

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：32607

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21431

研究課題名(和文)MRIを用いたハムストリングス肉離れ予防プログラムの効果検証

研究課題名(英文)Assessment of hamstrings injury prevention program by using MRI

研究代表者

小野 高志(ONO, TAKASHI)

北里大学・一般教育部・講師

研究者番号：80614346

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スポーツ活動中のハムストリングス肉離れを予防するためのトレーニング方法を開発することを目的に、継続的なハムストリングスのトレーニング介入を実施した際の各筋の形態や機能に及ぼす変化を測定するとともに、肉離れ発生率との関連性について調査した。その結果、立位での股関節伸展トレーニングであるシングルレッグデッドリフトを実施した群において、トレーニング介入前と比較して有意な股関節伸展トルクの増大と大腿二頭筋長頭・半膜様筋の筋横断面積の増大が見られた。しかし、他の群も含めてすべての被験者で肉離れは発生しなかったため、予防トレーニングとしての有用性は明らかにできなかった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop a training method to prevent hamstrings muscle strain injury during sports activities. We have measured the changes on morphology and function of each muscle when continuous hamstrings training intervention was performed, and investigated the relevance to the incidence of muscle strain injury. As a main results, a significant increase of hip extension torque and hypertrophy of the biceps femoris long head and semimembranosus muscle has found after the intervention only in hip extension training group. However, the effectiveness of hip extension training as hamstrings strain injury prevention has not been clarified since no strain injury has occurred in all subjects.

研究分野：筋生理学、トレーニング科学、スポーツ医学

キーワード：ハムストリングス 肉離れ 予防トレーニング MRI

### 1. 研究開始当初の背景

大腿四頭筋やハムストリングス、下腿三頭筋など、複数の筋が構造および機能を部分的に共有しつつ跨がる 2 つの関節運動に働く、いわゆる協働二関節筋群はスポーツ活動において高速かつ大きな力発揮を繰り返し要求されることで自発的な筋損傷である“肉離れ”が好発する。特にハムストリングス肉離れは、全力疾走(スプリント)動作中の遊脚期後半で膝関節の伸展を制限・調整し(Petersen and Holmich 2005)、接地期前半で地面への反発力を生み出すための瞬間的な強い伸張性の負荷がかかる場面で起こるとされる(山本 2000)。とりわけ大腿二頭筋長頭(Biceps femoris long head: BF<sub>lh</sub>)の肉離れはスポーツ活動中に発生する急性外傷の中でも特に発生率が高く、一旦治癒してスポーツ活動に復帰しても再発するケースが多い(Brooks ら 2006)。Mendiguchia ら(2012)は、過去 30 年ほどの間、肉離れ発生メカニズムや予防法の研究が数多く行われてきた反面、発生率や再発率は依然低下する傾向にない原因の 1 つにハムストリングス肉離れの実態と予防に関する高いレベルのエビデンスに基づく医科学的知見が欠如していることを挙げている。

研究代表者はこれまでに、伸張性膝関節屈曲運動では半腱様筋(Semitendinosus: ST)および大腿二頭筋短頭(Biceps femoris short head: BF<sub>sh</sub>)が、伸張性股関節伸展運動では BF<sub>lh</sub> および半膜様筋(Semimembranosus: SM)がそれぞれ高い活動を示すことを運動前後の MRI・T2 値測定によって明らかにしている(Ono et al. 2010, 2011)。このような機能的差違には、個々の筋の構造的特徴(ST, BF<sub>sh</sub> は紡錘状筋, BF<sub>lh</sub>, SM は羽状筋)の関与が大きいことが示唆されたが、これら一連の研究においては各運動に伴う筋内の一過性の変化を明らかにしたに過ぎず、継続的にトレーニングとして実施した際の筋の機能的・形態的变化や肉離れ受傷率との関係については明らかにできていなかった。

上記の研究背景を踏まえ、ハムストリングス肉離れはスプリント動作中の接地期前半に、BF<sub>lh</sub> が伸張性収縮を伴う股関節伸展運動を強制される場合に発生する可能性が示唆されたことから、「BF<sub>lh</sub> の伸張性収縮を伴う立位での股関節伸展運動を継続的に行うことでハムストリングス肉離れの発生率を低減させることができる」との仮説を立てた。研究代表者はこの仮説を検証するに当たり、予備研究を行い前向きな結果を得た(小野と藤井, 2013)。Single-leg Deadlift と呼ばれる片脚立位で股関節屈曲・伸展するトレーニングを 8 週間継続して行なったところ、ハムストリングス肉離れの発生リスクの 1 つとされる Quadriceps (大腿四頭筋)の筋力に対する Hamstrings の筋力の比(いわゆる H:Q 比)が股関節において有意に増加した。しかし、筋力(関節トルク)を生成する要素とな

る神経筋機能や筋横断面積の変化などの生理学的根拠は得られていなかった。また、トレーニング介入の期間が 8 週間と短く、介入の前後で肉離れの発生率が低減したかどうかは明らかになっていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では以下の 3 点を明らかにすることを目的とした。また、被験者はスプリント動作を含むスポーツ種目の大学生競技選手とした。

(1) 様々な動作様式でのハムストリングスの伸張性収縮を伴うトレーニングによって、ハムストリングス各筋(BF<sub>lh</sub>, ST, SM)の神経筋機能がどのように変化するか。

仮説: Single-leg Deadlift のような股関節伸展運動を継続して行なった場合、BF<sub>lh</sub> が伸張される肢位(股関節屈曲位)での筋放電量が増加するが、他のトレーニング様式、もしくは他の筋では変化しない。

(2) 様々な動作様式でのハムストリングスの伸張性収縮を伴うトレーニングによって、ハムストリングス各筋(BF<sub>lh</sub>, ST, SM)の筋形態がどのように変化するか。

仮説: Single-leg Deadlift のような股関節伸展運動を継続して行なった場合、BF<sub>lh</sub> の筋横断面積が増加するが、他のトレーニング様式、もしくは他の筋では変化しない。

(3) 様々な動作様式でのハムストリングスの伸張性収縮を伴うトレーニングによって、肉離れの発生率が低減するか。

仮説: Single-leg Deadlift のような股関節伸展運動を継続して行なった場合、BF<sub>lh</sub> の肉離れ発生率は低減すると予測されるが、その程度については予測できない。

### 3. 研究の方法

[平成 27 年度前半]

(研究 1) トレーニング介入前のベースライン測定

1. 被験者: スプリント動作を含むスポーツ種目(陸上短距離走, ラクロス)の男子大学生競技選手 34 名(陸上短距離走選手 11 名, ラクロス選手 23 名)とした。ただし、本研究は 1 年間に渡る縦断的測定を主眼にしていることから、実験への参加を開始する時点で大学 1~3 年生の選手を対象とした。また、過去にハムストリングス肉離れの既往を持つ選手は対象から除外した。

2. 測定項目および測定方法: 実施場所は早稲田大学所沢キャンパス・スポーツホール 1 階の MR 室および実験室とした。MRI 撮像は、1.5-T whole body imager (Signa EXCITE XI ver. 11.0; GE Yokogawa Medical Systems,

Japan)を用い、スピンエコー法にてbody coilで大腿部のT2強調画像を撮像した。横断画像は大腿骨頭上端から坐骨結節下端まで、矢状断および前額断画像は大腿部をカバーする範囲で撮像した。撮像のシーケンスは以下の通りとした；repetition time (TR) = 3000 ms, echo time (TE) = 25 ms, matrix = 160 × 256, field of view = 260 mm, slice thickness = 10 mm, interslice gap = 0 mm。右脚 左脚の順番に撮像を行った。得られたMRIデータはDigital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)ファイル形式にてパーソナルコンピュータに保存した後、画像処理解析ソフトウェア(OSIRIS, University Hospital of Geneva, Switzerland)を用いて各被検筋(BF1h, ST, SM)の筋横断面積(CSA)を算出した。また、等速性筋力測定機(BIODEX System; Biodex Medical Systems)を用いて左右両側の股関節・膝関節の屈曲・伸展筋力を測定した。股関節の運動範囲は仰臥位で0°(完全伸展位)~100°屈曲位まで、膝関節の運動範囲は伏臥位で0°(完全伸展位)~100°屈曲位とした。運動様式は等尺性(関節角度30°)および短縮性(角速度60°/秒, 180°/秒, 300°/秒)とした。また、運動中のハムストリングス各筋(BF1h, ST, SM)の筋放電量をサンプリング周波数2,000 Hzで計測した。表面筋電計ME6000(Mega Electronics Ltd, Finland)を用い、アナログ出力用アダプタ(Mega Electronics Ltd, Finland)を経由し、Power Lab.(AD Instruments Japan Inc.)を用いてA/D変換を行い、パーソナルコンピュータに記録した。また、ダイナモメーターからの関節角度および関節トルク信号も筋電図信号と同様にパーソナルコンピュータに記録した。表面電極の貼付位置は、貼付直前に超音波診断装置(SSD-1000, Aloka社)を用いて各筋の筋腹位置を確認した上で決定した。

[平成27年度後半~平成28年度]  
(研究計画)ハムストリングスのトレーニング介入が筋の機能・形態に及ぼす変化と肉離れの予防効果の検証

1. トレーニング介入：被験者の競技種目特性を考慮し、陸上短距離走選手およびラクロス選手をそれぞれ独立した群として研究を行った。陸上短距離走選手11名に対してはSingle-leg Deadlift (DL)の介入を行った。ラクロス選手23名に対しては、トレーニング種目によってSingle-leg Deadlift (DL)群8名、Nordic Hamstrings (NH)群8名、コントロール(介入なし, CR)群7名の3群に分けて介入を行った。

DLは片脚垂直立位(股関節0°、膝関節0°)の状態を開始肢位とし、被験者はこの状態で各手に体重の15%(計30%)のダンベルを持ち、脊柱の前湾が出ないことと膝関節が屈

曲しないことに注意し、体幹が床と平行になるまで股関節を90°屈曲(体幹前屈)させ(ハムストリングスの伸張性収縮)、この状態から股関節を伸展させ垂直立位に再び戻る(ハムストリングスの短縮性収縮)ことを1回の試技とした。

NHは膝立ちで股関節0°、膝関節90°屈曲位の状態を開始肢位とし、その状態から膝から上の体全体をゆっくりと前方に倒していくように膝関節をできるだけ伸展し(ハムストリングスの伸張性収縮)、耐えきれなくなったところで脱力して最後は床に手を付くことを1回の試技とした。負荷は自重とした。

各群とも中2日以上以上の休息日を挟み、週2日、各日10回×3セットのトレーニングを行う。負荷量は各群とも体重(kg)を基準としたため、毎回のトレーニング前に体重を計測して行った。また、動作が正確かつ確実に行われることを保証するため、被験者が所属するチームのトレーナーも含めて正しいトレーニング動作の指導を事前に行い、毎回トレーナーの監督下で行ってもらうようにした。

## 2. 傷害発生状況の調査

被験者が所属するチームのトレーナーに依頼し、被験者の傷害発生状況(受傷部位、傷害の種類、受傷時の接触の有無、等)について記録、報告してもらった。傷害が発生した場合には、速やかに早稲田大学スポーツ医科学クリニックの整形外科部門の医師に相談し評価を依頼した。傷害(特に下肢)の発生によって競技への参加を中断せざるを得なくなった場合には、以後の研究対象者から除外した。

## 3. 解析項目

介入開始時点から1, 3, 6ヶ月後(陸上短距離走選手については介入開始時点から1, 3ヶ月後)に研究1に記した筋力測定およびMRI撮像を実施した。測定した筋力、筋放電量、およびMRIデータの各項目について、介入前の値との比較を行った。また、傷害調査の記録からハムストリングス肉離れの発生率(/1000 player hours)を算出し、群間比較および各測定項目との関係性を検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 陸上短距離走選手に対するトレーニング介入効果

陸上短距離走選手11名に対し、3か月間のSingle-leg Deadliftによるトレーニング介入を行った結果、以下の結果を得た。

#### 等速性筋力

介入前(Pre)と比較して、介入開始時点から1, 3ヶ月後に角速度180°/秒での股関節伸展筋力が有意に増加した(図1)。また、膝関節ではすべての角速度における膝関節屈曲筋力が介入前と比較して、介入開始時点から1, 3ヶ月後に有意に増加していた( $P <$

0.05) が、角速度 60°/秒, 180°/秒においては膝関節伸展筋力も有意に増加していた(図2)。

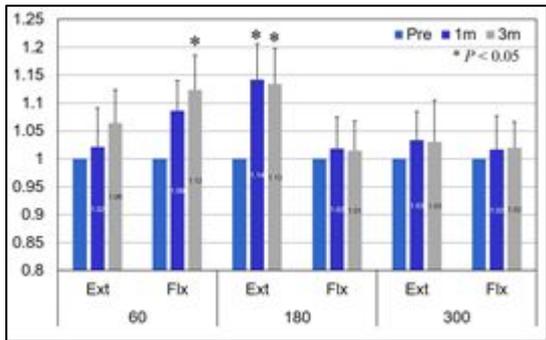


図1. 股関節トルク比 (vs Pre)

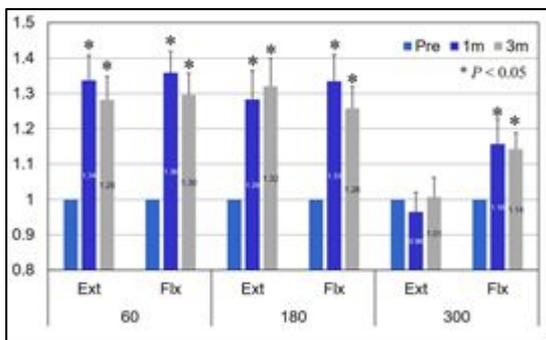


図2. 膝関節トルク比 (vs Pre)

筋横断面積

介入前 (Pre) と比較して、介入から 1 ヶ月後には SM において、3 ヶ月後には SM および BF1h において、有意な筋横断面積の増加が見られた(図3, 4)。

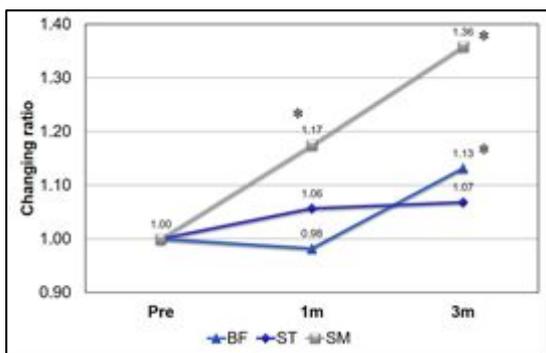


図3. 筋横断面積比 (vs Pre)

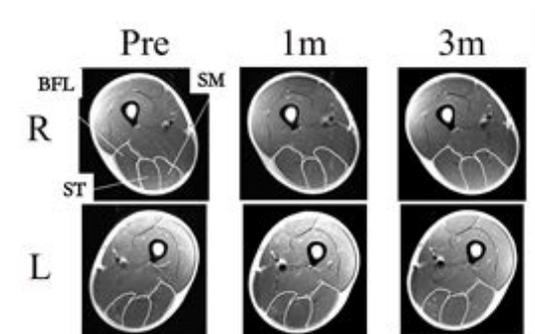


図4. MRI 横断画像例

肉離れ発生率  
すべての選手において、肉離れは発生しなかった。

(2) ラクロス選手に対するトレーニング介入効果

ラクロス選手 23 名に対し、トレーニング種目によって Single-leg Deadlift (DL) 群 8 名, Nordic Hamstrings (NH) 群 8 名, コントロール群 (介入なし) 7 名の 3 群に分けて介入を行った結果、以下の結果を得た。

等速性筋力

介入前 (Pre) と比較して、DL 群では介入開始時点から 1, 3, 6 ヶ月後に角速度 180°/秒での股関節伸展筋力が有意に増加した(図5)。NH 群および CR 群では角速度 60°/秒, 180°/秒での膝関節伸展筋力が有意に増加した(図6, 7)。

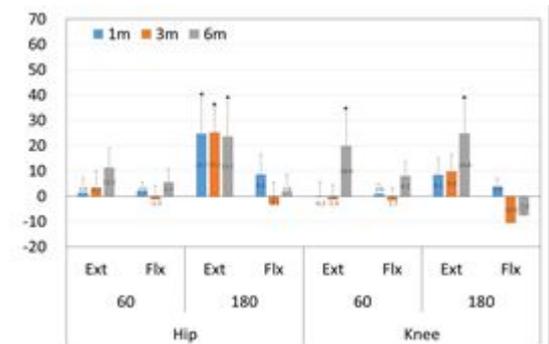


図5. DL 群のトルク変化率 (vs Pre)

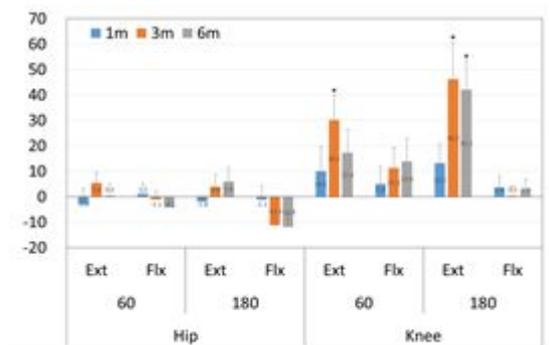


図6. NH 群のトルク変化率 (vs Pre)

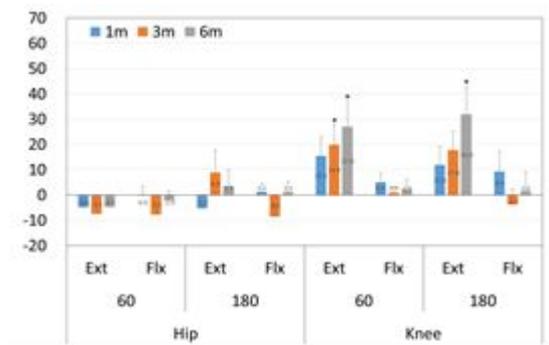


図7. CR 群のトルク変化率 (vs Pre)

### 筋横断面積

介入前 (*Pre*) と比較して, DL 群では介入から 1 ヶ月後には SM, 3 ヶ月後には SM および BFIh, 6 ヶ月後には BFIh において, それぞれ有意な筋横断面積の増加が見られた. NH 群では介入から 1 ヶ月後には ST および SM において有意な筋横断面積の増加が見られた. CR 群ではいずれの筋についても有意な変化は見られなかった (図 8, 9, 10, 11).

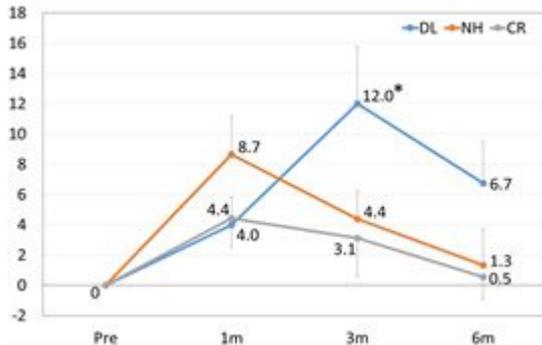


図 8 . BFIh の筋横断面積変化率 (vs Pre)

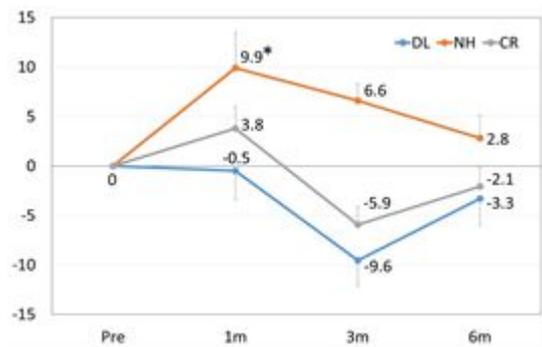


図 9 . ST の筋横断面積変化率 (vs Pre)

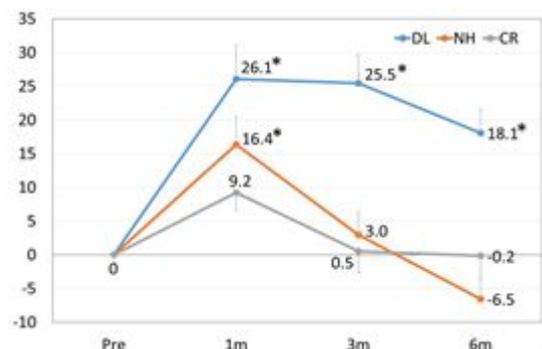


図 10 . SM の筋横断面積変化率 (vs Pre)

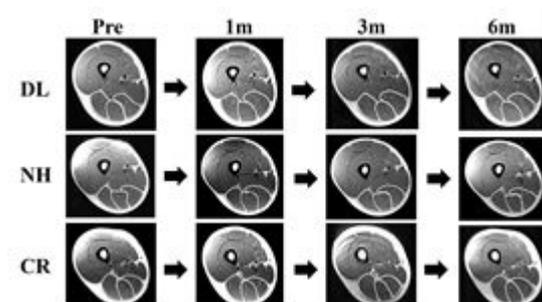


図 11 . MRI 横断画像例

### 肉離れ発生率

すべての選手において, 肉離れは発生しなかった.

以上の結果から, Single-leg Deadlift を長期の介入トレーニングとして実施した場合, 股関節伸展トルクおよび大腿二頭筋長頭・半膜様筋の筋横断面積が増加すると考えられた. しかし, トレーニング介入の種類や有無に関わらず今回の実験では肉離れが発生しなかったため, Single-leg Deadlift の肉離れ予防効果については明らかにできなかった.

### 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0件)

[学会発表](計2件)

Takashi Ono, Michio Tojima, Norikazu Hirose. Hamstrings Training Effect on Hip and Knee Joint Function, Morphology of Hamstring Muscles, and Injury Prevention. IOC World Conference on Prevention of Injury and Illness in Sport. 2017年3月17日, モナコ(モナコ).

Takashi Ono, Michio Tojima, Norikazu Hirose. Hamstrings training effect on hip and knee joint function and muscle morphology. The 5th NSCA International Conference. 2017年1月28日, 幕張メッセ(千葉県千葉市美浜区).

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 高志 (ONO, Takashi)  
北里大学・一般教育部・講師  
研究者番号：80614346

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者