

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32419

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K17461

研究課題名（和文）脳卒中患者姿勢調節における神経変調パターンと生体力学応答との依存関係分析

研究課題名（英文）Dependency analysis between neuromodulation patterns and biomechanical responses in postural regulation in stroke patients.

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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：まず、脳卒中患者の立ち上がり動作において、腰背筋から麻痺側下肢への力学的エネルギーの流れが存在することを明らかにできた。これは、運動麻痺をかばう動作戦略であると考えられる。また、急性期脳卒中患者の姿勢保持において、腰背筋に電気刺激を加えると刺激に応じた筋活動を変調させる患者が存在した。一方で姿勢そのものに大きな変化はなく、その効果は限定的であった。また、症例が僅少であり、依然追加計測が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳卒中患者の立ち上がり動作における運動麻痺の代償関係を明らかにできたことは、今後のリハビリテーションの発展や装具開発に貢献できる。また、急性期の姿勢保持における電気刺激の効果を明らかにしたことで、急性期から提供できるリハビリテーション領域を拡大できた。前者の結果は論文化されており、一般化と言う点でも貢献度が高かったと考えられる。一方で、後者の結果は小数例に留まっており、追加計測・解析を行うことで社会実装において更に大きなインパクトを与えうる。

研究成果の概要（英文）：First, it was possible to identify the presence of a mechanical energy flow from the dorsal lumbar muscles to the paralysed side of the lower limb in the standing up movement of stroke patients. This is considered to be a movement strategy to protect the motor paralysis. In addition, during postural maintenance in acute stroke patients, some patients modulated muscle activity in response to stimulation when electrical stimulation was applied to the lumbar dorsal muscles. On the other hand, there was no significant change in posture itself and the effect was limited. The number of cases was small and additional measurements are still needed.

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 バイオメカニクス 生体力学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

脳卒中患者にとって、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、ベッドから起きることすらままならない。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(申請者先行研究; 3-(3)業績一覧 4, 5)。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。申請者はまず、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。

様々な脳卒中患者の神経変調を検証しただけでは、リハビリテーション効果指標へ直接応用できない。神経変調の様相は、脳卒中患者ごとに多様なことが予想される。神経変調の結果起こる異常筋活動が、脱力から過緊張まで多様なためである(Sommerfeld DK., Brain 2004)。脳卒中患者の神経変調を是正するリハビリテーションゴールは姿勢保持の安定であり、体幹を支持する筋力と言った生体力学的指標が正常化する必要がある。すなわち、脳卒中患者の姿勢調節における様々な神経変調パターンと生体力学応答との依存関係を明らかにすることが、多様な病態を呈する脳卒中患者のリハビリテーション効果指標確立のために必須である。

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、加えてその神経変調パターンと生体力学応答との依存関係を解明することである。

3. 研究の方法

【研究1】

10人の脳卒中患者と10人の健常成人が研究に参加した。彼らは、椅子からの立ち上がり動作を行った。3次元動作解析装置を用いて体節運動を捕捉し、関節運動および関節モーメントを算出、更に力学的エネルギー消費量を算出した。

【研究2】

5名の急性期脳卒中患者が研究に参加した。1. 被験者は端座位を取る(5分間)。初期姿勢、体幹伸展筋力、運動単位の動員数および発火頻度を計測する。2. 神経筋電気刺激装置にて腰背筋に刺激を加える(5分間)。この時、姿勢と運動単位の動員数および発火頻度を計測する。3. 刺激後、端座位を継続する(5分間)。4. 終了姿勢、体幹伸展筋力、運動単位の動員数および発火頻度を計測する。5. 休憩(10分間)後、同様の計測を、随意体幹伸展条件下で繰り返す。

4.1.5. データ解析手法

各介入・各アウトカムについて、介入前後の差を統計学的に比較する。神経学的変化と生体力学的変化を併せて比較検討し、介入が有効(生体力学的アウトカムの正常化)な群と、そうでない群を弁別し、神経学的パラメータの動向からその理論的妥当性を考察する。

4. 研究成果

【研究1 脳卒中患者の立ち上がり動作における体幹運動の力学的的重要性】

我々は、全身の機械的エネルギー消費量が、健常成人と脳卒中患者で差が無いことを明らかにした。この結果は、代謝エネルギー消費について検証した先行研究の結果と一致した。先行研究では、脳卒中患者では運動障害により効率的な運動が行えなくなり、動作時の代謝あるいは機械的エネルギー消費量が増加すると仮説立てていた。そのため、立ち上がり動作において、健常成人と脳卒中患者との間で代謝エネルギー消費量に差がなかったことは彼らの仮説に反していた。先行研究ではこの理由を明らかに出来ず、課題として記載された。我々の研究は、このメカニズムに迫った点で価値がある。以下に詳細に述べる。

全身での結果とは異なり、関節ごとの機械的エネルギー消費量は、脳卒中患者で特徴的だった。麻痺側の股関節と腰関節における機械的エネルギー消費量が大きく、対照的に膝関節では

小さかった。この結果は、麻痺の軽度な近位関節から、重度な遠位関節への機械的エネルギー伝達を示唆する。特に屈曲相の結果はこの考察を支持した。また、屈曲相からの流入と思われる股関節の大腿での機械的エネルギー消費量増大が伸展相で観察された。すなわち、全身の機械的エネルギー消費量が健常成人と脳卒中患者で差がない理由の1つとして、麻痺肢の中での代償メカニズムを我々は新たに明らかにした。

本結果のような代償関係は他の動作でも存在している。例えば、歩行中の機械的エネルギー消費についての先行研究では、麻痺側膝関節で小さく、非麻痺側足関節で大きかった。この結果について先行研究では、身体を支える役割を持つ膝関節筋の機能を、反対側で身体を推進させる足関節筋の機能によって補ったためとした。歩行は両側肢間で代償関係が存在したが、今回明らかにした立ち上がり動作では麻痺肢内で存在した。歩行とは異なり、立ち上がり動作では身体を支える役割を持つのは膝関節筋だけでなく、腰部・股関節筋も存在したためではないか。この考察を補強する先行研究として、変形性膝関節症の患者の立ち上がり動作に関する研究がある。彼らは筋骨格系の異常により膝関節伸展機能が低下しており、やはり股関節での機械的エネルギー消費量を増やしていた。加えて、脳卒中後の運動麻痺の特徴として、近位筋よりも遠位筋で重症である。特に体幹は脳の両側から神経支配を受けるため、下肢よりも重症化しづらいと言われる。

重要なのは、この代償関係は動作中の特異的な関節およびシーンで観察されることである。このような知見は、今後のリハビリテーションやデバイス開発にとって貴重な示唆となり得る。

【研究2 急性期脳卒中患者の背筋電気刺激に対する運動単位の反応】

計測は進められたものの、症例数は5例に留まり統計学的解析には進めなかった。成果発表についても、予備検討結果について学会で発表するにとどまった。

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発調が観察できた。これは、健常成人に見られない反応であった。一方で、姿勢反応として計測した体幹の傾斜角度や座圧の左右対称性には刺激前後で明確な違いは観察できなかった。重症例であると、多少の神経発調では、外界の重力環境とマッチした姿勢として表象はされなかった。対照的に比較的計症例でも神経発調を促せたが、そもそも姿勢としては正中位に近く刺激前後での違いを見いだせなかった。

依然少数症例での検討であるため、今後症例数の増大、重症度ごとの層分けを行っていくことである傾向が見えてくる可能性がある。神経発調がもたらす力学的効果をもって、本研究は目的を達成し得る。研究費用を利用した実験機器の購入については満了したものの、費用が掛からない形での患者計測・論文発表については期間満了後も継続する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hanawa Hiroki, Hirata Keisuke, Miyazawa Taku, Kubota Keisuke, Yokoyama Moeka, Matsumoto Yuka, Fujino Tsutomu, Kanemura Naohiko	4. 巻 16
2. 論文標題 Classification of abnormal muscle synergies during sit-to-stand motion in individuals with acute stroke	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement: Sensors	6. 最初と最後の頁 100055 ~ 100055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.measen.2021.100055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hanawa Hiroki, Hirata Keisuke, Kubota Keisuke	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/LifeTech53646.2022.9754744	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 2件）

1. 発表者名 Hiroki Hanawa, Keisuke Hirata, Keisuke Kubota
2. 発表標題 Changes in the behavior of the ankle plantar flexor motor unit due to knee assistance for heel-raise.
3. 学会等名 The 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2022) (国際学会)
4. 発表年 2021年

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

〔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
---------	---------