

令和元年6月18日現在

機関番号：22501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18370

研究課題名(和文) 二足立位を制御する予測の神経基盤

研究課題名(英文) Neural mechanisms for prediction of postural perturbation

研究代表者

藤尾 公哉 (FUJIO, KIMIYA)

千葉県立保健医療大学・健康科学部・助教

研究者番号：50778941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、姿勢反応の調節に貢献する外乱予測時の脳活動の変調を明らかにすることを目的とした。脳波計測による検討の結果、外乱発生のタイミング情報を付与することで、運動感覚野の異なる周波数帯で準備活動が生じることがわかった。同時に、位同期解析により同領域において大域的な同期が上昇することが観察された。これらの結果は、予測情報に基づき中枢神経系が短時間のうちに脳領域間の連結を変容し、外乱に対する応答性を事前調節していることを示唆している。研究期間において、関連する研究成果が2本の国際誌に掲載された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、姿勢制御という無意識に実行される系においても、脳が極めて重要な役割を果たしていることが明らかとなっている。本研究では、局所的な神経経路の応答性を変調することが報告されている外乱予測について、より大域的な脳活動に対する影響を検討した。本研究の成果は、ヒト姿勢制御の神経機序に関する新たな学術的知見を提供するとともに、高次の神経活動と立位安定性の関係に迫る基礎研究としての意義を持つと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study investigated changes in brain activity with a prediction of postural perturbation. The results of the EEG experiment demonstrated that temporal information about perturbation onset arises from preparatory actions in the sensorimotor area, while standing. Phase synchronization analysis revealed that these changes are accompanied by increments of the connectivity among a wide range of brain based on the phase synchrony. Two papers regarding this study were published in this period.

研究分野：身体運動科学

キーワード：姿勢反応 予測 外乱 脳波

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒト姿勢反応は、つまずきや衝突などによる不意の姿勢動揺から転倒を回避する防衛機構としての役割を果たす。この反応は、従来、大脳皮質下で処理される「反射」の1つと考えられてきたが、現在では、運動野を含む多重の神経基盤のもとに成立することが明らかとなっている。近年の運動制御理論では、中枢神経系に備わるこのフィードバック機構が、感覚入力「予測」を利用することを証明している。多くの検証は、腕リーチングなどの随意運動を対象としてすすめられてきたが、無意識下に実行される姿勢制御の神経機構においても、外乱の事前情報を活用していることが示されてきた。中でも、姿勢動揺の発生タイミングに関する事前情報は、反射性筋活動および重心動揺に対する重要な調節要因の1つである。

これまでの研究において、この外乱のタイミング情報が姿勢の調節に貢献する事実が立証されてきた一方で、これに関与する神経基盤については不明な点が多い。いくつかの研究では、運動野およびそこから下降する局所の神経経路(皮質脊髄路)が、タイミング情報に応じて応答性を調節することを報告している。しかしながら、これらの研究では、いずれの脳領域が外乱のタイミング情報を処理して、最終的に運動野の応答を決定しているかについては不問であった。この神経基盤を特定することは、二足立位を可能にする神経メカニズムを解明する上で、重要な学術的知見になると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、姿勢外乱のタイミング情報が、いずれの脳領域を賦活するか同定することである。これによって、姿勢反応の調節に貢献する神経基盤の解明に迫る。

3. 研究の方法

健常成人13名(男性10名、女性3名)を対象として、静止立位中に姿勢外乱を印加して姿勢反応を誘発する実験を行った。本研究では、急激なプラットフォーム移動が可能な装置を用いて、立位中に床面を前方移動させることで姿勢外乱を負荷した(図1)。外乱のタイミング情報として、外乱発生の2秒前に事前情報(ピープ音)を付与した(図2)。本実験では、外乱の前後で、脳波・下肢筋電値・床反力を計測し、試行開始から外乱が印加されるまでの準備相の脳活動を解析対象とした。各チャンネルの脳波信号に対して時間周波数解析および位相解析を施し、変調の認められた部位についてチャンネル間の同期を調べた。

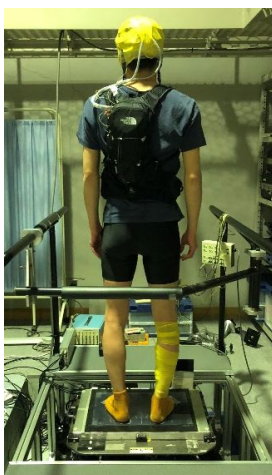
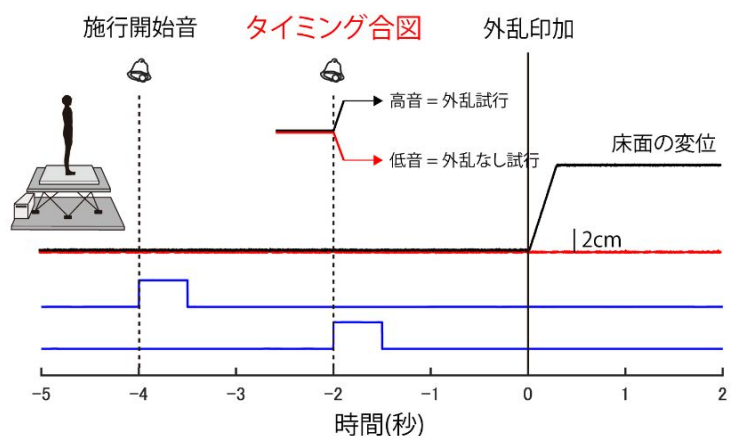


図1. 姿勢外乱装置

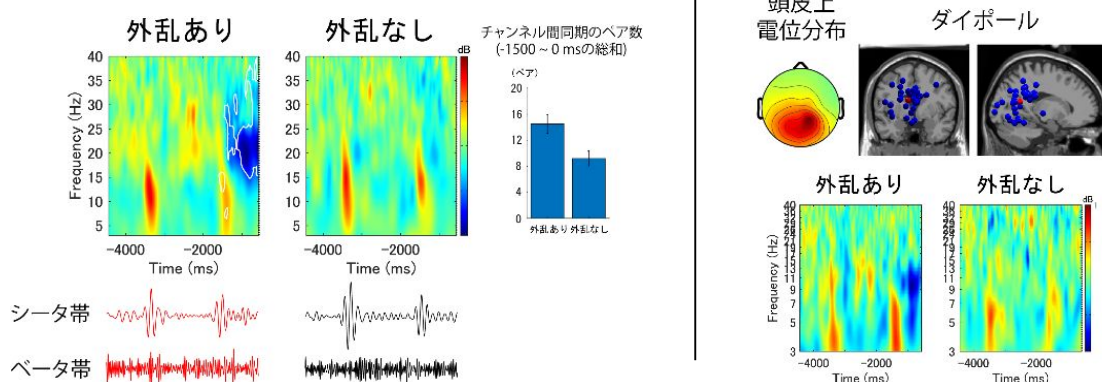


■ 外乱印加の2秒前にタイミング合図を付与した。外乱あり試行となし試行をランダムに実施した。また、その2秒前には試行開始音を与えた。

図2. トライアルのタイムスケジュール

4. 研究成果

姿勢反応を課題としたこれまでの脳波研究では、外乱負荷後に誘発される事象関連電位の検証が主であった。本研究では、外乱準備相における脳波周波数特性について着目し、頭頂部チャンネルにおいてタイミング情報付与後のシータ帯域の活動増加およびその後のアルファ帯域とベータ帯域の減衰を観察した。低周波帯域の脳活動リズムは知覚・認知の過程に関連し、他方、より高周波帯域(13Hz以上)の脳活動リズムは運動機能に関わることが知られている。今回観察された変化は、この知見に一致し、外乱に対する時間的な予測と、姿勢反応の運動準備を反映した活動と考えられる。さらに、感覚野領域におけるベータ帯域の減衰は、皮質脊髄路興奮性の応答性の増大に関連することが示唆されており、タイミング情報によって同経路の応答性が増大する報告とも合致する結果と考えられる。また、減衰期間におけるアルファ・ベータ帯域のチャンネル間位相同期の検証では、外乱の予測に伴い、運動感覚野において大域的な位相同期の上昇が観察された。これは外乱の時間的な予測に伴う脳領域間の連結の変化を反映するものと考えられる。最後に、脳波信号の独立成分に対する信号源推定により、運動感覚野領域に分布される電位変化として、後部帯状回が抽出された。この部は自己参照に関わる領域で、ここを経由するネットワークの変化が、皮質脊髄路の応答性に影響を及ぼし、最終的に姿勢反応の調節に關与する可能性が想定された。



(左) 図3. Pzの時間周波数パワー、加算平均波形、チャンネル間同期のペア数

(右) 図4. 独立成分の頭皮上電位分布および信号源と時間周波数パワー

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

K. Fujio, H. Obata, K. Kawashima, K. Nakazawa, Presetting of the Corticospinal Excitability in the Tibialis Anterior Muscle in Relation to Prediction of the Magnitude and Direction of Postural Perturbations, *Frontiers in Human Neuroscience*, 13(4), 2019.

K. Fujio, H. Obata, T. Kitamura, K. Kawashima, K. Nakazawa, Corticospinal Excitability is modulated as a function of postural perturbation predictability, *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(68), 2018.

大谷拓哉、三和真人、雄賀多聡、竹内弥彦、高杉潤、太田恵、藤尾公哉、起き上がり動作における関節運動の分析、*理学療法科学*、2018, 33(4), 713-718

大谷拓哉、三和真人、雄賀多聡、竹内弥彦、高杉潤、藤尾公哉、体幹回旋を伴う床からの起き上がり動作における関節運動の分析、*千葉県立保健医療大学紀要*、2019, 10(1), 51-59

[学会発表](計6件)

K. Fujio, H. Obata, T. Kitamura, N. Kawashima, K. Nakazawa: Prediction of postural perturbation modulates the corticospinal excitabilities in the ankle muscles,

Society for Neuroscience, KK21, 11, 2017. (Washington D.C., USA)

藤尾公哉、河島則天、足圧中心動揺に基づくヒト立位姿勢の分類、第 24 回千葉県理学療法士協会学術大会、044、千葉、3 月・2019 年

竹内弥彦、藤尾公哉、支持基底面の狭小条件下における高齢者の体節別質量中心動揺の特性、第 24 回千葉県理学療法士協会学術大会、P100、千葉、3 月・2019 年

竹内弥彦、藤尾公哉、高齢者のステップ反応出現時における圧中心の逆応答 距離と股関節モーメントとの関連性、第 23 回日本基礎理学療法学会学術大会、010 - 5、京都、5 月・2018 年

竹内弥彦、藤尾公哉、支持基底面の狭小条件下における高齢者の脊柱形態と頭部動揺との関連性、日本生理人類学会第 78 回大会、01-4、東京、10 月・2018 年

藤尾公哉、小幡博基、喜多村拓、河島則天、中澤公孝、外乱予測に応じた足関節底背屈筋の皮質脊髄路興奮性の事前調節、第 52 回日本理学療法学会学術大会、0-KS-18-5、千葉、5 月・2017 年