

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：82404

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K19572

研究課題名（和文）立位バランス学習を加速する非侵襲的脳刺激法の理解

研究課題名（英文）A Potential of Non-invasive Brain Stimulation for Balance Impairment.

研究代表者

藤尾 公哉 (Fujio, Kimiya)

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所 運動機能系障害研究部・研究員

研究者番号：50778941

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：近年、立位制御という無意識に実行される系においても、大脳皮質が大きく貢献している。本研究では、立位バランス課題中の脳の賦活レベルに注目し、ニューロモデュレーション法（経頭蓋直流電気刺激：tDCS）の効果が脳の活動状態に応じて異なるか明らかにすることを目的とした。今回の研究期間では、立位バランスの変化に対して鋭敏に反応する指標を明らかにすることを目標に、課題の難易度に応じた脳波の変化について調べた。その結果、バランス要求の増大に伴い、 α / low- β 帯の振動が減衰すること、脳運動関連領域と下肢筋活動の連結強度が増大することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに多くの研究によって、姿勢制御における大脳皮質の関与が証明されてきた。本研究では、近年、動的課題に対しても適用範囲が広がった脳波計測によって、バランス要求の異なる条件間の脳活動の違いを検証した。数十秒にわたる脳波の律動と、十ミリ秒スケールの動的な変調を区別して検討することで、安定した立位に置いても姿勢動揺に合わせて脳活動が変調していることを示した点は、ヒト姿勢制御の神経機序に関する新しい学術的知見になると思われる。今回、明らかにした知見をもとに、ニューロモデュレーション法の適用判断に応用を進めることで、立位バランス障害の治療介入という側面において社会的意義を持つものになると期待できる。

研究成果の概要（英文）：It has been known that cortical involvement is indispensable for a neural control of human standing. The main purpose of this study was to clarify whether effects of non-invasive brain stimulation, especially transcranial direct electrical stimulation, for balance impairment depend on a brain state that would be divergent due to an individual stability. To this end, current study investigated effective indicators for an estimation of the brain state during balance tasks by using EEG. We found that oscillatory power at α and low- β bands were more decreased when requiring a higher postural demand, and that neural connectivity between cortical activities in motor area and lower-limb muscle.

研究分野：運動制御

キーワード：脳波 姿勢制御

1. 研究開始当初の背景

立位バランス制御の神経機序を明らかにすることは、高齢者や障害者の転倒予防を実践する上で重要な課題である。これまでの研究で、無意識に調節される姿勢制御においても、随意運動の場合と同様に、文脈に応じて即座に応答性を切り替える脳のダイナミクスが不可欠であることが示唆されてきた。近年では、このような脳応答性の調節の仕組みを非侵襲的に修飾し、立位バランスを向上させる手法が提案されつつある。特に、経頭蓋直流電気刺激は、上肢運動をはじめとした肢節運動の学習において高い有効性が認められており、バランス学習に対する応用が期待されている。

ところが、先行研究を紐解くと、腕リーチングなどの比較的単純な運動課題とは異なり、多関節協調運動を基礎とする立位制御では、経頭蓋直流電気刺激の介入効果が一致しない。この問題に対して、本研究では、個人間で生じうる立位バランス課題中の脳状態の違いに着目した。立位制御における大脳皮質の貢献は、要求されるバランスの負荷量に依存して増減するとされている。そのため、同一の不安定環境であっても、対象のベースラインの能力に応じて、脳の賦活レベルに個別性が生じる可能性がある。経頭蓋直流電気刺激を与える前の脳活動状態に応じてその効果が異なるとすれば、画一的な手続きでは結果が一致しないことが想定される。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、立位バランス制御時に応答する脳の賦活状態に応じて、経頭蓋直流電気刺激によるバランストレーニングの促進効果が異なるかを明らかにすることである。この目的を達成するために、本研究期間では、立位バランスの変化に対して鋭敏に反応する脳波の指標を明らかにすることを目標に据え、姿勢要求の違いに応じた脳波の変化について調べた。

3. 研究の方法

健常成人 15 名(男性 13 名、女性 2 名)を対象として、異なる姿勢条件中の脳波を計測した。椅子座位、二足立位、片脚立位、木片上立位(前後幅 7.5cm)の 4 条件を実験課題に設定し、各条件で 32 チャンネル脳波計測・下肢筋活動計測・光学式 3 次元動作計測を実施した。各条件 1 分間×8 セットのデータを集録し、計測区間の 50 秒を解析対象とした。得られた脳波信号に対して、独立成分分析を施した後、全解析対象区間を対象として、周波数解析を行った。さらに、動作計測データをもとにした重心動揺の時系列データから、前後動揺のピークタイミングを基準として、姿勢動揺に応じた事象関連スペクトラム摂動(ERSP)・脳波信号間位相同期・脳波-筋位相同期の変化を調べ、条件間で比較した。

4. 研究成果

全般的なパワースペクトル密度は、運動感覚領域において、(8-13Hz)/(13-30Hz)/low-(30-40Hz)帯のパワー値が、片脚・木片の 2 条件で、座位・立位条件よりも有意に減衰していた。また、前後動揺に応じた動的变化について、前方・後方ピークに先立ち筋活動の開始タイミングに合わせて、頭頂後頭領域の /low- 帯 ERSP が、立位・片脚・木片条件で、座位条件よりも有意に減少していた。この時、動揺方向に対して、姿勢の補償に作用する筋(前方：内側腓腹筋、後方：前脛骨筋)と前頭領域の脳波との位相同期が、二足・木片条件で、座位・片脚条件よりも

有意に増大していた。また、脳波信号間位同期については、二足・片脚・木片条件において、座位条件よりも帯の結合で有意な低下が認められ、これは前後ピークのタイミングに関わらず持続的であった。

上記の結果をまとめると、姿勢要求が高まる際に、運動制御に関わる β 帯のパワーが減衰すること(運動関連領域の活動上昇)、同時に、注意シフトなどの認知機能および感覚処理に関わる帯の活動が減衰すること(認知・感覚情報に対するゲーティング)、姿勢補償を達成するために

運動関連領域の活動が短時間で動的に変調していることが示唆された。これらのことは、姿勢課題中に観察される脳波が、姿勢要求の増減に応じたベースラインの変化と、動揺の補償に伴う動的変化の両者を統合したものであることを示している。それぞれの脳波変数を区別して検討することが、立位バランスの変化を感度良く捉えるために重要であると考えられる。上記の指標をもとに、今後は経頭蓋直流電気刺激による立位パフォーマンスの向上と脳波変調の関係を明らかにする検証を進める。

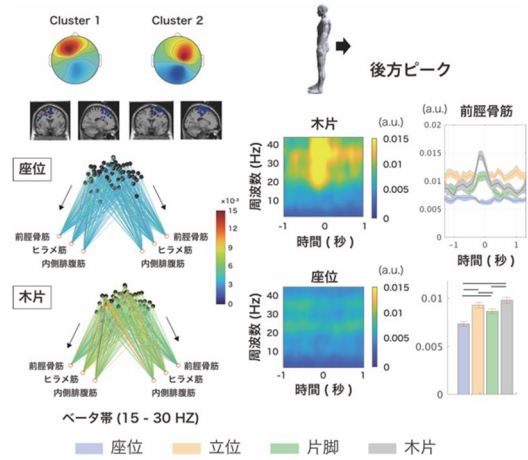


図 1. 脳波独立成分と下腿筋の結合強度の動的変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kimiya Fujio, Yahiko Takeuchi	4. 巻 11
2. 論文標題 Discrimination of Standing Postures between Young and Elderly People Based on Center of Pressure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific report	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-80717-z	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 Yahiko Takeuchi, Kimiya Fujio, Takeshi Inagaki, Ryo Fukata, Ryota Kuroiwa, Atsushi Murata	4. 巻 32
2. 論文標題 Age-related changes in standing ability on a foam surface based on the center-of-mass acceleration of each body segment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Therapy Science	6. 最初と最後の頁 566-569
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/jpts.32.566	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 Yahiko Takeuchi, Kimiya Fujio, Ryo Fukata	4. 巻 38
2. 論文標題 Characteristics of Head Center of Mass Sway and Neck Flexor Activity During Compensatory Backward Stepping in the Elderly	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biomedical Journal of Scientific & Technical Research	6. 最初と最後の頁 30394-30399
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.26717/BJSTR.2021.38.006157	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤尾 公哉, 竹内 弥彦
2. 発表標題 立位中の足圧中心動揺から若年者と高齢者を識別する
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内 弥彦、藤尾 公哉
2. 発表標題 高齢者の側方ステップ反応における頸部モーメントと股関節角速度との関連性
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤尾 公哉, 竹内 弥彦
2. 発表標題 下肢関節間協調にあらわれる立位制御の加齢変化
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤尾 公哉, 武田 賢太, 河島則天
2. 発表標題 少数電極によるロボット歩行トレーニング中の脳波計測 独立成分分析クラスタリングによる妥当性の検討
3. 学会等名 第51回日本臨床神経整理学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤尾 公哉
2. 発表標題 脳活動から立位制御をとらえる 姿勢の安定は脳波に反映されるか?
3. 学会等名 第30回埼玉県理学療法学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤尾 公哉, 竹内 弥彦
2. 発表標題 加齢がもたらす立位時の下肢関節間協調の変化
3. 学会等名 第18回姿勢と歩行研究会
4. 発表年 2022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
研究協力者	武田 賢太 (Takeda Kenta)		
研究協力者	竹内 弥彦 (Takeuchi Yahiko)		

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
---------	---------