

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：33805

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K20055

研究課題名（和文）二関節筋のユニークな振る舞いに着目した筋損傷メカニズムの解明

研究課題名（英文）Elucidating mechanisms of muscle damage focused on the unique behavior of biarticular muscles

研究代表者

江間 諒一（Ema, Ryoichi）

静岡産業大学・スポーツ科学部・准教授

研究者番号：10768196

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）：骨格筋（いわゆる筋肉）は、スポーツを含む身体動作中にその長さを伸ばしながら力を発揮する伸張性収縮を行う場面が多い。高強度の伸張性収縮によって筋に損傷（筋損傷）が生じ、遅発性筋肉痛や身体運動パフォーマンスの低下、さらには怪我が発生する可能性がある。特に怪我が生じやすい二関節筋（近位と遠位、二つの関節を跨いで骨に付着する骨格筋の総称）に筋損傷が生じるメカニズムについて検討した。近位関節を伸ばした状態で伸張性運動を行うと、関節を曲げた状態で運動する場合よりも大きな筋損傷が生じることが分かった。その理由として、近位関節を伸ばした状態では、運動中の筋の長さ変化が大きい可能性が関係していると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

二関節筋は身体運動において重要な役割を果たすことが分かっている。その二関節筋に筋損傷が生じると、身体運動パフォーマンスの低下や、筋肉痛による運動意欲の減退、ひいては不活動につながる恐れがある。本研究の結果を活用することで、パフォーマンスの低下や不活動を防ぐための効果的な方法を開発することができると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Skeletal muscles, commonly known as muscles, often undergo eccentric contractions during physical activities, including sports, where they exert force while lengthening. High-intensity eccentric contractions can result in muscle damage, leading to delayed-onset muscle soreness, decreased physical performance, and even injuries. The mechanism of muscle damage in biarticular muscles (muscles that cross two joints) was investigated. It was found that performing eccentric exercises with the proximal joint extended leads to greater muscle damage compared to exercising with the joint flexed. This may be related to the greater length change during exercise when the proximal joint is extended.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：筋損傷 二関節筋 関節角度 サイクリング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

骨格筋は、スポーツ動作を含む身体運動中にその長さを伸ばしながら力を発揮する、伸張性収縮を行う場面が多い。高強度の伸張性収縮によって筋損傷が誘発されると考えられている。筋損傷は、遅発性筋肉痛や身体運動パフォーマンスの低下を引き起こすため、筋損傷が生じる詳細なメカニズムの解明は重要な課題である。

近位と遠位の二つの関節を跨いで骨に付着する骨格筋を二関節筋と呼ぶ。先行研究によれば、二関節筋は伸張性収縮に関連したスポーツ外傷が発生しやすい(Pasta et al. 2010)。そのため、二関節筋を対象として筋損傷のメカニズムを解明することができれば、痛みや身体機能の低下、怪我を防ぐための効果的な手段の確立につながることを期待できる。

伸張性収縮中における二関節筋の長さ変化は、近位関節角度の影響を受けることが報告されている(Wakahara et al. 2009)。よって、異なる近位関節角度において筋損傷が誘発されるほどの伸張性収縮を実施し、その時の筋の長さ変化を定量すれば、筋の長さ変化という観点から、筋損傷のメカニズムに迫ることができる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、二関節筋が、関節角度の影響を受けて特徴的な振る舞いをみせるという点に着目し、筋損傷のメカニズムを解明することを目的とした。さらに、二関節筋はその解剖学的特徴から、近位関節と遠位関節が同時に伸張・屈曲する多関節運動において長さ変化が小さく、単関節筋とは異なった活動様相を示す可能性がある。そこで、多関節で実施する伸張性運動時における二関節筋の神経筋活動の特徴を明らかにすること、および伸張性収縮時の筋力の大きさをスポーツ外傷と関連付ける実験も行うことで、痛みや身体機能の低下、および怪我の予防につながる手段の確立に繋がる知見の獲得を目指した。

3. 研究の方法

(1) 伸張性運動における近位関節角度の影響

太腿前面に存在する二関節筋である大腿直筋について、安静時の筋束長および羽状角の定量方法を開発している(Ema et al. 2013)。この方法を用いて、伸張性膝関節伸展運動中における大腿直筋の筋束動態の定量を試みた。しかしながら、予備実験において、高精度での計測が困難であることが判明したため、本実験では計測を断念した。先行研究において、二関節筋の近位関節が屈曲した状態で伸張性運動を行うと、伸展した状態で行う場合と比較して、筋束の伸長量が少なく、屈曲位ではほとんど伸長しなかったことが報告されている(Wakahara et al. 2009)。そこで、若年男性 18 名を対象に、股関節伸展位 ($n = 10$ 名)あるいは股関節屈曲位 ($n = 8$ 名)で伸張性膝関節伸展運動を実施した。超音波せん断波エラストグラフィ法を用いて、運動の直前および翌日における大腿直筋のせん断波の伝播速度を計測した。伝播速度が増加している場合、筋損傷が生じていると判断した。

(2) 多関節伸張性運動と短縮性運動時の神経筋活動：二関節筋と単関節筋の比較

若年男性 11 名が 30 秒間の短縮性サイクリング(通常のペダリング運動)および、人工的に逆回転するペダルにブレーキをかけるように力発揮する伸張性サイクリングを実施した。運動強度は、100W から 300W (50W ごと)の 5 強度とした。表面筋電図を用いて、二関節筋である大腿直筋の近位部と遠位部、および単関節筋である外側広筋の神経筋活動を計測した。ゴニオメータを用いてサイクリング中の膝関節角度をリアルタイム計測した。ゴニオメータの結果から、短縮性サイクリングについては膝関節が伸展する局面、伸張性サイクリングについては膝関節が屈曲する局面を同定し、神経筋活動の分析区間とした。神経筋活動は、分析区間の root-mean square を算出(RMS-EMG)し、等尺性最大随意収縮時(MVC)の活動を 100%として正規化した。合わせて、ボルグスケールにより、サイクリングの自覚的運動強度を評価した。

(3) 伸張性筋力とスポーツ外傷との関連

伸張性運動は筋損傷のみならず、肉離れなどのスポーツ外傷を引き起こすことが知られている。そこで、スポーツ選手 61 名を対象に、伸張性運動中の最大筋力と過去 2 年間におけるスポーツ外傷の受傷歴を調べた。スポーツ外傷が多い二関節筋として、ハムストリングスが知られていることから、伸張性膝関節屈曲運動を対象とした。伸張性膝関節屈曲運動時における最大筋力を計測し、ハムストリングスの肉離れ受傷歴がある選手と無い選手間で比較を行った。最大筋力は体重で除して正規化した。

4. 研究成果

(1) 伸張性運動における近位関節角度の影響

伝播速度には有意な交互作用(群×時間)がみられた。股関節伸展位で伸張性膝関節伸展運動を実施した群は伝播速度が有意に増加したものの、股関節屈曲位で実施した群については、有意

な変化がみられなかった(図1)。すなわち、股関節伸展位で伸張性膝関節伸展運動を実施した群のみ、二関節筋である大腿直筋の筋損傷が観察された。

(2) 多関節伸張性運動と短縮性運動時の神経筋活動：二関節筋と単関節筋の比較

自覚的運動強度は、いずれの運動強度においても、短縮性サイクリングが伸張性サイクリングよりも有意に高かった。外側広筋の神経筋活動についても同様に、全ての運動強度について、短縮性サイクリング時のものが有意に大きかった(図2)。一方、二関節筋である大腿直筋近位について、100W~200Wにおいては、伸張性サイクリングのほうが短縮性サイクリングよりも神経筋活動が有意に大きく、250Wおよび300Wについては、サイクリング間で有意差がみられなかった(図3)。遠位も同様の結果であった。さらに、自覚的運動強度が同様であった伸張性サイクリング(250W)と短縮性サイクリング(150W)において、神経筋活動を比較した。その結果、外側広筋については神経筋活動に有意差がみられなかったのに対して、大腿直筋では伸張性サイクリング時で有意に大きかった(図4)。すなわち、単関節筋の神経筋活動については、代謝的負荷が同条件であれば、多関節伸張性運動と短縮性運動間で差がないものの、二関節筋については、代謝的負荷が同様の条件であっても、伸張性運動で神経筋活動が大きいことが示唆された。

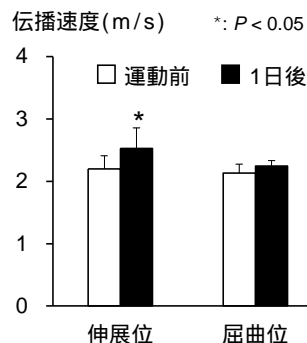


図1 伸張性膝関節伸展運動前および運動翌日のせん断波伝播速度

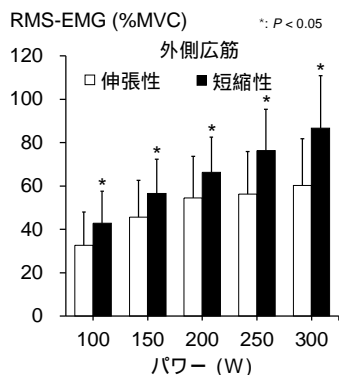


図2 単関節筋(外側広筋)の神経筋活動

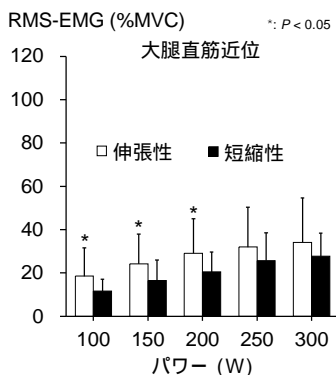


図3 二関節筋(大腿直筋)の神経筋活動

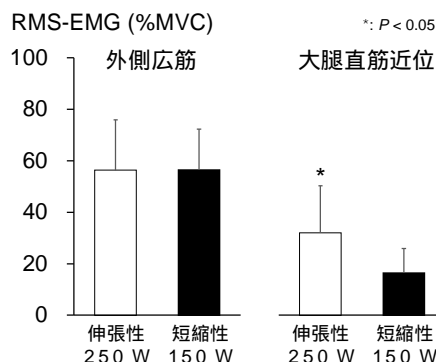


図4 自覚的運動強度が同様の条件下での神経筋活動の比較

(3) 伸張性筋力とスポーツ外傷との関連

過去2年間に肉離れの受傷歴があるスポーツ選手は、受傷歴が無い選手と比較して伸張性膝関節屈曲筋力が有意に低かった(図5)。本研究は前向き研究ではないため因果関係に言及することはできないが、伸張性筋力がスポーツ外傷を防ぐために重要であることが示唆された。

(4) まとめ

伸張性運動によって生じる二関節筋の筋損傷の程度は、跨ぐ近位関節角度の影響を受けることが明らかとなった。その理由として、近位関節が伸展位で運動を行った場合、屈曲位と比較して、筋の長さ変化が大きいことが関係していると考えられた。さらに、伸張性多関節運動時における二関節筋の神経筋活動は、短縮性運動や単関節筋とは大きく異なること、伸張性筋力がスポーツ外傷を防ぐために重要であることが示唆された。

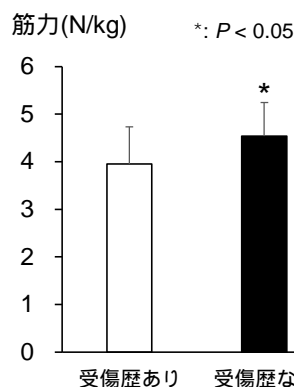


図5 伸張性膝関節屈曲筋力

<引用文献>

Wakahara T, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Effects of knee joint angle on the fascicle behavior of the gastrocnemius muscle during eccentric plantar flexions. J Electromyogr Kinesiol. 2009;19(5):980-987.
 Pasta G, Nanni G, Molini L, Bianchi S. Sonography of the quadriceps muscle: Examination technique, normal anatomy, and traumatic lesions. J Ultrasound. 2010;13(2):76-84.
 Ema R, Wakahara T, Mogi Y, Miyamoto N, Komatsu T, Kanehisa H, Kawakami Y. In vivo measurement of human rectus femoris architecture by ultrasonography: validity and applicability. Clin Physiol Funct Imaging. 2013;33(4):267-273.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ema Ryoichi	4. 巻 23
2. 論文標題 Association between elastography assessed muscle mechanical properties and high speed dynamic performance	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Sport Science	6. 最初と最後の頁 1233 ~ 1239
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/17461391.2022.2097129	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 Ryoichi Ema	4. 巻 63
2. 論文標題 Unique neuromuscular activation of the rectus femoris during concentric and eccentric cycling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Electromyography and Kinesiology	6. 最初と最後の頁 102638
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jelekin.2022.102638	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 Ema R, Kanda A, Shoji M, Iida N, Akagi R	4. 巻 11
2. 論文標題 Age-related differences in the effect of prolonged vibration on maximal and rapid force production and balance ability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 598996
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fphys.2020.598996	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 1件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Ryoichi Ema
2. 発表標題 Association between elastography-assessed muscle mechanical properties and high-speed dynamic performance
3. 学会等名 27th Annual Congress of the European College of Sports Science（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoichi Ema
2. 発表標題 Unique neuromuscular activation of the rectus femoris during concentric and eccentric cycling
3. 学会等名 26th Annual Congress of the European College of Sports Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江間諒一
2. 発表標題 短縮性および伸張性サイクリング中の大腿四頭筋の筋活動
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ema R, Kanda A, Shoji M, Iida N, Akagi R
2. 発表標題 Age-related differences in the effect of prolonged vibration on maximal and rapid force production and balance ability
3. 学会等名 25th Annual Congress of the European College of Sports Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末富穂香、江間諒一
2. 発表標題 高校陸上競技選手における垂直跳びとリバウンドジャンプパフォーマンスの性差
3. 学会等名 第35回日本トレーニング科学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野智之、東海林幹生、神田章裕、江間諒一、平田浩祐、赤木亮太
2. 発表標題 伸張性膝関節屈曲運動がもたらすハムストリングの筋損傷：協働筋間の違いに着目して
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江間諒一
2. 発表標題 超音波法による骨格筋形状の計測
3. 学会等名 東海体育学会第70回大会（招待講演）
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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