

# 論文の和文概要

氏名 三矢 紘駆

(博士論文の題目)

領域特異的および長軸区画的な筋活動に関する研究  
～大腿四頭筋とハムストリングにおける筋活動動態と筋収縮感覚からの検討～

(博士論文の概要)

## 第1章 序論

本論文は、下肢近位に位置する二関節筋の領域特異的および長軸区画的な筋活動動態を明らかにすることを目的とした。特に、二関節筋の中枢にある関節の角度制御によって引き起こされる二関節筋の筋長変化が、筋頭ごとの領域特異的および長軸区画的な筋活動に与える影響を検討した。そして二関節筋の領域特異的および長軸区画的な筋活動動態の理解をさらに深めるために、遠心性神経による筋活動という出力だけでなく、それと同時に起こる求心性神経による感覚入力である主観的な筋収縮感覚を数値評価尺度(NRS)によって定量化し、筋収縮感覚を領域区画的に知覚することは可能なのか、また客観的な筋活動との整合性はあるのか検討した。

## 第2章 大腿四頭筋の領域特異的および長軸区画的な筋活動について：筋放電量と筋剛性率からの検討

股関節角度  $0^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $80^\circ$  の3条件における等尺性レッグエクステンション(LE)において、大腿四頭筋の領域特異的、および長軸区画的な筋活動に及ぼす影響を筋電図形(EMG)と剪断波エラストグラフィ(SWE)を用いて観測した。EMGではすべての領域・関節角度で領域特異的および長軸区画的な筋活動を観測することができなかった一方、SWEではそれを観測することができた。具体的には、等尺性LEでは外側広筋より大腿直筋が強く活動し、股関節を伸展したLEでは大腿直筋近位の活動が増強した。以上より、股関節角度を変化させることで大腿四頭筋を領域特異的に、そして大腿直筋を長軸区画的に強化することが可能であると結論した。また、今回用いた等尺性収縮での検討に加え、実際のレジスタンストレーニング動作である等張性収縮を対象に、磁気共鳴画像法(MRI)による横緩和時間(T2値)を用いて筋活動を観測することが、二関節筋の長軸区画的な筋活動の理解を深めるために重要であると考察した。

## 様式 3 号

### 第 3 章 大腿四頭筋およびハムストリングの領域特異的および長軸区画的な筋活動について：T2 値からの検討

前章の結果を基に、実際のレジスタンストレーニング動作である等張性収縮を用いて領域特異的および長軸区画的な筋活動について検討を重ねた。そして、大腿四頭筋だけでなく、大腿直筋同様に運動神経枝が分岐しており、大腿四頭筋の拮抗筋であるハムストリングも検討対象とすることで考察が深化し、下肢近位の二関節筋全体について深い理解に達すると考えた。したがって、本章では大腿四頭筋とハムストリングを対象とし、股関節角度  $0^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$ 、 $80^{\circ}$  の 3 条件において LE およびレッグカール(LC)を実施し、運動前後の T2 値変化率を比較した。大腿四頭筋では、股関節をやや伸展した  $40^{\circ}$  LE において、広筋群と比較して大腿直筋が強く活動した。また、大腿直筋遠位は股関節角度の変化に影響を受けなかったが、股関節を  $0^{\circ}$  から  $40^{\circ}$  に伸展することで大腿直筋近位の活動が増強した。LC では、股関節角度に関係なく半腱様筋が強く活動した。さらに、股関節を屈曲した LC ではハムストリング遠位の活動が増強する一方、股関節をやや伸展に近づけることでハムストリング近位の活動が増強された。大腿四頭筋とハムストリングは、筋の形状の違いから、筋力発揮に最適な股関節角度が異なる一方、それぞれの近位に関しては共通して股関節角度  $40^{\circ}$  が長軸区画的に活動しやすかった。したがって、股関節角度を変化させることで大腿四頭筋およびハムストリングを領域特異的に、そして大腿直筋およびハムストリングを長軸区画的に強化することが可能であると結論づけた。

### 第 4 章 主観的な筋収縮感覚と客観的な筋活動の比較

筋活動が起きる際には、遠心性神経による筋活動という出力だけでなく、求心性神経による筋収縮の知覚という感覚入力も同時に起きている。これは筋発揮張力の調整に必要な情報となり、筋活動には必要不可欠な機能である。しかし、この筋収縮感覚の知覚についてはいまだ理解が不十分で、科学的に検討する余地が大いにあり、その理解は二関節筋の領域特異的および長軸区画的な筋活動の理解を深めるために重要である。したがって、下肢近位に存在する二関節筋の領域特異的および長軸区画的な筋活動と、主観的な筋収縮感覚の知覚の関連性について検討することを目的とした。そのために、LE および LC における主観的な筋収縮感覚を NRS によって定量評価し、MRI T2 値による客観的な筋活動と比較し、その整合性を検討した。そして、主観的な筋収縮感覚は領域特異的、長軸区画的に適応可能なのか、客観的な筋活動をもとに検証した。その結果、大腿四頭筋とハムストリングともに、近位領域より遠位領域の筋収縮感覚を長軸区画的に強く知覚した。また、股関節角度  $40^{\circ}$  LE の大腿直筋近位では、主観的な

## 様式 3 号

筋収縮感覚を長軸区画的に知覚する傾向が見られたが、ハムストリングではこの傾向は見られなかった。さらに、主観的な筋収縮感覚の知覚と客観的な筋活動の程度はすべての領域・股関節角度条件において相関しなかった。したがって、レジスタンストレーニング実践の場では筋収縮感覚を過信せず、客観的な筋活動動態を理解した実践が必要であると考察した。

### 第 5 章 総合討論

下肢近位の二関節筋が付着する中枢側の関節角度は、二関節筋の領域特異的および長軸区画的な筋活動に影響を及ぼした。大腿直筋とハムストリングは運動神経枝が近位と遠位で異なり (Yang et al., 1999; Paola et al., 1996)、この分岐が特に長軸区画的な筋活動動態に影響を及ぼしたと考える。しかしながら、運動神経枝の分岐は長軸区画的な筋活動を可能にしている一つの要因であるものの、絶対条件ではないことが示唆されている (Wakahara et al., 2012; 2013)。本研究で操作した関節角度変化は筋長を変化させるものである。骨格筋は至適長から過度に収縮もしくは伸張することで、発揮張力の低下 (Saxton and Donnelly, 1996)、長軸区画的な筋剛性率の増加など (Kodesho et al., 2021)、骨格筋の機能や状態が変化することから、本結果をもたらした要因の一つと考える。今後、異なる骨格筋を対象にすることはもちろん、多関節種目も検討対象とすることで、領域特異的および長軸区画的な筋活動の理解をより深めることが可能と思われる。

レジスタンストレーニング実践の場への応用として、大腿直筋の近位の強化には、通常の LE よりも股関節を伸展させた屈曲  $40^{\circ}$  で行う LE が有効であり、遠位の強化には通常の LE のように股関節屈曲  $80^{\circ}$  で行う LE が有効である。LC は全般的に半腱様筋の強化に有効で、ハムストリング遠位の強化には股関節屈曲  $0^{\circ}$  で行う LC が有効である。さらに、ハムストリング近位の強化には股関節屈曲  $40^{\circ}$  で行う LC が有効である。大腿四頭筋およびハムストリングの遠位領域を強化したい場合、また、股関節角度  $40^{\circ}$  LE で大腿直筋近位の強化を目的とする場合も、主観的な筋収縮感覚の活用が有用であるが、ハムストリングではすべての領域・関節角度においてこの傾向は見られなかった。しかし、主観的な筋収縮感覚の知覚は筋活動の程度までは反映されないため、客観的な筋活動動態を理解することが重要である。

### 第 6 章 結論

下肢近位の二関節筋の中枢側の関節角度を変化させることで、二関節筋の領域特異的および長軸区画的な筋活動を制御できると結論づけた。また、筋収縮感覚を長軸区画的に知覚することもできるが、筋活動の程度まで知覚することは

## 様式3号

できない。レジスタンストレーニング実践の場では、効果判定の指標として筋収縮感覚を過信せず、客観的な筋活動動態を理解した実践が必要である。これらの結果は、レジスタンストレーニング実践の場における関節角度設定と、主観的な筋収縮感覚の有用性と活用方法に関して、新たな知見を提供することができるものである。