

2022 年度 修士学位論文

題目：最大等尺性膝関節屈曲および股関節伸展時における
ハムストリングスの筋活動レベルに生じる差異

立命館大学大学院
スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程
スポーツ健康科学専攻 2 回生

学生証番号：6232210008-1

氏 名：小野 宗隆

2022 年度修士学位論文

最大等尺性膝関節屈曲および股関節伸展時
におけるハムストリングスの筋活動レベル
に生じる差異

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻 博士課程前期課程 2 回生

6232210008-1

小野 宗隆

最大等尺性膝関節屈曲および股関節伸展時 におけるハムストリングスの筋活動レベル に生じる差異

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2 回生
小野 宗隆

要 旨

キーワード：筋電図，筋長，関節角度変化

【目的】

下肢後面の多関節筋であるハムストリングスは、膝関節と股関節をまたいでいることから膝関節屈曲と股関節伸展に関与することが知られている。しかしこの議論は、ハムストリングスの構造的特徴のみに基づいた議論であり、これまで膝関節屈曲と股関節伸展時におけるハムストリングスの筋活動を動作間で比較した研究は限られている。したがってハムストリングスが膝関節屈曲および股関節伸展それぞれの動作に対してどの程度関与しているのかは未だ明らかになっていない。そこで本研究では、最大随意等尺性収縮での膝関節屈曲および股関節伸展時において、ハムストリングスの筋活動レベルに差異が見られるのかどうかを明らかにすることを目的とした。

【方法】

健康成人男性 14 名を対象に、Biodex 上に仰臥位で膝関節 90° 屈曲位、足関節中間位（解剖学的肢位）で固定し、股関節屈曲角度を 90°、45°、0°、-20°（股関節伸展位）に変化させ、3 秒間全力の等尺性膝関節屈曲および股関節伸展をランダムな順序で 3 試行ずつ実施した。それぞれの動作中の大腿二頭筋長頭、半腱様筋、大殿筋から表面筋電図（Electromyography: EMG）データを取得した。統計処理は、反復二

元配置分散分析を用いて、課題（膝関節屈曲および股関節伸展）と関節角度の主効果およびそれらの交互作用を評価した。

【結果】

大腿二頭筋長頭および半腱様筋の筋活動レベルには、有意な課題の主効果 ($p = 0.001$) が認められたものの、有意な関節角度の主効果 ($p = 0.091$) および交互作用 ($p = 0.188$) は認められなかった。また大殿筋の筋活動レベルにおいても有意な課題の主効果 ($p = 0.014$) が認められたが有意な関節角度の主効果 ($p = 0.290$) および交互作用 ($p = 0.309$) は認められなかった。これらの結果から、ハムストリングスの筋活動レベルは、どの股関節屈曲角度においても、膝関節屈曲時と比較して股関節伸展時において有意に低値を示し ($p < 0.001$)、大殿筋の筋活動レベルは、股関節屈曲角度に関係なく、膝関節屈曲時よりも股関節伸展時に高値を示した ($p = 0.014$)。

【考察】

大腿二頭筋長頭および半腱様筋の筋活動レベルが、全ての股関節屈曲角度下において、等尺性膝関節屈曲時よりも股関節伸展時に低下した理由として、股関節伸展時にはハムストリングスに対する神経刺激の抑制が生じ、筋活動レベルが低下する可能性が示された。さらに、股関節伸展時に大殿筋の筋活動が高まることで、ハムストリングスへの神経刺激が抑制され、筋活動レベルが低くなることも可能性の一つとして考えられる。

【結論】

本研究の結果、ハムストリングスの筋活動レベルは、股関節屈曲角度に関係なく、膝関節屈曲時よりも股関節伸展時において小さくなることが明らかにされた。

Differences in the muscle activation level of hamstrings between knee flexion and hip extension exercises during maximum voluntary isometric contraction

Graduation school of Sports and Health Science, Ritsumeikan University

Munetaka Ono

Abstract

Key words: Electromyography, Muscle length, Changes of joint angle

【Purpose】

The hamstrings, a posterior articular muscle of the lower extremity, straddle the knee and hip joints and are known to be involved in knee flexion and hip extension. However, this argument is based on the structural characteristics of the hamstrings, and there have been a few studies comparing hamstring muscle activity between knee flexion and hip extension. Thus, this study aimed to identify the differences of the muscle activation level of hamstrings between hip extension and knee flexion exercises during maximal voluntary isometric contraction.

【Methods】

Fourteen healthy adults sat on the Biodex with the knee flexed at 90° and the ankle in mid-position and randomly performed three trials of maximum isometric knee flexion and hip extension for 3 seconds under each hip joint angle: 90°, 45°, 0°, and -20° (hip extended). Surface electromyography (EMG) data during each trial were obtained from the biceps femoris long head, semitendinosus and gluteus

maximus. Repeated two-way ANOVA was used to evaluate the main effects of task (knee flexion vs. hip extension) and joint angle, and these interaction.

【Results】

There was a significant main effect of the task on the muscle activation level of the biceps femoris ($p < 0.001$), semitendinosus ($p < 0.001$), and gluteus maximus ($p = 0.014$). On the other hand, no significant main effect of joint angle ($p = 0.091$) and interaction ($p = 0.188$).

【Discussion】

The results showed that the muscle activation levels of hamstring muscles were significantly lower during hip extension than those of knee flexion at all hip joint angles. The reasons of the lower muscle activation level in hip extension would be the inhibition by a task-dependent neural control mechanism to the hamstrings and the muscle activation level may differ depending on the different tasks. Furthermore, the increased muscle activation in the gluteus maximus muscle would attribute to the lower muscle activation of hamstring muscles during hip extension.

【Conclusion】

The results of the present study found that the muscle activation level of the hamstring muscles were lower during hip extension than those knee flexion, regardless of the hip flexion angle.

目次

第一章 緒言	1
1-1. 多関節筋の構造的特徴と機能	1
1-2. ハムストリングスの筋活動を等尺性収縮により調査した研究	2
1-3. ハムストリングスが関与する動作間の筋活動に着目した研究	2
1-4. 本研究の目的および仮説	3
第二章 方法	3
2-1. 対象者	3
2-2. 実験デザイン	4
2-2-1. 実験設定	4
2-2-2. 表面筋電図計測	5
2-2-3. データ取得および解析	5
2-3. 統計処理	6
第三章 結果	6
第四章 考察	8
4-1. 主要な知見	8
4-2. 限界点	10
第五章 結論	11
参考文献	12
謝辞	15

用語の定義

- ・単関節筋：起始と停止の間に一つの関節を有する骨格筋
- ・多関節筋：起始と停止の間に二つ以上の関節を有する骨格筋
- ・筋活動特性：骨格筋は電氣的刺激により，筋収縮が誘発されるという特性
- ・筋活動レベル：関節運動時に骨格筋にて生じる筋放電量

略語の解説

- ・MVIC: Maximum Voluntary Isometric Contraction（最大随意等尺性収縮）
- ・sEMG: Surface Electromyography（表面筋電図）
- ・RMS: Root Mean Square（二乗平均平方根）

第一章 緒言

1-1. 多関節筋の構造的特徴と機能

人体を構成する骨格筋は単関節筋と多関節筋に大別することができ，これらの名称はそれぞれの骨格筋が有する関節の数によって決められている．例えば，単関節筋は起始と停止の間に一つの関節を有していることから一つの関節運動に関与しており，一方で，多関節筋は起始と停止の間に二つ以上の関節を有していることから二つ以上の運動に関与することが知られている．具体的に例を挙げると，下肢後面にある大腿二頭筋短頭は膝関節をまたいでいるため膝関節屈曲に作用しており，多関節筋である大腿二頭筋長頭，半腱様筋，半膜様筋は股関節と膝関節をまたいでいることから，膝関節屈曲と股関節伸展にそれぞれ作用している^[31]．

このように，多関節筋であるハムストリングスが膝関節屈曲および股関節伸展に関与している理由として，ハムストリングスが各関節に対してモーメントアームを有していることが一つ挙げられる^[4, 5]．一般的に，ハムストリングスが膝関節屈曲に対してどの程度関与しているのかは，膝関節におけるモーメントアームと，ハムストリングスの生理学的横断面積で推定できるとされており，このことから，ハムストリングスは膝関節屈曲運動にも股関節伸展運動にも等しく活動していると考えられている^[25]．しかしこの議論は、膝関節屈曲時にも股関節伸展時にも，すべてのハムストリングスが等しい筋活動レベルで収縮しているという前提の下議論が行われている．もし仮に，膝関節屈曲および股関節伸展時のハムストリングスの筋活動レベルに差異がみられる

ならば、たとえ股関節と膝関節にモーメントアームを有していたとしても、ハムストリングスの膝関節屈曲および股関節伸展に対する関与の程度は異なる可能性がある。しかしこの点に関して、これまで実際の動作間において生じる筋活動レベルを用いて比較した研究は極めて少ない。

1-2. ハムストリングスの筋活動を等尺性収縮により調査した研究

これまでハムストリングスが関与する膝関節屈曲もしくは股関節伸展時におけるハムストリングスの筋活動を調査した研究では、最大等尺性膝関節屈曲を実施する際に膝関節の角度を変化させると、ハムストリングスの筋活動は、膝関節角度間で異なるのかを調査した研究が大半を占めている^[8, 13, 19, 23, 24]。その一方で、最大等尺性股関節伸展を股関節の角度もしくは膝関節の角度を変えた条件で実施し、ハムストリングスの筋活動をそれらの関節角度間で比較したのも散見される^[12, 16, 18]。これらの研究からハムストリングスは、同じ動作内における関節角度^[8, 19, 23]およびハムストリングスを構成する筋間^[8, 13, 24, 12]において筋活動が異なることが報告されている。しかしこれらの研究では、ハムストリングスが関与する膝関節屈曲および股関節伸展時におけるハムストリングスの筋活動レベルに差異が生じるのかどうかを直接的に比較しているわけではないため、ハムストリングスが膝関節屈曲および股関節伸展のそれぞれの動作に対して、どの程度関与しているのかは未だ明らかになっていない。

1-3. ハムストリングスが関与する動作間の筋活動に着目した研究

Yanagisawa and Fukutani (2019) は、全力の等速性運動による股関節伸展および膝関節屈曲間でハムストリングスの筋動員パターンが異なるかどうかを明らかにすることを目的に、股関節伸展および膝関節屈曲運動前後に撮像した核磁気共鳴画像 (Magnetic Resonance Imaging: MRI) の T2 強調画像の T2 値を筋活動の指標として用い、運動間におけるハムストリングスの筋動員パターンを評価している^[30]。その結果、ハムストリングスは股関節伸展運動時と比較して膝関節屈曲運動時においてより多く動員されることが明らかにされ、ハムストリングスは股関節伸展時よりも膝関節屈曲時により筋活動が高まることが示唆された。しかしこの研究では、ハムストリングスの筋活動を膝関節屈曲および股関節伸展運動前後の筋内水分量の変化を比較したのみに留まっており、それぞれの動作に対してハムストリングスがどの程度関与して

いるのかは明らかにされていない。一方，等尺性膝関節屈曲および股関節伸展時のハムストリングスの筋活動を動作間で比較した研究^[16, 17, 29]では，ハムストリングスの筋活動レベルは等尺性膝関節屈曲時と比較して股関節伸展時に低値を示す報告^[16, 29]や，等尺性膝関節屈曲時および股関節伸展時のハムストリングス筋活動に差はみられないという報告^[17]があり，一貫した結果は得られていないのが現状である。しかしこれらの研究^[16, 17, 29, 30]では，膝関節屈曲および股関節伸展条件間で姿勢が揃えられていないため，ハムストリングスの筋長が条件間で統制されていないことが問題として挙げられる。ハムストリングスの筋活動は筋長の変化に伴い，大きく変化することから^[6, 11]，先行研究で行われた方法では公正にハムストリングスの筋活動を評価できていない可能性が考えられる。先行研究よりも公正にハムストリングスの筋活動を評価するためには，膝関節屈曲および股関節伸展間において，実施姿勢を揃えた上で，筋長の変化を統制しやすい等尺性収縮により筋活動レベルの評価を行う必要がある。

1-4. 本研究の目的および仮説

したがって本研究では，ハムストリングスが関与する膝関節屈曲および股関節伸展間でハムストリングスの筋活動レベルが異なるのかどうかを明らかにすることを目的に，全力の等尺性膝関節屈曲および股関節伸展時に生じるハムストリングスの筋活動レベルを関節動作間で比較した。仮説は，Worrell et al (2001) および Hirose et al (2021) の研究をもとに，ハムストリングスの筋活動レベルは，膝関節屈曲時よりも股関節伸展時に低値を示すとした。膝関節屈曲および股関節伸展におけるハムストリングスの筋活動レベルの差異が明らかになることにより，これまで考慮されてこなかったハムストリングスが関与する膝関節屈曲および股関節伸展のそれぞれの動作に対する関与度に関する情報を提供することができるため，ハムストリングスの肉離れに対するリハビリテーションプログラムやハムストリングスの筋力強化エクササイズを決定するうえで重要な知見を提供できるものであると考える。

第二章 方法

2-1. 対象者

対象は立命館大学に所属する健常な男性 14 名（年齢：22.4 ± 2.1 歳，身長：170.8 ± 4.4 cm，体質量：67.3 ± 10.8 kg）とした。過去一年以内に両下肢のハ

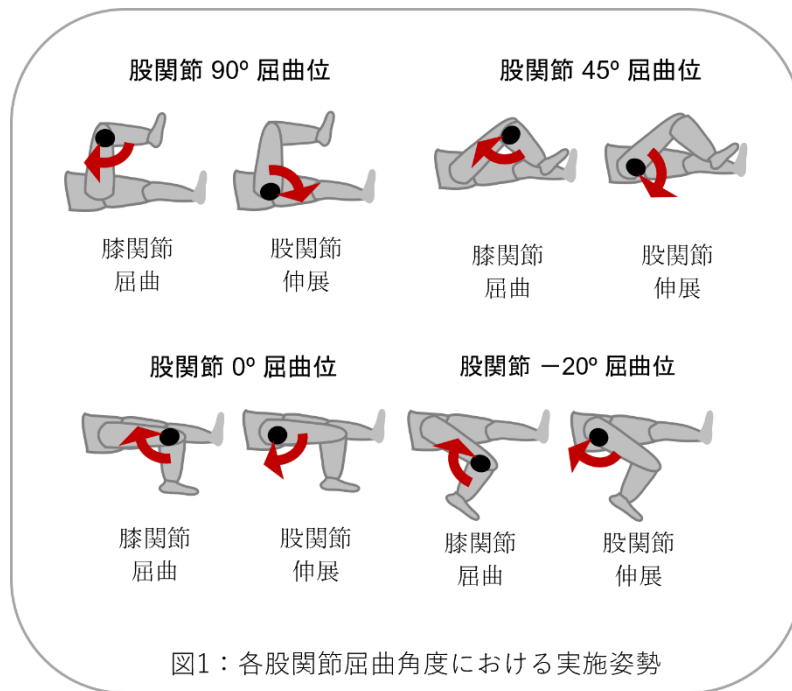
ムストリングスおよび前十字靭帯の損傷を有していないことおよび、本運動課題を遂行する上で問題がないことを実験参加前に確認した。対象者の利き足に関しては口頭にて事前に確認した。なお本研究は、事前に立命館大学の人を対象とする医学系研究倫理審査委員会の「人を対象とする医学系研究倫理」の承認を受け（BKC-人医-2018-082-1）、その規定に基づき、対象者に対して、実験前に研究の目的や内容、安全性について説明を行い、全対象者から実験参加の同意を得た。

2-2. 実験デザイン

本研究では、全ての対象者に仰臥位で等尺性股関節伸展および膝関節屈曲実施時のハムストリングスの筋活動レベルの測定を実施した。詳細は以下のとおりである。

2-2-1. 実験設定

図 1 に各股関節屈曲を実施した姿勢を示す。まず対象者は、Biodex（酒井医療社製、多用途筋機能評価運動装置バイオデックス、システム 4）上に仰臥位で膝関節 90° 屈曲位、足関節中間位（解剖学的正位）に固定したうえで、股関節 90° 屈曲位、股関節 45° 屈曲位、股関節 0° 屈曲位（解剖学的正位）、股関節 -20° 屈曲位（股関節伸展位）の各股関節屈曲角度下において、股関節伸展および膝関節屈曲の MVIC 測定を実施した。全力の力発揮時、骨盤が動かないようにベルトで座席に固定したのち、3 秒間の MVIC での股関節伸展もしくは膝関節屈曲を、2 分間以上の休憩を挟み 3 試行実施させた。一つの股関節屈曲角度下で膝関節屈曲および股関節伸展の MVIC 測定終了後、股関節屈曲角度を変えて、それぞれの関節角度下で股関節伸展および膝関節屈曲の MVIC 測定を行わせた。なお、対象者の動作に対する慣れや疲労の影響を可能な限り小さくすることを目的に、各関節角度はランダムにして行った。



2-2-2. 表面筋電図計測

本研究では、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、大殿筋を対象とし単回使用心電用電極（積水化成工業株式会社製；レクロード）を使用して、筋電図信号を取得した。電極貼付位置を決めるため、まず SENIAM 推奨ガイドライン^[7]に従って印をつけた上で、MVIC 測定時に電極の位置が筋腹上から外れる可能性を考慮し、超音波診断装置（AixPlover, SuperSonic Imagine）を用いて筋腹の位置を観察し特定した。電極の貼付に先立ち、皮膚抵抗を減らし粘着をよくするため、周囲の剃毛および皮膚研磨、アルコール脱脂綿を用いて角質の除去を行った。電極は各筋の筋線維方向と平行になるよう貼付し、電極間距離は 15 mm に設定した。

2-2-3. データ取得および解析

筋電図信号の導出には、表面筋電図計（ミュキ技研社製、多チャンネル増幅器、MEG-6108）を使用し、AD 変換機（ADInstruments 社製、Power lab 16/30）によってサンプリング周波数は 1000 Hz で A/D 変換した。変換されたデジタル信号は、Lab Chart v7 for Windows（ADInstruments 社製）を用いてパーソナルコンピュータ（富士通社製、LIFEBOOK SH54/C）に記録した。また、Biodx からのトルク信号も

筋電図信号と同様にパーソナルコンピューター（富士通社製，LIFEBOOK SH54/C）に記録した．記録された筋電図信号は，Bandpass filter（20 Hz から 500 Hz）でアーチファクトを除去した後，ピークトルク発揮時を中心に前後 0.5 秒（合計で 1 秒間）の二乗平均平方根（RMS : Root Mean Square）を算出した．各条件における 3 試場の平均 RMS_{EMG} 値を被験者の値とし，膝関節屈曲および股関節伸展間で比較した．

2-3. 統計処理

得られた EMG データは，すべて平均値 \pm 標準偏差値により示した（表 1）．統計処理は，課題（膝関節屈曲 vs. 股関節伸展）および関節角度（股関節 90° 屈曲位 vs. 股関節 45° 屈曲位 vs. 股関節屈曲伸展 0° vs. 股関節 -20° 屈曲位）の 2 要因を独立変数とし， RMS_{EMG} 値を従属変数とした，反復二元配置分散分析を用いた．膝関節屈曲と股関節伸展の課題因子の主効果，および股関節 90° 屈曲位，股関節 45° 屈曲位，股関節 0° 屈曲位，股関節 -20° 屈曲位の各関節角度間の関節角度因子の主効果，それらの交互作用の検定を行った．反復二元配置分散分析にて有意な交互作用が認められた場合，事後検定としてボンフェローニの多重比較検定を実施した．統計解析はすべて SPSS（version 27 ; IBM Corporation, Armonk, NY）を用いて実施し，各検定における有意水準は 5%未満とした．

第 3 章 結果

表 1 および図 2 に，膝関節屈曲および股関節伸展時の大腿二頭筋長頭，半腱様筋，大殿筋の RMS_{EMG} 値に関する反復二元配置分散分析の結果を示した．膝関節屈曲および股関節伸展間での大腿二頭筋長頭 ($p < 0.001$)，半腱様筋 ($p < 0.001$)，大殿筋 ($p = 0.014$) の平均 RMS_{EMG} 値に有意な課題の主効果が認められた．一方で，大腿二頭筋長頭，半腱様筋，大殿筋において，有意な関節角度の主効果や交互作用は認められなかった．

表 1 各関節角度下における膝関節屈曲および股関節伸展時の各筋の RMS_{EMG}

		大腿二頭筋長頭	半腱様筋	大殿筋
股関節 90°屈曲位	股関節伸展	0.101 ± 0.91	0.096 ± 0.051	0.126 ± 0.081
	膝関節屈曲	0.221 ± 0.078	0.309 ± 0.129	0.063 ± 0.040
股関節 45°屈曲位	股関節伸展	0.102 ± 0.095	0.101 ± 0.053	0.114 ± 0.092
	膝関節屈曲	0.290 ± 0.086	0.362 ± 0.164	0.053 ± 0.032
股関節 0°屈曲位	股関節伸展	0.156 ± 0.077	0.136 ± 0.070	0.187 ± 0.221
	膝関節屈曲	0.290 ± 0.169	0.374 ± 0.196	0.079 ± 0.057
股関節 -20°屈曲位	股関節伸展	0.160 ± 0.081	0.148 ± 0.059	0.114 ± 0.092
	膝関節屈曲	0.249 ± 0.124	0.321 ± 0.134	0.088 ± 0.083
交互作用		p = 0.091	p = 0.188	p = 0.309

平均値 ± 標準偏差 (mV)

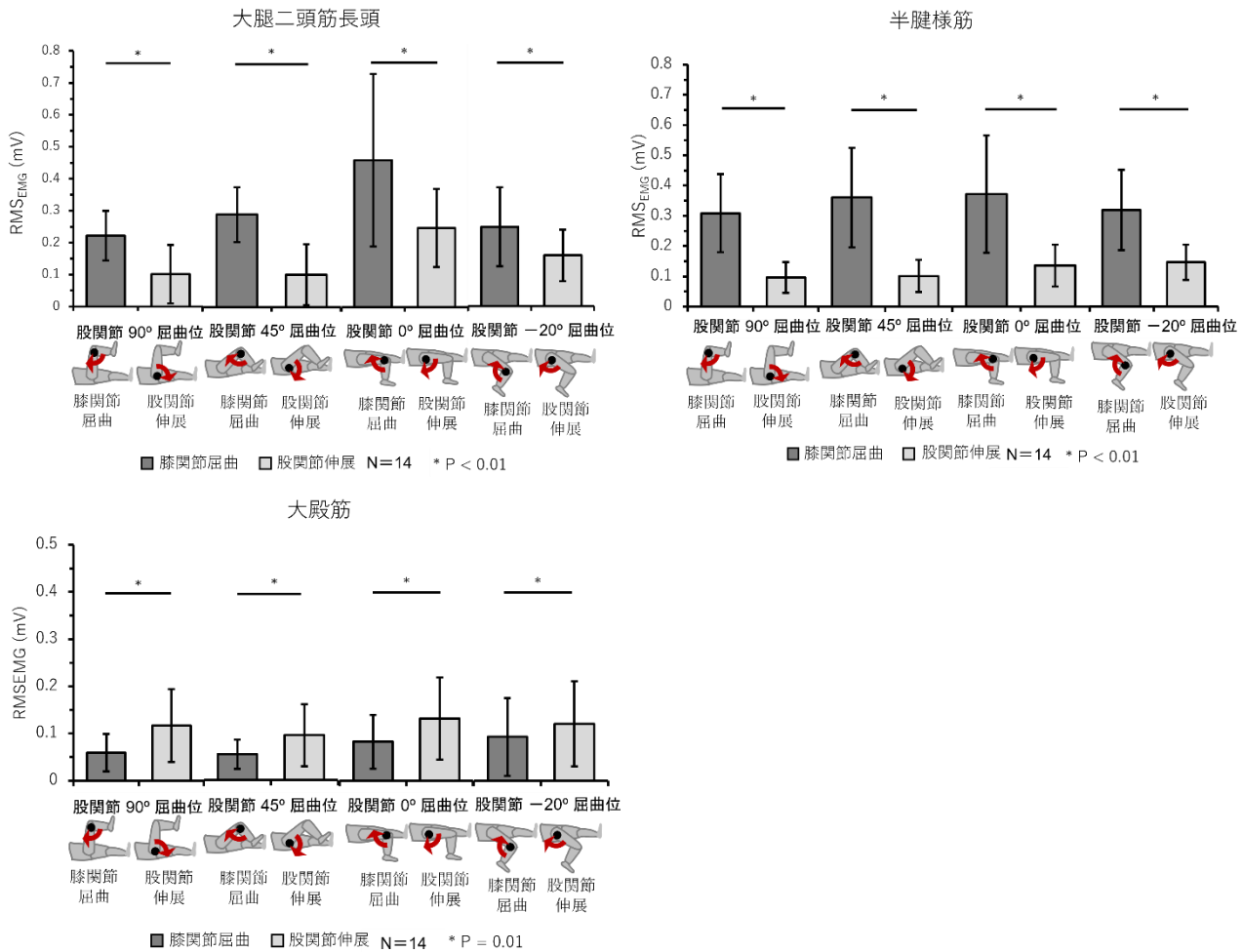


図 2 : 膝関節屈曲および股関節伸展時の大腿二頭筋長頭, 半腱様筋, 大殿筋の筋活動

第4章 考察

4-1. 主要な知見

本研究は、ハムストリングスが関与する膝関節屈曲および股関節伸展間においてハムストリングスの筋活動レベル差異が生じるのかどうかを明らかにすることを目的に実施した。ハムストリングスの筋活動レベルは、膝関節屈曲および股関節伸展間に有意な課題の主効果が認められ、膝関節屈曲時と比較して股関節伸展時に低値を示した。また、大殿筋の筋活動レベルは、膝関節屈曲および股関節伸展間に有意な課題の主効果が認められ、膝関節屈曲時と比較して股関節伸展時に高値を示した。一方で、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、大殿筋の筋活動レベルに関節角度の主効果は確認されず、股関節 90° 屈曲位、股関節 45° 屈曲位、股関節屈曲伸展 0°、股関節 -20° 屈曲位において有意な変化は見られなかった。また、有意な交互作用も認められなかった。このことから、大腿二頭筋長頭および半腱様筋の筋活動レベルは股関節屈曲角度の変化に関係なく膝関節屈曲時と比較して股関節伸展時において小さくなり、大殿筋の筋活動レベルは膝関節屈曲よりも股関節伸展時に大きくなることが示された。

本研究結果の解釈に移行する前に、本研究で用いた方法に関して言及する。多くの研究では、膝関節もしくは股関節の関節角度を変化させ、ハムストリングスの筋活動レベルを評価した時、その筋活動レベルは関節角度間で大きく変化することが報告されている^[9, 20, 25, 26]。これは、膝関節もしくは股関節の関節角度変化に伴い、筋長も変化し筋活動へ影響をおよぼしたことが考えられる。また、EMG 振幅は筋長の変化に伴う、筋電図電極が記録できる範囲内の筋線維数の変化や皮膚インピーダンスなど様々な要因からの影響を受ける^[1, 6, 19, 29]。このことから、条件間で対象とする筋の筋長が異なる場合、筋内および筋間の筋電図振幅値を直接比較することはできないと考えられる。近年、本研究と同様に、Hirose et al (2021) が、ハムストリングスが関与する膝関節屈曲および股関節伸展間で筋活動レベルを検討した^[9]。彼らは、腹臥位で膝関節 90° 屈曲位および膝関節 20° 屈曲位それぞれの位置で、最大等尺性収縮での膝関節屈曲および股関節伸展を実施させ、膝関節屈曲および股関節伸展間にハムストリングスの筋活動レベルの課題依存的な差はみられなかったことを報告した^[9]。しかしこの研究では、各課題を行わせる際に、膝関節と股関節が台に固定されておらず、課題間で関節角度が適切に管理されていなかった。課題間で関節角度が揃えられていなければ、全力の力発揮時に膝関節および股関節の角度が不均一となり筋活動が公正に反映できて

いない可能性が考えられる。本研究では筋長が筋活動レベルに与える影響を避けるため、股関節、膝関節、足関節を固定し関節角度を各条件下で統制したことにより、公正にハムストリングスの筋活動レベルを課題間で比較することができた。

本研究の結果で示された課題依存的な二関節筋の筋活動の違いは、上腕二頭筋長頭^[21-23]や上腕三頭筋^[11]、大腿直筋^[28, 29]などの他のヒト二関節筋においても確認されている。二関節筋の筋活動が課題依存的に変化する要因の一部を説明するものとして、二関節筋の神経支配パターンが領域ごとに異なっていることが言われてきた^[9, 20, 23, 27]。

Woodley et al (2005) の解剖学的研究により、大腿二頭筋短頭を除く全てのハムストリングスは、神経枝が遠位部と近位部の二つに分かれていることを報告している^[31]。また、Sung et al (2003) は、大腿部前面にある大腿直筋の全長の約 20% の位置で神経枝が二つに分かれていることを報告しており、神経支配パターンが遠位部と近位部に分かれていることで、二関節筋が関与する異なる課題実施時に二関節筋への筋活動が制御され、二関節筋の筋活動が課題間で差が生じると説明されてきた^[9, 20, 23, 27]。本研究において、ハムストリングスの筋活動レベル膝関節屈曲時よりも股関節伸展時に有意に低値を示した理由として、股関節伸展時にはハムストリングスへの神経的抑制により筋活動が小さくなった可能性が考えられる。しかしながら、二関節筋であるハムストリングスの膝関節屈曲および股関節伸展時におけるヒトの神経経路に関する情報は未だ少ないため、課題の違いによるハムストリングスの筋活動レベルの違いをもたらす詳細な神経生理学的メカニズムを明らかにするためには、より直接的な電気生理学的測定による更なる研究が必要であると考えられる。

ハムストリングスの筋活動レベルが、股関節伸展時に低下した理由として他に考えられる要因としては、股関節伸展時における大殿筋の高い関与が挙げられる。いくつかの先行研究において、等尺性収縮による膝関節屈曲および股関節伸展を行わせた時、ハムストリングスの筋活動レベルは、股関節伸展中において膝関節屈曲時よりも有意に小さくなり、大殿筋の筋活動レベルは膝関節屈曲時よりも股関節伸展時に有意に大きくなることを確認されている^[16, 29]。Worrell et al(2001)は伏臥位で異なる股関節および膝関節角度における、等尺性の股関節伸展および膝関節屈曲を行わせその時のハムストリングスと大殿筋の筋活動を比較した。その結果、ハムストリングスは膝関節および股関節の角度に関わらず膝関節屈曲時よりも股関節伸展時に小さくなり、大殿筋の筋活動は膝関節屈曲時よりも股関節伸展時に大きくなっていたことを報告してい

る。また Lim (2020) は、仰臥位での等尺性股関節伸展と伏臥位での等尺性膝関節屈曲を異なる膝関節および股関節角度下で行わせ、その時のハムストリングスおよび大殿筋の筋活動をそれぞれ比較している。その結果は、ハムストリングスの筋活動は膝関節屈曲時よりも股関節伸展時に低値を示し、大殿筋は股関節屈曲角度に関係なく、股関節伸展時に膝関節屈曲時よりも筋活動が高くなることを報告した。これらの知見を踏まえて考えると、股関節伸展時には大殿筋の筋活動が高まることにより、ハムストリングスへの神経刺激が抑制され、ハムストリングスの筋活動レベルは膝関節屈曲時のそれよりも低下したのではないかと考える。

4-2. 限界点

本研究には、いくつかの限界点が存在する。まず姿勢の問題が挙げられる。一般的に等尺性股関節伸展を行わせる実験では、腹臥位で骨盤を台に固定させた状態で行われている[8, 12-14, 16, 19]。本研究で、対象者は仰臥位で全力の股関節伸展および膝関節屈曲動作を行わせた。しかし、設定した姿勢での力発揮が難しいという意見がいくつかみられ、特に股関節-20° 屈曲位での股関節伸展および膝関節屈曲時において、力の発揮が難しいという意見がいくつか挙げられた。2 分間の休息中は被験者を台から解放し十分に回復できる環境を整えたが、上述の股関節角度はすでに最大股関節伸展可動域に達する位置であるため、今回の結果に影響する可能性が考えられる。しかし、筋放電量とトルクの波形を確認したところ他の研究と同様のトルクの値を発揮できており[16, 17, 29]、いずれの股関節屈曲角度においても全力で力発揮できていたと考える。

次に膝関節角度を変えて測定ができなかった点である。今回の姿勢を決定するうえで、膝関節屈曲と股関節伸展の両条件下において対象者が全力で力発揮を行える環境を整えた。Biodex 上での測定であり、使用するアタッチメントの都合上、膝関節および股関節の角度を課題間で揃えた上で、筋長が変わらない状態で全力の力発揮をさせる環境を整えることが困難であった。そのため、今回は膝関節および足関節の角度は一定に保ち、股関節の角度のみを変えて実施した。しかしながら、ハムストリングスの筋活動は膝関節屈曲角度の変化に伴い変化することから[8, 13, 19, 23, 24]、膝関節屈曲角度の関与も今後検討する。

第5章 結論

本研究の結果から、ハムストリングスの筋活動レベルは、膝関節屈曲時よりも股関節伸展時において有意に低下することが示された。このことは、ハムストリングスへの課題特異的な神経制御機構による神経刺激の抑制や協働筋の筋活動の増加が影響していると考えられる。したがって、本研究で示された知見は、ハムストリングスの肉離れ損傷後のリハビリテーションやハムストリングスの筋力強化トレーニングプログラムを立案する際に有用な情報となり、例えば、ハムストリングスの筋力向上を目的としたエクササイズプログラムを選択する際には、スティフレッグデッドリフトやヒップエクステンションなどの股関節伸展運動よりも、レッグカールなどの膝関節屈曲運動を積極的に取り入れるとより効果的が高いというようなプログラムの立案において重要な資料になると思われる。

参考文献

1. Buchthal F, Erminio F, Rosenfalck P: Motor unit territory in different human muscles, *Acta Physiol Scand*, 45, pp72–87, 1959
2. De Luca CJ: The use of surface electromyography in biomechanics, *J Appl Bio mech*, 13, pp135–163, 1997
3. Dostal WF, Soderberg GL, Andrews JG: Actions of hip muscles. *Phy Ther*, 66, pp351-361, 1986
4. Dostal WF, Andrews JG: A three-dimensional biomechanical model of hip musculature, *J Biomech*, 14, pp803-812, 1981
5. Farina D, Cescon C, Merletti R: Influence of anatomical, physical, and detection-system parameters on surface EMG, *Biol Cybern*, 86, pp445–456, 2002
6. Fukunaga T, Ichinose Y, Ito M, Kawakami Y, Fukashiro S: Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo, *J Appl Physiol*, 82, pp354-358, 1997
7. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, Hägg G: European recommendations for surface electromyography. *Roessingh Res Development*, 8(2), pp13–54, 1999
8. Higashihara A, Ono T, Kubota J, Fukubayashi T: Differences in the electromyographic activity of the hamstring muscles during maximal eccentric knee flexion, *Eur J Appl Physiol*, 108, pp355-362, 2010
9. Hirose N, Kagaya Y, Tsuruike M: The task dependent differences in electromyography activity of hamstring muscles during leg curls and hip extensions, *PLoS One*, 16 (2), e0245838, 2021
10. Holtermann A, Gronlund C, Karlsson JS, Roeleveld K: Differential activation of regions within the biceps brachii muscle during fatigue, *Acta Physiol (Oxf)*, 192, pp559–567, 2008
11. Ichinose Y, Kawakami Y, Ito M, Kanehisa H, Fukunaga T: In vivo estimation of contraction velocity of human vastus lateralis muscle during “isokinetic” action, *J Appl Physiol*, 88, pp851-856, 2000
12. Jeon IC, Hwang UJ, Jung SH, Kwon OY: Comparison of gluteus maximus and

- hamstring electromyographic activity and lumbopelvic motion during three different prone hip extension exercises in healthy volunteers, *Phys Ther Sport*, 22, pp35-40, 2016
13. Keen DA, Fuglevand AJ: Common input to motor neurons innervating the same and different compartments of the human extensor digitorum muscle, *J Neurophysiol*, 91, pp57–62, 2004
 14. Kellis E, Galanis N, Kofotolis N, Hatzi A: Effect of hip flexion angle on surface electromyographic activity of the biceps femoris and semitendinosus during isokinetic knee flexion, *Muscles Ligaments Tendon J*, 7 (2), pp286-292, 2017
 15. Kwon YJ, Lee HO: How different knee flexion angles influence the hip extensor in the prone position, *J Phys Ther Sci*, 25 (10), pp1295-1297, 2013
 16. Lim W: Effects of hip rotation on the electromyographic activity of the medial and lateral hamstrings and muscle force, *J Back Musculoskelet Rehabil*, 34 (6), pp1023-1029, 2021
 17. Liu J, Teng HL, Selkowitz DM, Asavasopon S, Powers CM: Influence of hip and knee positions on gluteus maximus and hamstrings contributions to hip extension torque production, *Physiother Theory Pract*, 38 (13), pp2650-2657, 2022
 18. Marchetti PH, Magalhaes RA, Gomes WA, Silva JJ, Stecyk SD, Whiting WC: Different knee and ankle position affect force and muscle activation during prone leg curl in trained subjects, *J Strength Cond Res*, 35 (12), pp3322-3326, 2021
 19. Merletti R, Rainoldi A, Farina D: Surface electromyography for noninvasive characterization of muscle, *Exerc Sport Sci Rev*, 29, pp20–25, 2001
 20. Miyamoto N, Wakahara T, Kawakami Y: Task-dependent inhomogeneous muscle activities within the bi-articular human rectus femoris muscle, *PLoS One*, 7 (3), e34269, 2012
 21. Onishi H, Yagi R, Oyama M, Akasaka K, Ihashi K, Handa Y: EMG-angle relationship of the hamstring muscles during maximum knee flexion, *J*

- Electromyogr Kinesiol, 12, pp399-406, 2002
22. Ono T, Higashihara A, Fukubayashi T: Hamstring functions during hip-extension exercise assessed with electromyography and magnetic resonance imaging, *Res Sports Med*, 18, pp188-198, 2010
 23. Schoenfeld BJ: Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance, *J Strength Cond Res*, 24, pp3497-3506, 2010
 24. Schoenfeld BJ, Contreras B, Tiryaki-Sonmez G, Wilson JM, Kolber MJ, Peterson MD. Regional differences in muscle activation during hamstrings exercise. *J Strength Cond Res*, 29(1), pp159-164, 2015
 25. Staudenmann D, Kingma I, Daffertshofer A, Stegeman DF, van Dieen JH: Heterogeneity of muscle activation in relation to force direction: a multi-channel surface electromyography study on the triceps surae muscle, *J Electromyogr Kinesiol*, 19, pp882–895, 2009
 26. Sung DH, Jung JY, Kim HD, Ha BJ, Ko YJ: Motor branch of the rectus femoris: anatomic location for selective motor branch block in stiff-legged gait, *Arch Phys Med Rehabil*, 84(7), pp1028–31, 2003
 27. Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T: Task-dependent spatial distribution of neural activation pattern in human rectus femoris muscle, *J Electromyogr Kinesiol*, 22, pp251–258, 2012
 28. Woodley SJ, Mercer SR: Hamstring muscles: architecture and innervation, *Cells Tissues Organs*, 179 (3), pp125-141, 2005
 29. Worrell TW, Stanley C, Karst G, Steimel B, Adamczyk D, Steimel S, Moore R: Influence of joint position on electromyographic and torque generation during maximal voluntary isometric contractions of the hamstrings and gluteus maximus muscles, *J Orthop Sport Phys Ther*, 31 (12), pp730-740, 2001
 30. Yanagisawa O, Fukutani A: Muscle recruitment pattern of the hamstrings muscles in hip extension and knee flexion exercises, *J Hum Kinet*, 72, pp51-59, 2020

謝辞

本修士学位論文の執筆にあたり、多くの方々よりご指導、ご支援賜りましたことをここに深く感謝いたします。研究指導教員として、懇切丁寧な研究指導をいただき、何度もお迷惑をおかけしましたが、研究活動を遂行する上でのご助言をたくさん賜りました立命館大学スポーツ健康科学部・伊坂忠夫教授に心から感謝の意を表します。また、副査をお引き受けくださいました、篠原靖司教授、永浜明子教授に厚く御礼申し上げます。

そして研究計画からデータ分析、結果の解釈、考察、結論、今後研究活動を遂行する上での様々なご助言を賜り、丁寧かつ手厚い指導をいただきました福谷充輝講師、また研究内容や結果の解釈などについて様々なご助言をいただきました前大純朗助教や水口暢章助教に心から感謝いたします。そして学会発表資料を丁寧に添削してくださった、草川祐生さんや後藤悠太専門研究員にはたくさんのご助言をいただきました。

そして伊坂研究室の皆様にはラボミーティングでたくさんのご指摘やご助言をいただき、誠に感謝いたします。また、日々の研究活動や事務処理などに関して、多くのサポートをしていただきました秘書の奥村悦子氏に深く感謝いたします。

加えて、ご多忙の中、実験のご理解をいただき、快く被験者を引き受けてくださった皆様に、深く感謝いたします。また、私のことをいつも気にかけて声をかけてくれた抄読会に参加していた皆様や大学院生活の苦楽を共にした同輩の皆様に心から感謝いたします。皆様に支えられ、大学院生活を楽しく送ることができました。

最後になりましたが、大学院での研究活動を温かく見守り応援してくれていた家族に感謝の意を表します。