

令和 6 年 6 月 30 日現在

機関番号：33305

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06846

研究課題名(和文) 動的立位保持時の筋活動抑制に効果的な外乱負荷法の検討

研究課題名(英文) The investigation of an effective floor perturbation method for reducing muscle activity while maintenance of dynamic standing

研究代表者

清田 直恵 (Kiyota, Naoe)

金沢学院大学・スポーツ科学部・准教授

研究者番号：90559189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、初めに種々の傾斜角度における床傾斜刺激時の姿勢応答を検討し、その知見をもとに、一過性後方床移動後の足尖が上昇する床傾斜時の筋活動抑制に効果的な外乱刺激法を明らかにしようとした。傾斜刺激に対する大きな姿勢変位は、最初の1,2試行のみ認められた。外乱を予測できない状況でも、7,10度の傾斜角では、姿勢の後方変位および初期の筋活動を適応的に小さくできたが、背屈可動域付近の13度傾斜は適応できないほど大きな刺激強度であった。この角度で後方床移動後に床を傾斜させると、筋活動の適応的減少が特にGcMで認められた。体幹筋では個人差が大きく、外乱時の姿勢制御様式によって異なる可能性が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、後方床移動外乱の繰り返しにより下腿三頭筋における伸張反射活動が高まっている状態で、個人の足関節背屈可動域の上限角度の傾斜刺激を負荷することにより、筋活動の適応的抑制が認められることが示唆された。これは、反射のような自動性の極めて強い身体応答であっても、それを抑制せざるを得ないような状況を作り出すことによって、適応的に変化させることができることを意味する。これは、動的立位での筋緊張の抑制手法の開発につながると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we first investigated the postural response to floor tilt stimulation at various tilt angles, and based on the findings, we tried to clarify an effective perturbation method for reducing muscle activity during the toes-up tilt after a transient backward floor movement. Large postural displacement in response to the tilt was observed only in the first 1 and 2 trials. Even in a situation where the perturbation was unpredictable, the backward displacement of posture and initial muscle activity could be adaptively reduced at tilt angles of 7 and 10 degrees, but the stimulation intensity of 13 degrees near the dorsiflexion range of motion was too large to adapt to. When the floor was tilted after a backward floor movement at this angle, an adaptive decrease in muscle activity was observed, especially in GcM. There was a large individual difference in the trunk muscle activity, suggesting that this may depend on the postural control pattern against the perturbation.

研究分野：運動生理学

キーワード：姿勢制御 床傾斜 後方床移動 適応的抑制 筋活動

## 1. 研究開始当初の背景

適切な運動機能や認知機能を発揮するには、状況に応じて脳の活動水準を調節することが重要となる。このような行動の支援系として、中枢神経系の賦活・抑制機構が考えられてきた (Morruzi and Magoun, 1949; Coull, 1998)。我々は、基本的動的姿勢の一部である頸部前屈姿勢を保持することにより、頸背部筋からの筋感覚情報が脳幹網様体を介して中枢神経系全体を賦活することを強く示唆する神経生理学的知見を多く得てきた (Fujiwara et al., 2001; 2003; 2009; 2012, Kiyota and Fujiwara, 2010)。さらに近年、我々は、このような賦活作用に相反する機能である抑制作用について、Nashner (1976) が提案した下腿筋伸張反射の適応的抑制に着目し、検討を重ねている (清田, 若手 B; 清田と藤原 2015)。

適応的抑制とは、立位において、足関節が背屈するような支持面の移動 (床の水平後方移動、ないしつま先が挙上するような (toe-up) 傾斜 (図 1)) が、後方移動から傾斜に切り替わった場合に下腿三頭筋で見られる現象である (Nashner, 1976)。水平床移動によって誘発される下腿三頭筋の伸張反射は、前方に姿勢を元に戻すために有用な応答であるのに対し、toe-up 傾斜刺激に伴う伸張反射は、さらなる後方への姿勢の崩れを引き起こし、姿勢の安定化にとっては不適切である。そのため、外乱が傾斜刺激に切り替わると、下腿三頭筋の伸張反射応答が適応的に抑制される。この適応的抑制は状況依存性適応であり、脊髄より上位の中枢が関わるものと考えられる (Travis, 1945; Nashner, 1976)。種々の筋緊張抑制手技のうち、上位中枢が関与する随意的手法の方が効果的である (Sharman et al., 2006)。下肢の局所筋の随意的筋弛緩が上肢筋の興奮性を低下させる (Kato et al., 2016) という知見は、上位中枢が関与するような筋活動抑制が、身体の他の部位に広く波及する可能性を示唆する。それゆえ我々は、上位中枢を介する適応的抑制は、大腿や体幹筋にも波及するとの仮説を立て、実際にそれを示唆する知見を得た (清田, 若手 B; 清田と藤原 2015)。また、筋活動の抑制は、傾斜外乱が急速で大きいほど顕著であることも観察された。一方で、これらの筋活動の抑制現象は個人差が大きく、かつ先行研究 (Nashner, 1976) ほど明確ではなかった。我々は、全身性の抑制作用を確実に引き起こすには、不適切な姿勢応答をより強力に抑制せざるを得ない状況を作り出すことが必要ではないかと考えるに至った。さらにそのような強い抑制作用は、種々の中枢神経系にも影響するかもしれない。

以上を証明するためには、第一に、外乱刺激強度を詳細に検討する必要があるだろう。身体の活動状態が高いほど、それを抑制させる必要性は高まる。つまり傾斜前の一過性外乱による筋活動状態も、その後の傾斜時の抑制に影響すると考えられる。すなわち、床移動外乱と床傾斜外乱の両者の負荷強度 (大きさ、速度) を考慮する必要がある。加えて、外乱刺激対象の同定も重要である。通常の場合、足関節に遅れて身体上部へと影響が及ぶ。そのため、下腿三頭筋への刺激が全身へ影響するのか、あるいは身体上部への刺激も要因となりうるのかが不明確である。そこで同時体幹負荷と足関節以外の下肢・体幹固定 (Fujiwara et al., 2015; 2016) という 2 つの観点を取り入れる。単関節固定と多関節固定を比較することにより、適応的抑制の状況に応じた変化も検討できよう。中枢神経系の活動状態は、眼球運動反応時間や各種誘発電位、近赤外線分光法等を用いて評価できる (Fujiwara et al., 2001; 2003; 2009; 2012, Kiyota and Fujiwara, 2010)。加えて、脊髄の興奮性を H 反射 (Yamaguchi et al., 2013) で、脳幹の興奮性を後耳介筋反応 (Fujiwara et al., 2005) で評価することにより、中枢神経系の活動状態を階層別に明らかにできるだろう。

## 2. 研究の目的

本研究では、一過性後方床移動後の toe-up 床傾斜時の全身性の筋活動抑制に効果的な外乱刺激法を明らかにすることを目的とした。本研究は、2 つの実験からなる。実験 1 において、傾斜角度の影響について検討した。その角度をもとに、実験 2 にて一過性後方床移動後の toe-up 床傾斜時の筋活動について検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 被験者

実験 1 において、被験者は健常若年成人 12 名 (男性 7 名、女性 5 名) である。彼らの年齢、身長、体重、足長の平均値及び標準偏差 (SD) は、それぞれ 20.8 (0.9) 歳、167.0 (6.4) cm、62.0 (8.6) kg、25.1 (1.0) cm であった。

実験 2 において、被験者は健常若年成人 6 名 (男性 3 名、女性 3 名) である。彼らの年齢、身長、体重、足長の平均値および標準偏差 (SD) は、それぞれ 29.5 (8.8) 歳、165.3 (8.8) cm、62.5 (10.3) kg、24.9 (1.6) cm であった。

### (2) 装置およびデータ記録

前後方向の圧中心 (CoPap) の測定に床反力計 (FPA-34) を用いた。CoPap 位置を知らせるため

に、自作のブザー発生器に送った。本装置では、安静立位姿勢(QSP)の平均位置 $\pm 1$  cm内にCoPapが位置するときにブザー音を発生させることができる。床反力計は、2つのコンピュータ制御式電気モーターによって前後方向の水平移動と傾斜が可能な台上に固定した。このモーターにより、床移動および床傾斜の方向、速度、振幅を制御した。後方床移動刺激の速度および振幅は、我々の先行研究(Fujiwara et al., 2012)を参考に、被験者ごとに定めた。床傾斜刺激の速度は $30^\circ/\text{sec}$ とした。実験1において、床傾斜角度は、7度、10度、13度、-7度とした。実験2において、床傾斜角度は、被験者の背屈可動域の角度とした。ハーネスを、被験者が倒れないようにするために使用した。天井の梁から前後に垂らしたロープをハーネスに取り付けた。ロープとハーネスは、カラビナを介して固定した。

筋電図(EMG)は、銀塩化銀表面電極を用いて、双極導出にて、以下の筋から記録した：身体左側の脊柱起立筋(ES)、大腿直筋(RF)、大腿二頭筋(BF)、前脛骨筋(TA)、腓腹筋(GcM)。電極貼り付け部位の皮膚を脱毛し、アルコールにて清拭した後、電極を貼り付けた。電極の入力抵抗は5 k $\Omega$ 未満とした。

以上の電気信号は、A/D変換器を介して、サンプリング周波数1000Hz、分解能16ビットにてコンピュータ(SOLUTION, iiyama)へ送られた。

### (3) 手順

測定に先立ち、被験者が上肢を胸の前方で組んだ状態で安静立位(QSP)を保持している間に、CoPapの位置を10秒間、3試行計測した。試行ごとの平均値を求め、3試行の平均をQSPにおけるCoPap位置として採用した。

次に被験者は、床反力計上での外乱刺激に対する立位保持課題を遂行した。被験者は初め、立位位置を知らせるブザー音を手がかりに、傾斜の回転軸上にQSP位置を保持した。その後、ランダムなタイミングで、床外乱刺激が負荷された。被験者は、外乱の開始までQSP位置を保持し、床の外乱刺激に対して足の位置を変えずに立位を保持するよう指示を受けた(図1)。

実験1における外乱刺激は、前後方向の傾斜とした。1セットにおいて、床傾斜刺激を5試行 $\times$ 4セットの計20試行実施した。床傾斜角度は、前方(-7度)、後方(7度、10度、13度)の4種とし、その順序は20試行でランダムとした。被験者の側には験者を1名配置し、転倒に配慮した。セット間には座位にて休憩を挟んだ。測定後に、長坐位にて随意的に足関節背屈を行わせ、その角度を東大式関節角度計にて計測した。

実験2における外乱刺激は、後方移動と前後方向の傾斜とした。最初の3~8試行は後方床移動刺激とし、その後床傾斜刺激を5試行実施した。後方床移動から床傾斜に切り替わる試行タイミングはランダムとした。測定に先立ち、立位にて随意的に足関節背屈を行わせた。その背屈角度を測定し、傾斜角度として採用した。

### (4) 分析

全てのデータ分析は、BIMUTASソフトウェア(Kissei Comtec Japan)を用いて行った。

実験1において、分析対象は、後方傾斜試行のみとした。CoPapについては、刺激前500ms間の平均立位位置、傾斜後の前方ピーク(前方変位)と後方ピーク(後方変位)について分析した。筋電図については、刺激後200msまでに認められたバースト活動の平均振幅について分析した。

実験2において、分析対象は、後方床移動の最終試行および床傾斜の全5試行とした。刺激後200msまでに認められた筋電図のバースト活動について、活動の開始時点とピーク時点を同定し、その間の平均振幅を求めた。それを外乱直前100ms間の平均振幅で除した。

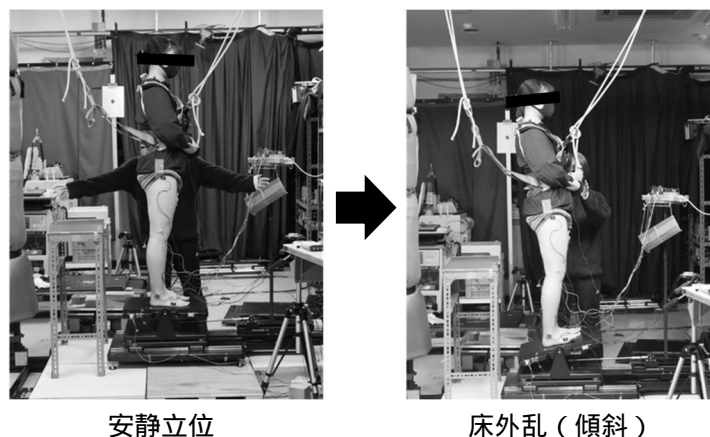


図1 実験セットアップ

#### 4. 研究成果

##### 【実験1】

CoPap について、20 試行での変化を検討すると、刺激前の立位位置に試行の影響は認められなかった。傾斜後の前方変位は、3 試行目以降で、1 試行目よりも有意に小さくなった。それに続く後方変位は、2 試行目以降で、1 試行目よりも有意に小さくなった。刺激前の立位位置は、傾斜後の前方変位との間に有意な相関 ( $r=-0.45$ ) を示したが、後方変位との間には相関関係が認められなかった。角度別に試行変化を検討すると、前方変位 (図2) は、いずれの角度においても、試行による有意な違いは見られなかった。後方変位 (図3) は、13 度では試行による有意な変化が認められなかった。7 度と 10 度では、試行に伴い小さくなり、4 試行目以降で有意差が認められた。筋活動の平均振幅は、GcM では、10 度および 7 度において、第 1 試行に比べて第 5 試行で有意に減少した。BF では 10 度において、第 1 試行に比べて第 5 試行で有意に減少した。13 度では、GcM および BF とともに、有意な変化が認められなかった。足関節背屈角度は、右が  $13.6 \pm 2.8$  度、左が  $13.6 \pm 3.1$  度であった。

実験 1 の結果は、以下のようにまとめられる：1) 刺激前の立位位置は、床傾斜に伴う初期の前方変位にのみ影響し、その後の後方外乱には影響しない；2) 20 試行のうち、大きな姿勢外乱は最初の 1, 2 試行にのみ認められる；3) 外乱を予測できない条件であっても、7 度および 10 度傾斜では、後方外乱および初期の筋活動を適応的に小さくできたが、背屈可動域付近の 13 度傾斜ではできなかった。この知見をもとに、実験 2 では傾斜角を各被験者の背屈可動域に応じて設定した。

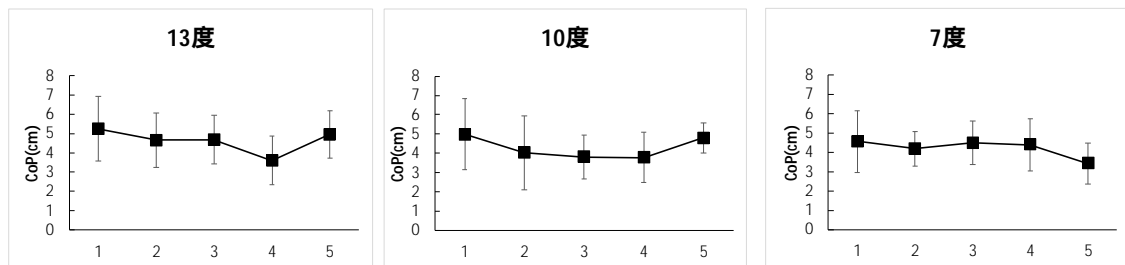


図2 床傾斜外乱に対する CoPap 前方変位の角度別変化

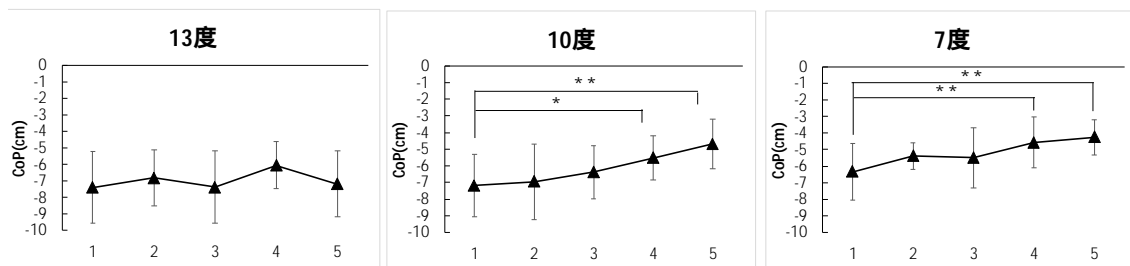


図3 CoPap の前方変位に続く後方変位の角度別変化

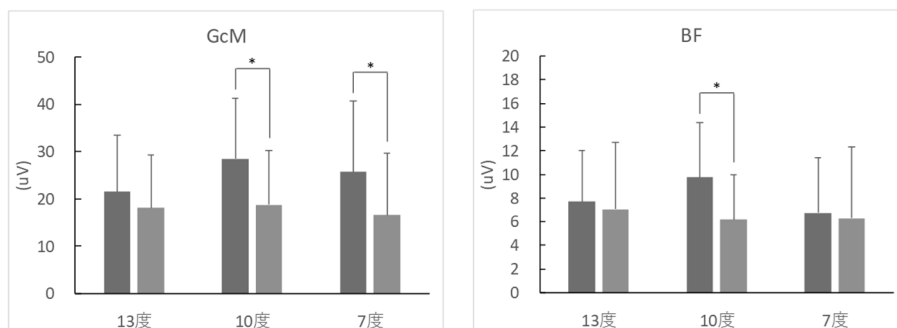


図4 傾斜外乱に対する初期バーストの活動振幅

## 【実験 2】

傾斜外乱に対する筋活動は、GcM において、第 1 試行では後方移動外乱の最終試行と差異が認められないが、第 2 試行以降では小さくなった（図 5）。ES では、後方移動外乱の最終試行に比べ、傾斜の第 1 試行から小さくなる傾向が認められた。ただし、GcM、ES とともに、第 5 試行では活動が大きくなる傾向が認められ、特に ES では個人差も大きかった。

実験 2 の結果、次のことが示唆された：一過性の後方床移動後に、個人の足関節背屈可動域の上限角度で床傾斜を負荷することにより、筋活動の適応的減少が、特に GcM で認められた。体幹筋では個人差が大きく、外乱に対する姿勢制御様式に応じてその活動は異なる可能性が考えられた。今後、被験者数を重ね、姿勢運動様式と筋活動との関係性を詳細に検討することで、明らかにできると考えられる。

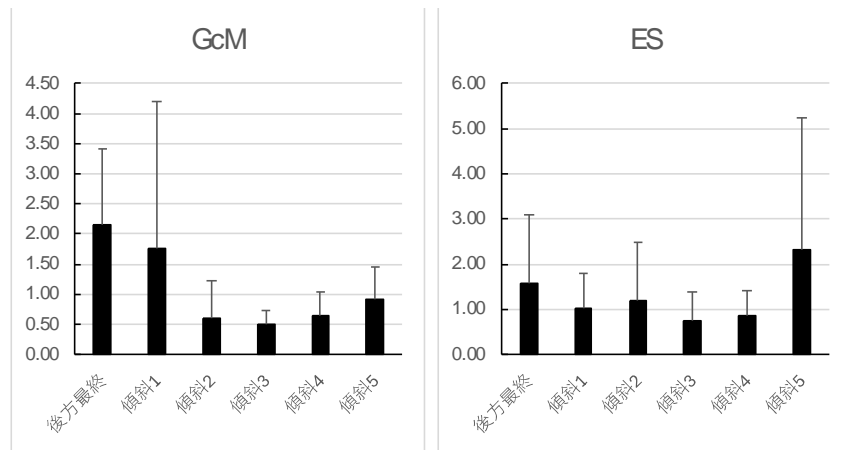


図 5 一過性床移動外乱ないし床傾斜外乱に対する筋活動振幅

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 中村天、藤原勝夫、清田直恵、外山寛、藤本素子	4. 巻 20
2. 論文標題 立位における膝関節屈曲運動に伴う筋活動および関節音	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 31-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 中村天、藤原勝夫、清田直恵、外山寛、中村英里子	4. 巻 20
2. 論文標題 バレーボールのオーバーハンドパスにおける手首と手指の関節運動	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 109-117
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 藤原勝夫・清田直恵・外山 寛・中村 彩・中村 天・渡辺直勇	4. 巻 19(1)
2. 論文標題 若年成人における骨盤傾斜に伴う脊柱弯曲変化の性差の三次元分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 17-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 清田直恵、藤原勝夫
2. 発表標題 眼球運動反応時間に対する胸部圧迫の影響
3. 学会等名 日本健康行動科学会第21回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢口智恵、藤原勝夫、清田直恵
2. 発表標題 床移動課題時の視覚情報の有無が体性感覚誘発電位と姿勢制御に及ぼす影響
3. 学会等名 日本健康行動科学会第20回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原勝夫、清田直恵、外山寛
2. 発表標題 立位における脊柱湾曲度におよぼす姿勢改善ベッドパッドの使用効果
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢口智恵、藤原勝夫、清田直恵
2. 発表標題 床移動課題の難易度が体性感覚情報と姿勢制御に及ぼす影響
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清田岳臣、藤原勝夫、清田直恵、国田賢治、阿南浩司、矢口智恵
2. 発表標題 上肢運動前の重心位置と上肢運動時の予測的姿勢筋活動の関連性の年齢変化
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村天, 藤原勝夫, 清田直恵, 中村彩
2. 発表標題 安静立位からの膝関節屈曲運動の初期における筋活動および関節音
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋いぶき, 藤原勝夫, 外山寛, 清田直恵
2. 発表標題 ウエイトリフティング競技におけるプッシュジャークの技能分析
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
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
研究 分 担 者	藤原 勝夫  (Fujiwara Katsuo)  (60190089)	金沢学院大学・スポーツ科学部・教授   (33305)	

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