

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：32702

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25560330

研究課題名（和文）シナジーを考慮した跳躍動作のシミュレーション

研究課題名（英文）Muscle synergy analysis leading to simulation of human jump

研究代表者

鈴木 崇人（Suzuki, Takahito）

神奈川大学・人間科学部・非常勤講師

研究者番号：20638960

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：ヒトの全身の筋骨格モデルを用いたシミュレーションの開発は広く行われているが、現実的な筋活動を推定するためには筋間の相互作用を考慮する必要がある。筋間の相互作用の研究の一つとして、同時に活動する筋の組合せ（筋シナジー）を一つの単位とみなす筋シナジー研究があるが検証は未だ十分ではない。本研究は足底屈筋群の活動と膝伸展筋群の活動の関係について等尺性収縮を中心に検討した。足底屈筋群の低強度等尺性収縮において、腓腹筋内側頭とヒラメ筋の活動の割合は膝伸展筋群の活動の有無により変化し、腓腹筋内側頭の活動が相対的に低下した。高強度等尺性収縮では膝伸展筋群との同時収縮の場合に下腿三頭筋の随意活性度が増加した。

研究成果の概要（英文）：Interactions between lower limb muscles, which should be revealed for simulation of human motions, remains unclear. This study aims to reveal interactions between plantar flexor muscles and knee extensor muscles, from the perspective of the muscle synergy hypothesis. During isometric plantar flexor contraction at low intensities, the ratio in the activity between the medial gastrocnemius muscle and the soleus muscle changed with knee extensor contraction, and the activity of the medial gastrocnemius muscle relatively decreased. At high intensities of plantar flexion torque, the activity of the medial gastrocnemius muscle increased with knee extensor activity.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：筋シナジー 下腿三頭筋 大腿四頭筋

1. 研究開始当初の背景

ヒトの全身の筋骨格モデルを用いたシミュレーションの開発は広く行われている。そのようなシミュレーションでは動作を推定する上で目的関数を必要とする。例えば、ある運動を行う際の筋の発揮張力の 3 乗和 (Crowninshield et al. 1981)などを目的関数とし、これを最小化するように計算する。しかし、このような計算では各筋の活動が独立であるという前提があり、非現実な計算結果が出る可能性もある。

筋の活動は互いに独立ではなく、関節内及び関節間で影響し合う。影響し合う筋間の相互作用をまとめて筋シナジーという一つの単位と見なし、小規模な筋シナジーをさらに組み合わせることでヒトの運動が成立するのか、という問題についても議論と研究が行われてきた (Tresch et al. 2009)。この筋シナジー仮説についての研究では、ヒトの随意運動中の筋活動を表面筋電図法により記録し、非負値行列分解などの手法によって筋シナジーを推定してきた。しかし、物理的な拘束条件を達成するように筋シナジー以外の動員規則に基づいて筋活動が決定されていたとしても、神経的な拘束である筋シナジーと誤解する危険性が指摘されている。そのため、筋シナジー仮説を含めて筋間の相互作用を検証することが未だに必要である。そのような相互作用が明らかになれば、より現実的な筋活動を推定するシミュレーションが実現できる可能性がある。

2. 研究の目的

(1) 足底屈筋群の活動が膝伸展筋群の活動の影響を受けることを明らかにするために、足底屈筋群の低強度等尺性随意収縮において、足底屈筋群だけを収縮させた場合と、足底屈筋群と膝伸展筋群を同時に収縮させた場合で、筋活動を比較した (実験)。

(2) 随意収縮では筋を最大限に活動させることは難しい。その原因の一つとして、一般的な実験条件である単関節運動では、他の関節の筋と形成する筋シナジーが動員されないために活動が最大にならない可能性が挙げられる。そこで、足底屈筋群だけを収縮させた場合と膝伸展筋群と同時に収縮させた場合で筋の活動度を比較した (実験)。

(3) 足底屈筋群の等尺性随意収縮において足底屈筋群の活動が筋シナジーに依存することと、その強度依存性を明らかにすることを目的とした (実験)。

(4) 静的な運動で明らかになった筋間の相互作用が動的な運動中にも成立するのかを確認するために、足底屈筋群の等速性随意収縮中における筋活動を記録し、同時に活動する筋の組合せを明らかにすることを目的とした (実験)。

3. 研究の方法

(1) 健常な男性 10 名を対象として静的な運動において条件をコントロールし、筋シナジーと思われる小規模な筋活動を詳細に検討した (実験)。

測定姿勢は腹臥位とし、非伸縮性ストラップを用いて足関節を筋力計に固定した。大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋内/外側頭、ヒラメ筋から表面筋電図測定装置により活動を記録した。随意最大収縮 (Maximal Voluntary Contraction: MVC) で股関節伸展筋群を収縮させ、その時の大臀筋の表面筋電図を測定した。同様に、最大努力で膝伸展筋群を収縮させ、その際の大腿直筋と外側広筋の表面筋電図を測定する。そして、最大努力で膝屈曲筋群を収縮させ、その際の大腿二頭筋の表面筋電図を測定する。また、最大努力で足底屈筋群を収縮させ、その際の足底屈トルクと腓腹筋内側頭と外側頭およびヒラメ筋の表面筋電図を測定する。さらに、最大努力で足背屈筋群を収縮させ、その際の前脛骨筋の表面筋電図を測定する。各試行を 2 回ずつ行わせる。

最大努力時に発揮された足底屈トルクを PFMVC とし、10%・20%・30%PFMVC の足底屈強度を設けた。また、最大努力時に測定された大腿直筋の筋電図平均振幅 (Average Rectified Value: ARV) を KEMVC とし、0%・50%・100%KEMVC という 3 つの膝伸展強度を設けた。

足底屈強度をランダムに並べ、さらに膝伸展強度もランダムに並べて、順番に行った。コンピュータ上に足底屈強度の目標となる運動強度を線で表示した。AD 変換機用のソフトウェアによって、大腿直筋の EMG を整流化した後 10Hz の低域通過フィルタでリアルタイムに処理した。そして、その波形を、膝伸展強度の目安としてコンピュータ上に表示する。被験者は足底屈強度および膝伸展強度を目標に 15 秒間合わせた。実験者は状況をモニターしながら目標に合うように被験者に指示した。

測定した 15 秒間の内、足底屈強度と膝伸展強度が最も条件に近かった 5 秒間を解析区間として、各筋の ARV を計算した。

(2) 健常な成人男性 8 名を対象に、等尺性 MVC を足底屈筋群だけで行った場合と膝伸展筋群との同時収縮の場合における下腿三頭筋の随意活性度の違いを電気刺激 (Interpolated Twitch) 法により評価した (実験)。また外側広筋、大臀筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、長腓骨筋、腓腹筋内側頭と外側頭、そしてヒラメ筋の活動を表面筋電図法により記録し、同時に足底屈トルクも測定した。電気刺激前の 0.25 秒間で各筋の ARV と平均足底屈トルクを計算した。

(3) 健常な成人男性 12 名を対象に、足底屈筋群を単独で等尺性収縮した場合の筋活

動と、膝伸展筋群と同時に等尺性収縮した場合の足底屈筋群の活動を比較した(実験)。外側広筋、大腿直筋、大臀筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋内側頭と外側頭、そしてヒラメ筋の活動を表面筋電図法により記録した。MVC 時の足底屈トルクと膝伸展筋群の筋活動を基準に、足底屈強度は 10%PFMVC から 100%PFMVC までの 10 段階を、膝伸展強度は 0%・50%・100% MVC の 3 段階を用意し、これらを組み合わせた 30 条件をそれぞれ 3 秒以上行った。

50%PFMVC までを低強度帯、60%PFMVC から高強度帯として、足底屈強度帯 2 条件と膝伸展条件 3 条件の計 6 条件において、下腿三頭筋の全ての組合せについて、筋活動に対して回帰分析を行い、傾きを比較した。

(4) 健常な成人男性 5 名を対象とした(実験)。最大努力時の足底屈トルクを PFMVC とし、10%・20%・30%PFMVC という 3 通りの足底屈強度を設けた。また、最大努力時の外側広筋の筋電図平均振幅を KEMVC とし、0%KEMVC と 50%KEMVC という二つの膝伸展強度を設けた。足関節角度 80・90・100 度において等尺性収縮で上記の組合せの 6 条件を各 1 回ずつ行った。足底屈強度と膝伸展強度と足関節角度条件はランダムに行った。コンピュータ上に足底屈強度の目標となる運動強度を線で表示した。AD 変換機用のソフトウェアによって、外側広筋の EMG を全波整流後 10Hz の低域通過フィルタでリアルタイムに処理した。そして、その波形を、膝伸展強度の目安としてコンピュータ上に表示した。被験者は足底屈強度および膝伸展強度を目標に 10 秒以上合わせた。実験者は状況をモニターしながら目標に合うように被験者に指示した。足底屈強度 20%PFMVC において膝伸展強度 2 条件で、足関節角速度 10 度/秒での等速性短縮性収縮と伸張性収縮を行った。足関節角度はゴニオメータで測定した。

4. 研究成果

(1) 実験 によって、足底屈強度が低い場合には、膝伸展筋群の等尺性収縮によって膝伸展筋群の拮抗筋となる腓腹筋内側頭の活動が有意に低下する、相反性抑制の概念から類推できるような反応が起きた。以上の最終的な結果は、雑誌論文 として発表された。

(2) 実験 によって、足底屈筋群の等尺性収縮を単独で行った場合と比較して膝伸展筋群との同時活動時には、長腓骨筋とヒラメ筋の ARV が有意に増加し、電気刺激法により評価した下腿三頭筋の随意活性度も有意に増加した。さらに、足底屈トルクも有意に増加した。以上の最終的な結果は、雑誌論文 として発表された。

(3) 実験 によって、低い足底屈強度において足底屈筋群の単独収縮の場合と膝伸展

筋群との同時収縮の場合で、腓腹筋内側頭とヒラメ筋の ARV の間と腓腹筋内側頭と外側頭の ARV の間に、傾きが有意に異なった二本の回帰直線が表れた。筋シナジー仮説の下で、この二本の回帰直線を再現するためには、膝伸展筋群を主とする筋シナジー以外に下腿三頭筋を主とする筋シナジーが最低二つ以上必要であることが明らかになった。下腿三頭筋に二つ以上の筋シナジーが必要なことは実験の物理的拘束条件によって筋活動が決定される場合の数を超えており、足底屈筋群の随意収縮において筋シナジーが使用されていることが示唆された。

また実験 では、足底屈筋群の低強度収縮において、膝伸展筋群の活動とともに、膝屈曲に働く腓腹筋内側頭の活動が低下したため、相反性抑制の概念に合う変化がみられていた。しかし、実験 において、足底屈筋群の高強度収縮を行った場合には、膝伸展筋群の活動とともに腓腹筋内側頭の活動が増加した。そのため、膝伸展筋群の活動に伴う腓腹筋内側頭の活動の変化は、相反性抑制の概念から類推するよりも、動員される筋シナジーの変化を反映していると考えの方がより妥当であることを示唆した。

以上の結果をまとめて投稿中である。

(4) 実験 の結果は解析中である。

<引用文献>

Crowninshield RD, Brand RA. A physiologically based criterion of muscle force prediction in locomotion. *Journal of Biomechanics*. Volume 14, Issue 11, 1981, pp.793-801

Tresch MC, Jarc A. The case for and against muscle synergies. *Current Opinion in Neurobiology*. Volume 19, Issue 6, 2009, pp.601-607

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

Takahito Suzuki, Kohei Shioda, Ryuta Kinugasa, Senshi Fukashiro. Simultaneous knee extensor muscle action induces an increase in voluntary force generation of plantar flexor muscles. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 査読あり, Volume 31, Issue 2, 2017, pp.365-371 DOI: 10.1519/JSC.0000000000001513

Takahito Suzuki, Kentaro Chino, Senshi Fukashiro. Gastrocnemius and soleus are selectively activated when adding knee extensor activity to plantar flexion. *Human Movement Science*, 査読あり, Volume 36, 2014, pp.35-45

〔学会発表〕(計3件)

鈴木 崇人、下肢随意運動における機械的拘束条件と筋活動制御、日本運動生理学会、2015.7.25、日本体育大学(東京都)
Takahito Suzuki, Kohei Shioda, Ryuta Kinugasa. Triceps surae activation during plantar flexion is affected by knee extension. European College of Sport Science, 2014.7.2, Amsterdam (Netherland)

Takahito Suzuki, Ryuta Kinugasa. Influence of quadriceps force exertion on triceps surae activity during plantar flexion. European College of Sport Science, 2013.6.29, Barcelona (Spain)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 崇人 (SUZUKI, Takahito)
神奈川大学・人間科学部・非常勤講師
研究者番号: 20638960

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

深代 千之 (FUKASHIRO, Senshi)