

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：32419

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23260

研究課題名（和文）体幹筋運動単位の興奮特性を用いた脳卒中患者姿勢調節における神経変調の解明

研究課題名（英文）Neural modulation of postural regulation in stroke using lumbar motor unit excitability

研究代表者

埴 大樹（Hanawa, Hiroki）

人間総合科学大学・保健医療学部・助教

研究者番号：00884032

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：健常成人のつま先立ちにおいて、膝関節を装具固定すると足関節底屈筋の運動単位動員数（すなわち、運動神経の活動数）が増すことが判明した。筋活動を複合的に複合活動電位としてみるとわからない事象であり、より詳細に検討する必要性を示唆できた。一方で、脳卒中患者の姿勢保持および電気刺激に対する体幹筋運動単位の活動特性までは新型コロナウイルスの影響により検証できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リハビリテーションの視点から姿勢保持にかかわる筋の運動単位活動特性（つまり、運動神経の興奮特性）を検証できた点は独創的であり、価値があった。実験結果もさることながら、先行研究に乏しい姿勢保持に係る筋の運動単位をいかに効率よく抽出できるか、その実験手法を確立した点は類似研究を発展させる意味で意義深い。

研究成果の概要（英文）：In healthy adults standing on their toes, the number of motor unit mobilisations (i.e. the number of motor nerve activities) of the plantarflexor ankle muscles was found to increase when the knee joint was immobilised. This is an event that is not known when muscle activity is combined as a compound action potential and suggests the need for a more detailed study. On the other hand, the activity characteristics of trunk muscle motor units in response to postural maintenance and electrical stimulation in stroke patients could not be verified due to the effect of the new coronavirus.

研究分野：応用健康科学

キーワード：リハビリテーション 理学療法 運動単位 表面筋電図 動作分析 モーションキャプチャ

1. 研究開始当初の背景

脳卒中は全身にわたる運動障害から、要介護原因疾患の第2位を占める（内閣府、2018）。特に体幹は手足よりも動作自立に重要である（Hsieh CL., Stroke 2002）。体幹をまっすぐ保てなくては、ベッドから起き上がることもままならない。しかし、体幹は全身質量の6割を占める上、24もの脊椎が連なった多自由度構造である。重く柔軟な体幹をまっすぐ保つのは難しく、脳卒中に罹患すると異常に脱力あるいは緊張してしまう。一方、異常体幹筋活動の背景としていかに脳卒中患者の神経興奮が変調しているかは未知である。脳卒中の本態が大脳神経回路の変性にも関わらず、従来のリハビリテーションは異常姿勢を是正する身体介助に主眼を置いてきた（Langhorne P., Lancet Neurol 2009）。しかし近年では、障害された大脳から筋に至る神経回路に電磁刺激を加えるニューロモデュレーション治療が開発され（Krames P., Neuromodulation 2009）効果指標として神経変調の定量化が待望されている。申請者は、神経変調を定量化することで、神経学に基づくリハビリテーションへのパラダイムシフトに貢献したいと考えている。

体幹筋に至る神経回路は古くからネコやサルで検証され、運動皮質ではなく脳幹網様体に共通領域が存在する（Lawrence DG., Brain 1968）。しかし、脳幹は大脳深部に存在するため頭蓋上からその電気的興奮を検出できず、ヒト姿勢調節中の検証が困難である。加えて網様体は網目状に複雑な神経回路を形成しており（Humphries MD., Proc Biol Sci 2006）興奮を検出できたとしてもその変調を定量化することは難しい。

そこで申請者は、体幹筋における運動単位の興奮特性を検証することを考えた。運動単位は、一末梢運動神経に支配筋線維を含めた機能単位である（Buchthal F., Physiol. Rev. 1980）。大脳を複雑に経由した運動指令は運動単位に収束するため、体幹筋に対する神経興奮の変調をより適切に感知し得る。

2. 研究の目的

本研究の目的は、体幹筋運動単位の興奮特性を用いて脳卒中患者の姿勢調節における神経変調を解明することである。本研究は、従来注目されてきた異常筋活動ではなく、筋に連なる運動単位に遡って神経変調を直接検証する点が世界で初めてであり、学術的独自性がある。また、脳卒中による大脳組織変性近傍の複雑な神経回路ではなく、末梢に収束する運動単位に焦点を当てることで神経変調の検出可能性を高め、実用面で勝る創造的な研究である。

3. 研究の方法

14名の健康な成人が参加した。5人が女性で、9人が男性であった。年齢は20~39歳（中央値は30歳）であった。すべての被験者がインフォームドコンセントに署名した。各被験者は、快適な速度でつま先立ちを行った。すべての被験者は、ロック式膝関節固定装具を装着した。被験者は、まずロックを外した状態（装具なし）で、次に膝関節をロックした状態（装具あり）で練習をした。すべての被験者は、練習用試技に続いてつま先立ちを成功させた。被験者が最終位置を15秒以上保持できた場合、動作が成功したと判断した。つま先立ちの際、高密度表面筋電図（HDsEMG）装置（Delsys Galileo sensor, Boston, MA, USA）を用いて、足関節底屈筋の活動電位を計測した。この安定化基準電極を収納したセンサー本体を被験者の足関節底屈筋に貼り付けた。5mm間隔で菱形に配置された4つのアクティブ電極を収納するセンサーの頭部は、筋の縦軸に合わせて筋腹の上の皮膚に配置された。HDsEMG信号は、オンボード20-450Hzフィルタリングにより2222.22Hzでサンプリングされ、EMGworks（Delsys Inc.）にストリーミングされ、データ収集中にベースラインのノイズと信号対雑音比がリアルタイムで監視され、高いHDsEMG信号品質を確認した。収集したHDsEMG信号から、動的タスク中の個々のMUの発火挙動を追跡できる分解アルゴリズム（NeuroMapソフトウェア；Delsys Inc.）を用いて、構成MU活動電位（MUAP）波形と発火時間を抽出した。

4. 研究成果

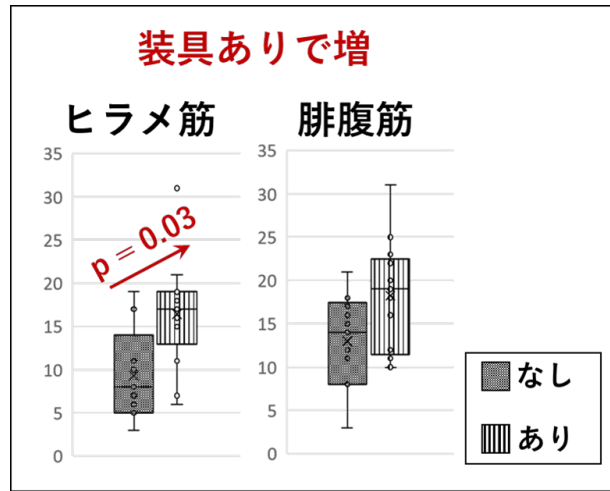


図1

まず、健常成人を対象に、多点表面筋電図（4 つ電極）を用いて、様々な課題における複合活動電位から運動単位の分離を試みた。これにより、脂肪層が厚い筋や、皮膚・筋線維の動きが大きい部位では分離が困難なことを明らかにした。同様に、動作課題も皮膚や筋線維の動きが大きい等張性収縮では運動単位波形が変形しやすく、分離には困難を極めた。また、運動単位の分離が可能であったつま先立ち課題における腓腹筋・ヒラメ筋活動についても、課題反復時の運動単位分離波形の再現性は低いことを明らかにした（わずか 18%）。具体的には、膝関節固定装具着用の有無において腓腹筋・ヒラメ筋の運動単位波形・数ともに有意差が存在した（図 1）。

これらの結果は、4 つ電極における運動単位の分離精度とその適用範囲の明確化に寄与した。4 つ電極では脂肪層の厚い体幹表面筋電図波形から運動単位を分離することは困難であることがわかり、電極数を増やして実際の患者計測への応用可能性を高める必要性も明らかにできた。この結果は、国際学会の proceedings で公刊された。その後、電極数を 4 つから 64 個に増強し、実験課題を準等尺性収縮課題に変更することで、検出する運動単位の精度を飛躍的に高めた。電極数が多くなったにも関わらず、信号を受けるデバイス本体も診療室に搬入できる小型無線式の新規的なものを導入した。これにより、患者への可用性が高まった。患者計測において具体的に得られた研究結果の概要として、急性期脳卒中患者の一部症例で、姿勢保持中に腰背筋に与えた神経筋電気刺激の周波数(50 [Hz])に呼応した運動単位の変調が観察できた。これは、健常成人に見られない反応であった。重症で姿勢保持がままならない者にもこのような対応関係は見られなかったが、比較的軽症例で姿勢保持が自立している者に同様の対応関係が見られたのは貴重な知見であった。運動単位の変調を外部刺激により操作できたのは治療に貢献する知見である一方、それが大規模に検証できなかった点、姿勢反応として外界と調和した形で表象されるか不明な点など課題は残った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hiroki Hanawa, Keisuke Hirata, Keisuke Kubota	4. 巻 1
2. 論文標題 Changes in the behavior of the ankle plantar flexor motor unit due to knee assistance for heel-raise	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/lifetech53646.2022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hiroki Hanawa, Keisuke Hirata, Taku Miyazawa, Keisuke Kubota, Moeka Yokoyama, Yuka Matsumoto, Naohiko Kanemura
2. 発表標題 Behavior of motor units of the triceps surae in orthotic-assisted calf raise
3. 学会等名 Neuroscience 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Hanawa, Keisuke Hirata, Taku Miyazawa, Keisuke Kubota, Moeka Sonoo, Tsutomu Fujino, Yuka Sekiguchi, Naohiko Kanemura
2. 発表標題 Thoracic-pelvic angle at seat-off in the sit-to-stand motion contributes to balance and subsequent muscle activities
3. 学会等名 XXIII International Society of Electrophysiology and Kinesiology (ISEK) Congress 2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------