

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750313

研究課題名(和文)新規計測機器を用いた、反動動作による運動パフォーマンス向上メカニズムの解明

研究課題名(英文)Elucidation of the mechanisms of force potentiation by stretch-shortening cycle with newly developed device

研究代表者

福谷 充輝 (Fukutani, Atsuki)

立命館大学・総合科学技術研究機構・特別研究員(PD)

研究者番号：80722644

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、反動動作による筋力増強効果のメカニズムを、腱伸長、予備緊張、residual force enhancementに着目して検証することであった。この目的を達成するため、筋収縮を電気刺激で誘発することで神経系の影響を排除し、腱を有する条件と排除した条件で反動効果の程度を比較し、さらに、予備緊張のみを含む条件、予備緊張とresidual force enhancementを含む条件間で反動効果の程度を比較した。その結果、腱を排除した条件でも明らかな反動効果が確認され、予備緊張、residual force enhancementいずれも反動効果への貢献が確認された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the following question; which parameters contribute to the stretch-shortening cycle effect focused on the tendon elongation, preactivation, active-lengthening induced force potentiation. To archive this purpose, we set following three steps. First, muscle contraction was evoked by electrical stimulation to discard the influence of neural activity. Second, we compared the stretch-shortening cycle effect between "muscle with tendon" and "muscle without tendon" while the other factors were constant. Finally, we compared the extent of stretch-shortening cycle effect between "active-lengthening" and "no active-lengthening" conditions. As a result, even without tendon, substantial stretch-shortening cycle effect occurred, indicating that the contribution of tendon elongation is small. Second, both preactivation and residual force enhancement contribute to stretch-shortening cycle effect.

研究分野：運動生理学

キーワード：筋 腱 弾性エネルギー 反動動作

## 1. 研究開始当初の背景

(1) アスリートや高齢者にいたるまで、全ての人の身体運動は静的ではなく動的なもので構成されている。したがって、身体運動パフォーマンスを向上させるためには、動的な運動時の力発揮メカニズムを明らかにする必要がある。動的な運動と静的な運動の大きな違いとして、反動の有無が挙げられる。例えば、ジャンプを行う前に一度しゃがみこむという予備動作(反動)は、誰もが無意識的に行っており、反動を用いることで運動パフォーマンスが向上することは周知の事実である。しかしながら、なぜ、反動を使うと運動パフォーマンスが向上するのかは、明確になっていない。

(2) 現在、反動効果のメカニズムとして、以下の4つが考えられている。すなわち、伸張反射(筋伸長により筋紡錘が興奮し、筋の興奮レベルが増加)、腱の弾性エネルギー(腱伸長により、筋の収縮に加えて腱(バネとして機能)の短縮も利用、予備緊張(力発揮開始から筋力が最大に到達するまでの時間的遅れを、反動動作中に予備的に筋収縮させておくことで解消)、伸長に伴う筋の力発揮能力増強(筋伸長による、アクチンとミオシンの結合促進、タイチンの弾性変化)である。しかしながら、これらの要因が反動による運動パフォーマンス向上に貢献しているのか、さらには、どの要因がどの程度貢献しているのかは推測の域を出ていない。その理由として、実験課題の制御が困難であることが挙げられる。これまでの反動効果を検証した多くの研究は、ジャンプのような全身運動を用いて、反動有りとは反動なし条件間でのパフォーマンス比較を行っている。この実験設定では、上記4つの要因全てが含まれてしまうため、仮に筋力に変化があったとしても、何が原因なのか判断できない。この問題を解決するためには、4つの要因のうち3要因を一定にし、残りの1要因だけを変化させた時の反動効果を計測する必要がある。

(3) そこで、本研究では、摘出筋を用いて反動動作を模倣する新規計測システムを作成することで、これまでは困難であった意図的な実験条件の制御を可能とし、上記の各要因それぞれを個別に抽出することで、その効果の有無、さらには効果の程度を明らかにする。この検証を通じて、反動効果を最大限に引き出すことの出来る条件を明らかにし、スポーツパフォーマンス向上の新しい方策確立を目指した。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、反動動作による運動パフォーマンス向上のメカニズムを解明することを目的とした。この目的を達成するため、摘

出筋を用いて反動動作を模倣する測定システムを作成した。この測定システムにより、これまでは極めて困難であった運動課題の人工的な制御(腱の切断や筋の長さ制御)が可能になるため、反動動作によるパフォーマンス向上の規定因子に迫ることが出来る。本研究では、反動による腱の伸長(弾性エネルギー蓄積)および筋の伸長(伸長に伴う筋の力発揮能力増強)の2つに着目し、研究を実施した。

## 3. 研究の方法

(1) これまでの反動動作に関する研究は、ジャンプという随意運動を運動課題として採用しているものが多く、運動条件の意図的な制御は極めて困難であった。一方、摘出筋を用いた本研究では、電気刺激によって筋の収縮レベルを一定(最大強度)に保ち、腱を切断することで腱の影響を完全に排除し、さらに、筋の長さおよび短縮速度を意図的に変化させることが出来るという3つの利点がある。

(2) 実験1では、ラットのヒラメ筋を対象とし、外科的にヒラメ筋を露出させた後、ヒラメを、アキレス腱が付着している状態、もしくはアキレス腱ができる限り短くなるように切断した状態にした。つまり、アキレス腱を有する条件、およびアキレス腱を有さない条件を設定した。この2条件それぞれにおいて、反動有り試行(主動作である短縮性収縮の前に伸張性収縮を実施)と反動無し試行(リラックスした状態から主動作である短縮性収縮を実施)を実施した。短縮性収縮中の筋力を計測し、反動有り試行と無し試行間の変化率を反動効果の程度として算出した。この反動効果の程度が、「腱有り条件」と「腱無し条件」で異なるかどうかを比較することで、腱の反動効果への影響を検証した。

(3) 実験2では、アキレス腱を有さない条件を用いて、以下の3試行、すなわち、1試行目は、反動を実施せず短縮性収縮、2試行目は、反動として等尺性収縮を行った後に短縮性収縮、3試行目は反動として伸張性収縮を行った後に短縮性収縮、を実施した。これら3つの運動課題の比較ポイントは以下であった。まず、1試行目の短縮性収縮中に得られた筋力を基準(反動なしの値)とし、2試行目および3試行目で得られた筋力との差分を反動効果の程度とした。3試行目は、反動効果の要因である[予備緊張]と[伸長に伴う筋の力発揮能力増強]の2つを含む。一方、2試行目は[予備緊張]を含むが、[伸長に伴う筋の力発揮能力増強]という要因は含まない。したがって、条件2と条件3の反動効果の程度を比較することで、[伸長に伴う筋の力発揮能力増強]が反動効果に貢献しているのかどうかを明らかにすること

が出来る。この特性に着目し、反動効果の程度を比較した。

#### 4. 研究成果

(1) 実験1の結果を図1に示す。反動効果の程度は、腱を有する条件、腱を有さない条件間で有意差は認められなかった。これは、少なくともラットのヒラメ筋およびアキレス腱を対象とした本研究設定では、アキレス腱が反動効果に与える影響は小さいということを示している。さらに、アキレス腱を有さない条件においても反動効果が確認されたことから、反動効果は腱以外の要因に起因しているといえる。本研究は筋収縮を電気刺激で誘発し、神経系の興奮レベルを一定に保っているため、伸張反射の貢献も除外することが出来る。したがって、予備緊張、もしくは伸長に伴う筋の力発揮能力増強のいずれか、もしくは両方が、反動効果に貢献していると結論付けることが出来る。

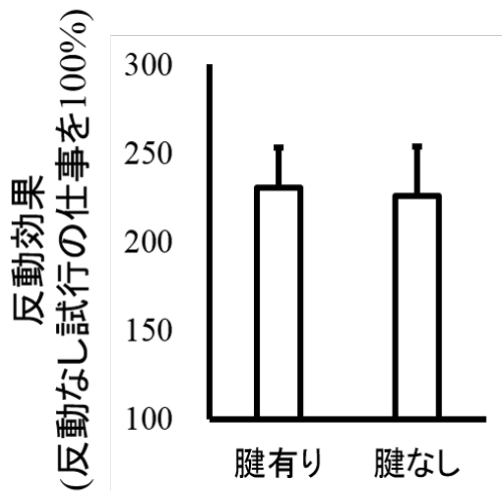


図1. 腱有り条件と腱なし条件の反動効果

(2) 実験1により、予備緊張、もしくは伸長に伴う筋の力発揮能力増強のいずれか、もしくは両方が、反動効果に貢献していることが考えられた。そこで実験2では、これらの2つの要因に焦点を当て、検証を行った。実験2の3つの試行の発揮筋力および筋の長さの結果を図2に示す。なお、図1の黒矢印は、力発揮の時間経過を示している。反動を用いない試行(オレンジの線)と比較すると、短縮性収縮中の筋力(図1の線が左に向かう局面、黒丸が短縮性収縮開始の瞬間を示している)は、試行2(グレーの線)および試行3(ブルーの線)において大きかった。この結果は、試行2、試行3いずれにおいても反動効果が存在したことを示している。試行2においては、反動効果の要因は予備緊張のみを含んでいるため、予備緊張は反動効果に貢献しているといえる。一方、試行3においては、予備緊張に加えて、伸長に伴う筋の力発揮能力増強効果も含んでいる。試行2よりも試行3において、より大きな反動効果が

認められたため、伸長に伴う筋の力発揮能力増強効果も、反動効果に貢献しているといえる。

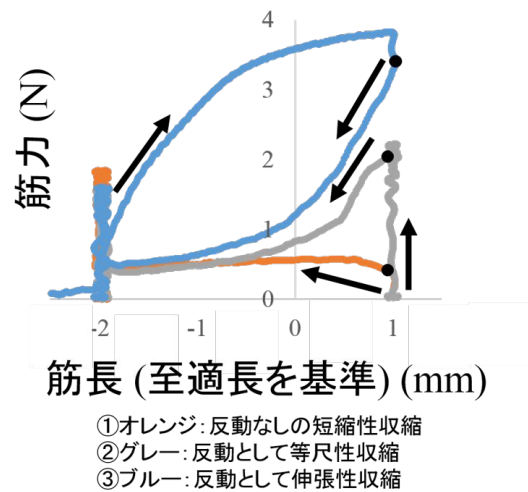


図2. 伸張性収縮および短縮性収縮中の、筋力および筋の長さの関係

(3) これまで、反動効果が生じる要因として、腱の伸長に伴う反動効果が強調されてきた。しかしながら、本研究においては、腱の有無によらず、反動効果が確認され、その程度は腱の有無の影響を受けなかった。これまでのヒトを対象とした研究、さらには動物を対象とした研究の多くは、動作中の腱の長さ変化を計測せず、筋の長さ変化から腱の長さ変化を推定していた。この問題に着目し、本プロジェクトの一環として、腱の長さ変化の実測を試みた。その結果、最大強度の収縮を誘発したにも関わらず、本研究設定では計測できないほど、アキレス腱の長さ変化は小さいものであった。したがって、アキレス腱の反動効果への貢献が認められなかったという結果は妥当なものだと考えられる。しかしながら、この知見をヒトに適用するときには、ラットとヒトでのアキレス腱の構造の違いを考慮する必要があるため、注意を要する。

(4) 今後は、より詳細なアキレス腱の長さ変化の把握、さらには、反動効果の影響が確認された予備緊張、伸長に伴う筋の力発揮能力増強効果について検証をすすめることで、より効果的に反動効果を引き起こす方法を考案することで、スポーツパフォーマンスを改善する方法を提案出来る可能性がある。

#### 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)

Fukutani A, Kurihara T, Isaka T. Influence of joint angular velocity on electrically evoked concentric force potentiation induced by stretch-shortening cycle in young adults. Springerplus. 2015. 4:82.

doi: 10.1186/s40064-015-0875-0. (査読有り)

Fukutani A, Hashizume S, Kusumoto K, Kurihara T. Influence of neglecting the curved path of the Achilles tendon on Achilles tendon length change at various ranges of motion. *Physiol Rep*. 2014. 2(10). pii: e12176. doi: 10.14814/phy2.12176. (査読有り)

〔学会発表〕(計3件)

Fukutani A, Sawatsky A, Leonard T, Herzog W. Does Achilles tendon contribute to the force potentiation induced by stretch-shortening cycle? 25<sup>th</sup> International Society of Biomechanics. 2015, July 14. Glasgow. Scotland.

福谷充輝, 栗原俊之, 伊坂忠夫. 反動による筋力増加の規定因子. 予備緊張、腱伸長、residual force enhancement に着目して. 第23回日本バイオメカニクス学会大会. 2014年9月13日. 国立スポーツ科学センター. 東京.

Fukutani A, Hashizume S, Kusumoto K, Kurihara T. Is Achilles tendon length change obtained by the indirect measurement valid? 7<sup>th</sup> World Congress on Biomechanics. 2014, June 8. Boston. USA.

〔図書〕(計2件)

Fukutani A, Nagano A, Isaka T. Evaluation of the Achilles tendon length changes in humans. *Achilles Tendon and Ankle Injuries*. Nova Science Publisher. 2015. 39-64.

Fukutani A. New method for measuring the Achilles tendon length by ultrasonography. *Current Medical Imaging Reviews*. 2014. 259-265.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福谷 充輝 (FUKUTANI, Atsuki)

立命館大学・総合科学技術研究機構・特別研究員(PD)

研究者番号: 80722644