

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：32511

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21426

研究課題名(和文) 伸張性収縮による骨格筋の活性と損傷および適応に関する研究

研究課題名(英文) A study of muscle activation, damage, and adaptation after eccentric contractions

研究代表者

土屋 陽祐 (Tsuchiya, Yosuke)

帝京平成大学・現代ライフ学部・助教

研究者番号：20614473

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)：本研究は、磁気共鳴画像法(MRI)の横緩和時間(T2)を用いて伸張性収縮による筋活動レベルと損傷の関連性および繰り返し効果について検討した。その結果、1)伸張性収縮は短縮性収縮よりも筋線維の動員が少なく、かつ筋損傷の程度が大きいこと、2)運動直後のT2の上昇は1回目の伸張性収縮に比べて2回目の伸張性収縮後の方が有意に大きく、筋損傷の程度も抑制された。これらの結果は、伸張性収縮による筋損傷および繰り返し効果においては骨格筋の活動レベルが重要な役割を果たしていることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the muscle activation, muscle damage, and the contralateral and ipsilateral repeated bout effects of eccentric contractions using transverse relaxation time (T2) of magnetic resonance imaging (MRI). As the results, 1) muscle activity during exercise was lower in eccentric than concentric contractions and eccentric contractions induced greater muscle damage than concentric contractions, 2) T2 was longer after the second bout of eccentric contractions in the ipsilateral arm than after the initial bout. These results suggest that muscle activation play an important role in muscle damage and repeated bout by eccentric contractions.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：骨格筋 筋損傷 筋活動 磁気共鳴画像法(MRI) 横緩和時間(T2) 繰り返し効果

1. 研究開始当初の背景

(1) 伸張性収縮による筋損傷

筋が引き伸ばされながら張力を発揮する伸張性収縮は短縮性収縮、等尺性収縮に比べて、筋力の低下や、筋肉痛、骨格筋の腫れ、血中のクレアチンキナーゼ増加が生じる。伸張性収縮による筋損傷の原因は、サルコメアや筋内膜の形態変化、筋線維や結合組織における炎症反応によるものであると考えられている。また、伸張性収縮は短縮性収縮に比べて大きな筋力を発揮できるにも関わらず、動員される筋線維の数が少なく、かつ乳酸の産生も少ないことが報告されている。しかしながら、伸張性収縮が他の収縮様式に比べてより大きな筋損傷を引き起こす原因は未だ不明な点が多い。また、伸張性収縮は繰り返し効果によって筋損傷が軽減されると報告されている。つまり、徐々に運動を行うと筋損傷が生じるが、同じ運動を繰り返すと2回目の運動後には損傷がほとんど生じない。この繰り返し効果は1回目と2回目の運動間隔が6週間あいても効果が持続するとされている。しかし、筋損傷のメカニズムと同様、繰り返し効果についても未だ要因は明らかにされていない。

(2) 磁気共鳴画像法(MRI)の横緩和時間(T2)を用いた骨格筋活性レベルに関する研究

筋収縮中の表面筋電図(EMG)による活動電位と運動直後の骨格筋における横緩和時間(T2)の上昇は強い正の相関関係があることが報告されている。また、運動直後のT2の上昇は、運動強度に依存することも示されている。以上から、運動直後のT2の上昇は筋線維動員の指標として用いられている。T2を用いる利点としては、深層部の筋を評価できることや、皮膚抵抗の影響を受けないことが挙げられる。伸張性収縮、短縮性収縮における収縮中のEMGを比較した研究では、伸張性収縮は、同じ筋力発揮下においても短縮性収縮より活動レベルが低いことが報告されている。したがって、伸張性収縮は他の収縮様式に比べて筋線維の動員が少ない可能性が示唆されている。しかしながら、筋線維の動員とその後の筋損傷の関係について検討した研究はない。伸張性収縮による運動直後のT2の上昇と筋損傷との関係を明らかにすることで、筋損傷のメカニズムや繰り返し効果による適応のメカニズム解明の一助となると考えられる。

2. 研究の目的

以上の背景から本研究は、伸張性収縮による筋損傷の程度とMRIによるT2の上昇との関係について検証することを目的とした。加えて、筋痛・筋損傷が抑制される”繰り返し効果”についても、骨格筋の使われ方にどのような適応がみられるかを検証した。具体的なテ

ーマーは以下の通りである。

(1) 伸張性収縮と短縮性収縮直後のT2の上昇および筋損傷の程度を比較する(実験)

(2) 1回目と2回目の伸張性収縮直後のT2の上昇と筋損傷の程度を比較する(実験)

3. 研究の方法

本研究では以下の2つの実験を実施した。

実験

(1) 対象

健康かつ日常的に筋力トレーニングを実施していない若年男性12名を対象とした。

(2) 実験プロトコール

実験は合計で6日間実施した。運動は、肘関節屈曲による伸張性収縮と短縮性収縮を各被験者の左右の腕にランダムに負荷した。筋損傷マーカーの測定は、運動前(pre)、運動直後(post)、運動1(day 1)、3(day 3)、5日後(day 5)の計5回実施した。

(3) 運動負荷実験

運動は等速性筋力測定装置(Biodex system 3)を用いた。伸張性収縮および短縮性収縮は角速度30deg/secで6回×5セット実施した。なお、セット間の休息は90秒間とした。

(4) 横緩和時間(T2)

運動直後のT2は運動単位の動員の指標として評価した。T2の測定は0.3テスラMRI装置(AIRIS- , HITACHI社製)を用いて、マルチスピンエコー法で測定した。被検筋は、上腕筋、上腕二頭筋であった。得られたMR画像より各筋を同定し、3か所の関心領域(regions of interest: ROI)を設定し、先行研究と同様の方法でT2値を算出した。

(5) 筋損傷マーカー

● 等尺性最大筋力(MVC)

Biodexを使用し、肘関節を90°に設定し肘関節屈曲の等尺性最大筋力を測定した。測定は、3秒間の筋力発揮を2セット実施し、セット間の休息は15秒間とした。発揮された体重あたりのピークトルクを算出した。

● 肘関節可動域(ROM)

角度計を用いて肘関節における伸展位から屈曲位までの関節可動域を測定した。

● 遅発性筋痛

遅発性筋痛の評価は、視覚的アナログスケール(Visual analogue scale: VAS)を使用した。100mmの直線の左端(0mm)には「痛みなし」、右端(100mm)には「耐えられない痛み」とし、全て同じ検者が三本の指を使用し触診をした際の痛みを被験者にチェックさせた。

- 筋横断面積 (CSA)
MRI を用いて、上腕二頭筋、上腕筋の横断面積を測定した。なお、撮像部位については、上腕骨外側上顆から肩峰の1/3 とした。

実験

伸張性収縮を2回負荷し、運動直後のT2の上昇と筋損傷の程度を比較した。運動負荷は伸張性収縮のみを実施し、1回目と2回目の負荷実験の間隔は2週間とした。なお、運動後のT2、収縮中の表面筋電図の測定及び筋損傷マーカーの測定は実験と同様であった。

4. 研究成果

実験

(1) MVC、ROM、遅発性筋痛

運動後のMVCについては、運動1、3、5日後において伸張性収縮が短縮性収縮よりも有意に低い値であった(図1A)。ROMについては運動直後から5日後まで伸張性収縮が短縮性収縮よりも有意に低い値であった(図1B)。また、遅発性筋痛については、伸張性収縮のみ有意な増加がみられ、運動1、3日後において伸張性収縮が短縮性収縮よりも有意に高い値であった(図1C)。

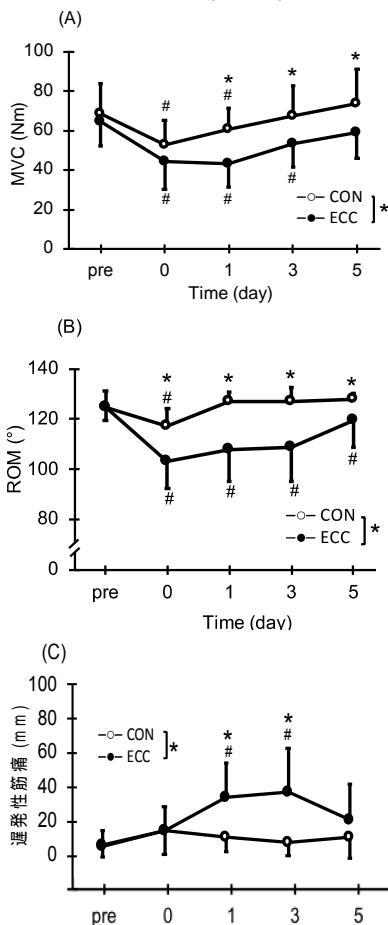


図 1. 伸張性収縮と短縮性収縮における MVC(A)、ROM(B)、遅発性筋痛(C)の比較. *は伸張性収縮と短縮性収縮の有意差(P<0.05)を示す。#は各群の pre との有意差 (P<0.05)を示す。CON: 短縮性収縮, ECC: 伸張性収縮

(2) CSA

運動後の上腕二頭筋の CSA については、短縮性収縮のみ運動直後に有意に増加した(図2A)。上腕筋の CSA については、運動1、3、5日後において伸張性収縮が短縮性収縮よりも有意に高い値であった。

(3) T2

運動直後のT2は上腕二頭筋上腕筋ともに、伸張性収縮よりも短縮性収縮の方が有意に大きかった(図3AB)。一方で運動1日後以降は短縮性収縮よりも伸張性収縮の方が有意に大きい結果であった。

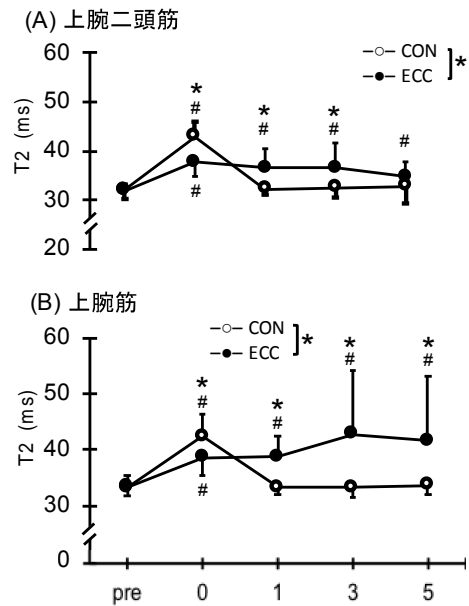


図 2 伸張性収縮と短縮性収縮における上腕二頭筋(A)と上腕筋(B)のT2の比較. *は伸張性収縮と短縮性収縮の有意差(P<0.05)を示す。#は各群の pre との有意差 (P<0.05)を示す。CON: 短縮性収縮, ECC: 伸張性収縮

(4) 実験 のまとめ

以上の結果から、伸張性収縮は短縮性収縮に比べて、運動後の筋力、関節可動域の低下、遅発性筋痛の出現および筋の腫れが大きかった。一方で運動直後のT2の上昇は、伸張性収縮の方が、短縮性収縮よりも小さかった。したがって、伸張性収縮では筋線維の動員が少ないことが、筋損傷を引き起こす原因であることが示唆された。

実験

(1) MVC、ROM、遅発性筋痛

運動後の MVC の変化率については、運動 1 から 5 日後にかけて 1 回目の伸張性収縮 (ECC1) が 2 回目の伸張性収縮 (ECC2) がよりも有意に低下した (図 3A)。ROM の変化率についても運動 1 から 3 日後にかけて ECC1 は ECC2 よりも有意に低下した (図 3B)。また、遅発性筋痛については、運動 2 日および 3 日後において ECC1 が ECC2 よりも有意に高い値を示した (図 3C)。

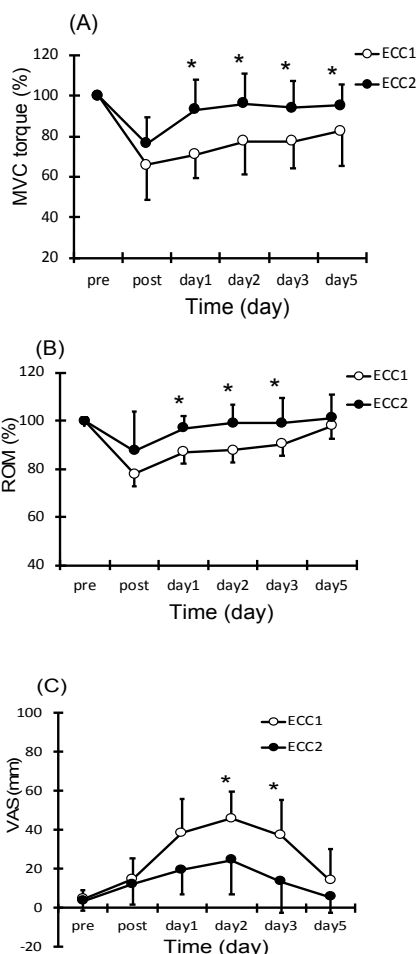


図 3. 1 回目の伸張性収縮 (ECC1) と 2 回目の伸張性収縮 (ECC2) における MVC (A)、ROM (B)、遅発性筋痛 (C) の比較。* は ECC1 と ECC2 の有意差 ($P < 0.05$) を示す。

(2) CSA

運動後の CSA の変化率については、上腕二頭筋、上腕筋ともに、ECC1 が ECC2 よりも有意に増加した。

(3) T2

運動直後の T2 の変化率は上腕二頭筋では有意な差がみられなかったものの (図 4A)、上腕筋では ECC2 が ECC1 に比べて有意に増加した (図 4B)。

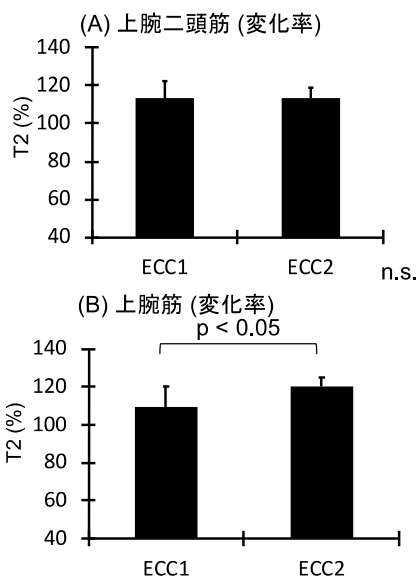


図 4. 1 回目の伸張性収縮 (ECC1) と 2 回目の伸張性収縮 (ECC2) における運動直後の T2 の変化率の比較。

(4) 実験 のまとめ

以上の結果から、1 回目の伸張性収縮よりも、2 週間後に実施した 2 回目の伸張性収縮後では筋損傷が有意に抑制されることが確認された。また、運動直後の T2 の結果から、2 回目の伸張性収縮では活動する筋が増加することから筋損傷が抑制されることが示唆された。

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 7 件)

Kikuchi N, Tsuchiya Y, Nakazato K, Ishii N, Ochi E.

Effects of the ACTN3 R577X Genotype on the Muscular Strength and Range of Motion Before and After Eccentric Contractions of the Elbow Flexors.

International Journal of Sports Medicine. 査読有 39, 2018, 148-153.

Ochi E, Tsuchiya Y, Yanagimoto K.

Effect of eicosapentaenoic acids-rich fish oil supplementation on motor nerve function after eccentric contractions: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group trial.

Journal of the International Society of Sports Nutrition. 査読有 12(23), 2017, doi: 10.1186/s12970-017-0176-9.

Ochi E, Tsuchiya Y, Nosaka K.

Differences in post-exercise T2 relaxation time changes between eccentric and concentric contractions of the elbow flexors. European Journal of Applied Physiology.

査読有 116, 2016, 2145-2154.

Tsuchiya Y, Yanagimoto K, Nakazato K, Hayamizu K, Ochi E.
Eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids-rich fish oil supplementation attenuates strength loss and limited joint range of motion after eccentric contractions: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group trial. *European Journal of Applied Physiology*. 査読有 116, 2016, 1179-1188.

Shirato M, Tsuchiya Y, Sato T, Hamano S, Gushiken T, Kimura N, Ochi E.
Effects of combined -hydroxy-methylbutyrate (HMB) and whey protein ingestion on symptoms of eccentric exercise-induced muscle damage. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 査読有 29, 2016, doi: 10.1186/s12970-016-0119-x.

Hamano S, Ochi E, Tsuchiya Y, Muramatsu E, Suzukawa K, Igawa S.
Relationship between performance test and body composition / physical strength characteristic in sprint canoe and kayak paddlers. *Open Access Journal of Sports Medicine*. 査読有 19, 2015, 191-199.

Tsuchiya Y, Kikuchi N, Shirato M, Ochi E.
Difference of activation pattern and muscle damage in elbow flexor after eccentric contractions. *Isokinetics and Exercise Science*. 査読有 2015, 23, 169-175.

〔学会発表〕(計4件)

土屋陽祐, 柳本賢一, 越智英輔.
エイコサペンタエン酸(EPA)の摂取が伸張性収縮運動後の筋損傷に及ぼす影響.
第71回日本栄養・食糧学会. 2017年, 沖縄.

Ochi E, Tsuchiya Y, Yanagimoto K.
Effect of eicosapentaenoic acid supplementation on biochemical markers after eccentric contractions. *Experimental Biology* 2017. 2017年, Chicago, USA.

Ochi E, Tsuchiya Y.
Differences of MRI T2 activation pattern and damage in elbow flexor muscles after eccentric contractions. *22th International Congress on Magnetic Resonance Imaging*. 2017年, Seoul, Korea.

土屋陽祐, 佐藤照友旭, 鈴川一宏, 越智英輔.

肘関節屈曲による伸張性収縮が骨格筋の活性パターンおよび損傷に及ぼす影響.

第23回日本運動・スポーツ科学学会大会. 2016年, 北海道.

〔その他〕

ホームページ等

https://www.thu.ac.jp/teacher_info_admin/profiles/detail/2734

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土屋 陽祐 (TSUCHIYA, Yosuke)
帝京平成大学・現代ライフ学部・助教
研究者番号: 20614473

(2) 研究分担者

なし

(3) 研究協力者

越智 英輔 (OCHI, Eisuke)
法政大学・生命科学部・准教授
研究者番号: 90468778