電図を利用した舌運動訓練支援システムの提案, 第 19

回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会学術大会, 2013. 9. 22, 川崎医療福祉大学 (岡山県倉敷市)

⑥Makoto Sasaki, Kohei Onishi, Atsushi Nakayama, Katsuhiro Kamata, Dimitar Stefanov, Masaki Yamaguchi, A System for Tongue Motor Function Training, SICE Annual Conference 2013, 2013. 9. 14, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)

⑦Makoto Sasaki, Kohei Onishi, Takayuki Arakawa, Atsushi Nakayama, Dimitar Stefanov, Mamaguchi Yamaguchi: Real-Time Estimation of Tongue Movement based on Suprahyoid Muscle Activity, 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS (EMBC 2013), 2013. 7. 3, 大阪府立国際会議場 (大阪府大阪市)

⑧佐々木誠, 荒川峻之, 大西康平, 中山淳, 山口昌樹, 表面筋電位による舌運動の推定, 第 33 回バイオメカニクス学術講演会, 2012. 12. 15, 東北大学 (宮城県仙台市)

[図書] (計 2 件)

①Makoto Sasaki, IGI Global, Applications, Challenges, and Advancements in Electromyography Signal Processing (Chapter 12 Tongue Movement Estimation Based on Suprahyoid Muscle Activity), 2014. 5. 31, 404 (pp. 257-273)

②佐々木誠, 株式会社エヌ・ティー・エス, 次世代ヒューマンインタフェース開発最前線 (第 5 章第 6 節 舌骨上筋群の表面筋電位を用いた舌運動推定技術の開発), 2013. 6. 11, 668 (pp. 403-416)

[その他]

ホームページ等

<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・工学部・助教

研究者番号: 80404119

(2) 研究分担者

中山 淳 (NAKAYAMA, Atsushi)

一関工業高等専門学校・制御情報工学科・准教授

研究者番号: 70270212

巖見 武裕 (IWAMI, Takehiro)

秋田大学・工学資源学研究所・准教授

研究者番号: 10259806