

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：32511

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K17829

研究課題名（和文）片側性の伸張性収縮運動・トレーニングが反対側に及ぼす効果

研究課題名（英文）The effect of unilateral eccentric exercise and training on the contralateral side

研究代表者

土屋 陽祐 (Tsuchiya, Yosuke)

帝京平成大学・現代ライフ学部・講師

研究者番号：20614473

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：伸張性収縮(ECCs)による筋損傷は、同じ部位に繰り返し負荷した場合、初回よりも2回目の方が軽減することが明らかになっている(繰り返し効果)。近年この繰り返し効果が、運動を実施していない反対側にも生じることが観察されている(対側繰り返し効果)。本研究は磁気共鳴画像法の横緩和時間(T2値)を用いて、対側繰り返し効果と筋線維の動員との関連を検証した。その結果、1回目にECCsを負荷した腕の筋よりも、2週間後のECCsを負荷していない反対側の腕の筋の方が、ECCs直後のT2の上昇が大きかった。したがって、対側繰り返し効果は筋線維の動員増加が一つの要因である可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、対側性の繰り返し現象を神経系の適応の観点で、メカニズムを解明するという点において独自性を有している。繰り返し効果のメカニズムを検証した研究は複数報告されているものの、磁気共鳴画像法の横緩和時間を用いて、筋線維の動員を評価した検討はない。これらの検証によって得られた本研究の結果は、片側性の筋運動の反対側への効果メカニズムにとどまらず、スポーツや運動で受傷した際に余儀なくされるギブス固定や不活動の後のリハビリテーションに応用可能なデータを提示するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：A bout of maximal eccentric contractions (ECCs) provides a protective effect against muscle damage in subsequent bouts of the same exercise performed over several weeks (repeated bout effect). Recent some studies have shown that the initial bout of maximal ECCs is responsible for conferring protective effects upon the contralateral limb (CL-RBE). The purpose of this study was to investigate the contralateral and ipsilateral repeated bout effects of ECCs on muscle fiber activation using transverse relaxation time (T2) of magnetic resonance imaging (MRI). The acute T2, which is an indicator of the activation of muscle fibers, was larger for CL-RBE than ECCs of the first bout. Our results suggest that one of mechanisms for CL-RBE of ECCs is the increase in muscle fiber activation.

研究分野：スポーツ生理学

キーワード：繰り返し効果 筋損傷 横緩和時間 磁気共鳴映像法 運動単位 神経適応

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

骨格筋が張力を発揮しながら引き伸ばされる伸張性収縮は、短縮性収縮、等尺性収縮に比べて、運動後に生じる等尺性随意最大筋力(MVC)の低下、関節可動域(ROM)の制限、遅発性筋痛(DOMS)の出現、筋の腫れ、血中のクレアチンキナーゼ(CK)、ミオグロビン(Mb)の増加、および磁気共鳴映像法(MRI)による横緩和時間(T2)の延長が大きいことが報告されている。これらの症状は、サルコメアの微細損傷や炎症反応が原因であると考えられている。伸張性収縮が筋損傷を引き起こす原因の一つとして、筋線維の動員が関連していることが推察されている。筋線維の動員の程度は、運動中の表面筋電図法(EMG)あるいはMRIのT2の上昇によって評価されている。実際に、我々の研究において、短縮性収縮に比べて伸張性収縮の方が、運動直後の筋損傷の程度は大きかった一方で、運動直後のT2の上昇は有意に小さいことを報告した。つまり、単発の伸張性収縮誘発性の筋損傷のメカニズムの一つとして、発揮筋力が大きい一方で動員される筋線維が少ないことが示唆されている。

筋損傷は、同じ部位に伸張性収縮を繰り返し行うと、1回目よりも2回目の伸張性収縮後の方が、筋損傷の程度が軽減される繰り返し効果(同側繰り返し効果)が報告されている。同側繰り返し効果の要因は、神経系および筋腱複合体の適応、細胞外マトリックス構造のリモデリング、炎症反応の抑制などが複雑に関わっているとされているものの、未だ不明な点は多い。そして近年、繰り返し効果は運動を実施していない反対側の四肢にも生じる“対側繰り返し効果”が報告されている。対側繰り返し効果の要因は、神経系の適応、炎症反応の抑制が複合的に作用していると考えられているものの、そのメカニズムについては十分に明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では伸張性収縮による対側繰り返し効果は、筋線維の動員が増加することによって引き起こされるか、という問いを検証した。具体的には、筋線維の動員をMRIのT2で評価することで、繰り返し効果のメカニズムを検証した。

3. 研究の方法

(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

被験者には伸張性収縮運動を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。1回目はどちらか片方の腕にランダムに伸張性収縮を負荷し、2回目は両方の腕に伸張性収縮を負荷した。1回目と同様の腕における伸張性収縮後の筋損傷の程度を“同側繰り返し効果”、反対側の腕を“対側繰り返し効果”とした。なお、1回目と2回目の負荷実験の間隔は2週間とした。運動は、肘関節屈曲による伸張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、2、3、5日後の計6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。全ての伸張性収縮では、角速度30deg/secで6回、5セット合計30回実施した。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-II, 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。

4. 研究成果

(1) 伸張性収縮におけるピークトルクおよび仕事量

伸張性収縮における各セットのピークトルク、仕事量、全セットの総仕事量については、群間に有意な差はみられなかった(図 1)

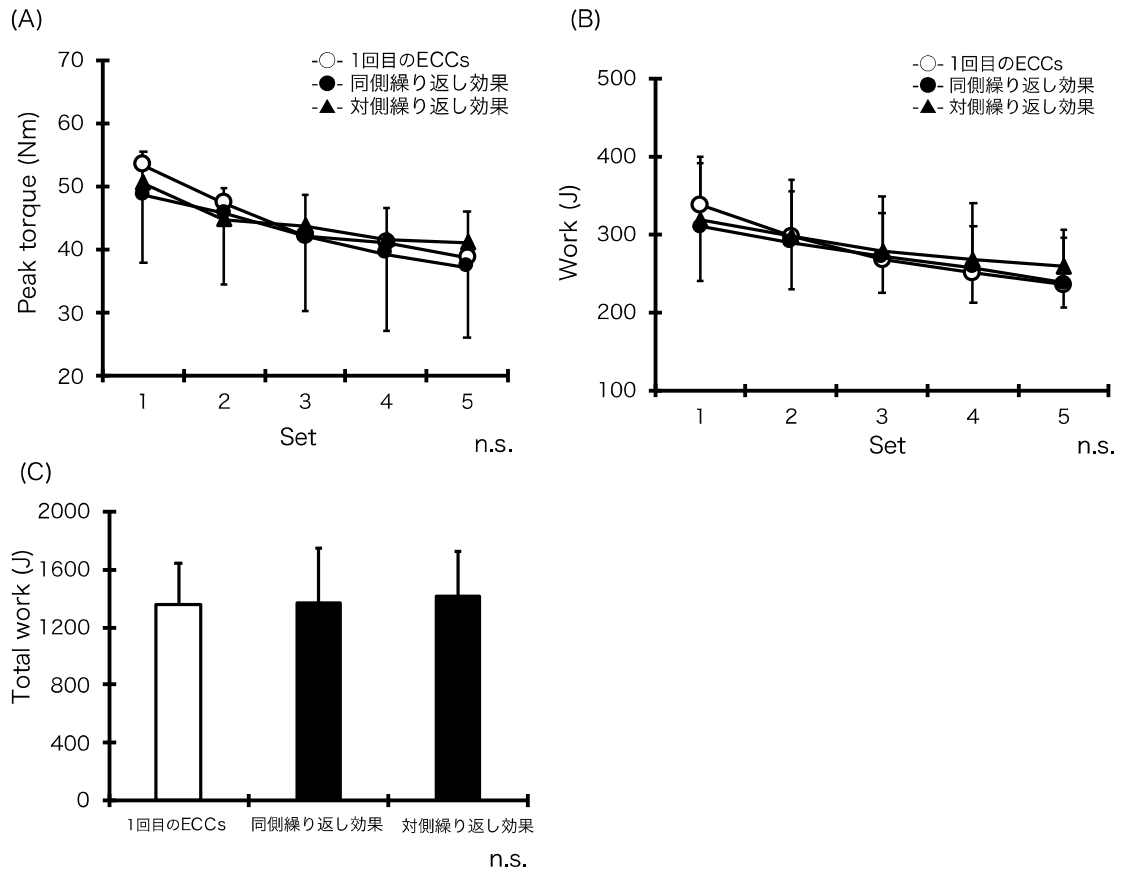


図 1. 1 回目および 2 回目の同側、対側の伸張性収縮における(A)各セットのピークトルク、(B)各セットの仕事量、(C)全セットの総仕事量. n.s. 有意差なし.

(2) 1 回目および 2 回目の同側、対側の伸張性収縮前後の等尺性最大筋力、関節可動域、遅発性筋痛、筋横断面積の比較

1 回目および 2 回目の同側、対側の伸張性収縮前後の筋損傷マーカーの経時変化を図 2 に示した(図 2)。等尺性最大筋力については、運動 1 日後から 5 日後まで 1 回目の伸張性収縮(ECCs)に比べて 2 回目の同側および対側の方が有意に大きい値を示した。関節可動域(ROM)についても、運動 1 日後から 3 日後まで 1 回目の ECCs に比べて 2 回目の同側および対側の方が有意に大きい値を示した。さらに、遅発性筋痛についても運動 2 日後および 3 日後において 1 回目の ECCs に比べて 2 回目の同側および対側の方が有意に抑制された。筋の腫れの指標である筋横断面積(CSA)については、運動直後から 5 日後まで 1 回目の ECCs に比べて 2 回目の同側の方が、有意に腫れが抑制された。

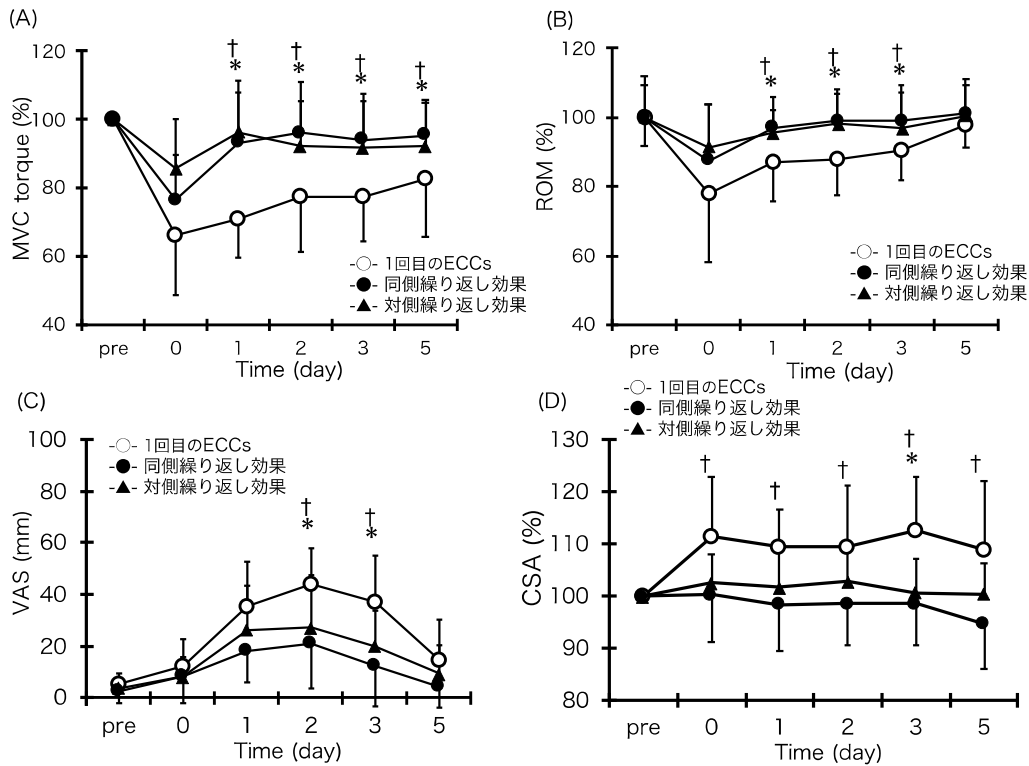


図 2.

1 回目および 2 回目の同側、対側の伸張性収縮前後の(A)等尺性最大筋力、(B)関節可動域、(C)遅発性筋痛、(D)筋横断面積の比較. † $p < 0.05$, 1 回目の伸張性収縮と 2 回目の同側の伸張性収縮との比較. * $p < 0.05$, 1 回目の伸張性収縮と 2 回目の対側の伸張性収縮との比較.

(3) 1 回目および 2 回目の同側、対側の伸張性収縮直後の横緩和時間(T2)の比較

筋線維の動員を反映する、運動直後の T2 の上昇については、1 回目の ECCs に比べて 2 回目の同側および対側の方が有意に大きい値を示した。

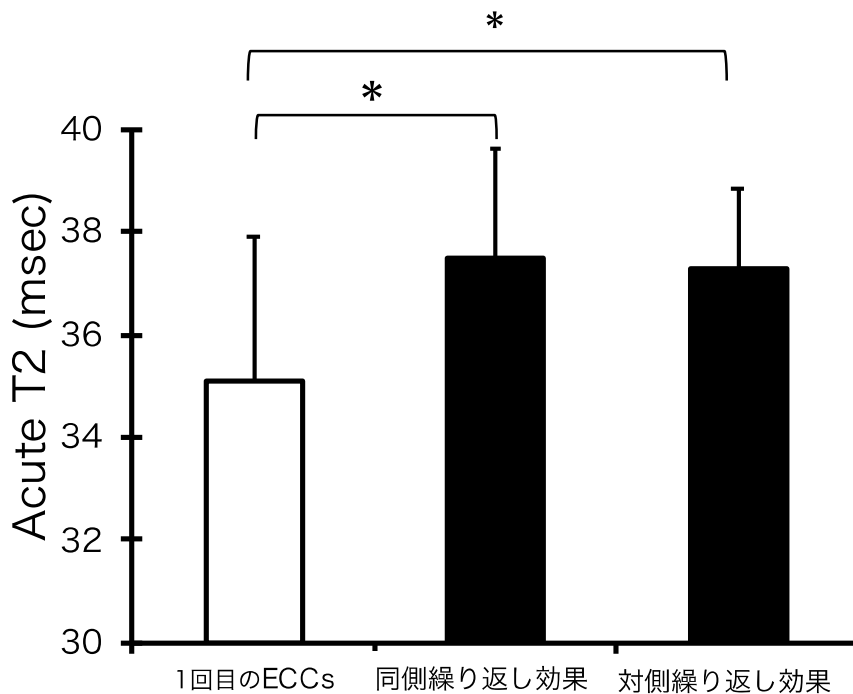


図 3. 1 回目および 2 回目の同側、対側の伸張性収縮直後の横緩和時間(T2)の比較. * $p < 0.05$

(4) 結果のまとめ

本研究では、先行研究と同様に伸張性収縮を繰り返し実施することによって、運動を実施した腕と運動を実施していない腕の筋損傷が有意に抑制されることが確認された。さらに、本研究では同側および対側の伸張性収縮による筋線維の動員が有意に増加することが示された。以上の結果から、繰り返し効果のメカニズムの原因の一つに筋線維の動員が関連していることが示唆された。本研究結果は、片側性の筋運動の反対側への効果メカニズムにとどまらず、スポーツや運動で受傷した際に余儀なくされるギプス固定や不活動の後のリハビリテーションに応用可能なデータを提示するものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10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 Kikuchi N*, Tsuchiya Y*, Nakazato K, Ishii N, Ochi E (*イコールコントリビュートドオーサー)	4. 巻 39
2. 論文標題 Effects of the ACTN3 R577X genotype on the muscular strength and range of motion before and after eccentric contractions of the elbow flexors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 148-153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1055/s-0043-120762	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ochi E, Tsuchiya Y	4. 巻 29
2. 論文標題 Eicosapentaenoic Acid (EPA) and Docosahexaenoic Acid (DHA) in Muscle Damage and Function	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nu10050552	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 Sato T, Sakuraba K, Tsuchiya Y, Maruyama S, Ochi E	4. 巻 32
2. 論文標題 Seasonal variations of bone metabolism and bone mineral density in collegiate alpine skiers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Strength and Conditioning Research	6. 最初と最後の頁 1448-1454
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1519/JSC.0000000000001987.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ochi E, Maruo M, Tsuchiya Y, Ishii N, Miura K, Sasaki K	4. 巻 2
2. 論文標題 Higher training frequency is important for gaining muscular strength under volume-matched training	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fphys.2018.00744.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morishima T, Tsuchiya Y, Iemitsu M, Ochi E	4. 巻 1
2. 論文標題 High-intensity resistance exercise with low repetitions maintains endothelial function	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology	6. 最初と最後の頁 681-686
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/ajpheart.00281.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuchiya Y, Nakazato K, Ochi E	4. 巻 118
2. 論文標題 Contralateral repeated bout effect after eccentric exercise on muscular activation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 1997-2005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00421-018-3933-9.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ochi E, Yanagimoto K, Morishima T, Tsuchiya Y	4. 巻 38
2. 論文標題 Eicosapentaenoic Acid-Rich Fish Oil Supplementation Inhibits the Decrease in Concentric Work Output and Muscle Swelling of the Elbow Flexors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American College of Nutrition	6. 最初と最後の頁 125-131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/07315724.2018.1470042.	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 Tsuchiya Y, Ueda H, Ochi E	4. 巻 59
2. 論文標題 Muscular Recruitment Is Associated With Muscular Function and Swelling Following Eccentric Contractions of Human Elbow Flexors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness	6. 最初と最後の頁 1097-1101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23736/S0022-4707.18.09102-8.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuchiya Y, Hirayama K, Ueda H, Ochi E	4. 巻 38
2. 論文標題 Two and Four Weeks of -Hydroxy- -Methylbutyrate (HMB) Supplementations Reduce Muscle Damage Following Eccentric Contractions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American College of Nutrition	6. 最初と最後の頁 373-379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/07315724.2018.1528905.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuchiya Y, Yanagimoto K, Ueda H, Ochi E	4. 巻 15
2. 論文標題 Supplementation of Eicosapentaenoic Acid-Rich Fish Oil Attenuates Muscle Stiffness After Eccentric Contractions of Human Elbow Flexors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the International Society of Sports Nutrition	6. 最初と最後の頁 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12970-019-0283-x.	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1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Tsuchiya Y, Ochi E
2. 発表標題 2- and 4-week supplementations with -Hydroxy- -Methylbutyrate (HMB) reduce eccentric exercise-induced muscle damage
3. 学会等名 Nutrition
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----