

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目
氏 名

膝伸展運動における 力調節時の大腿四頭筋の神経筋活動
富田 彩

論 文 内 容 の 要 旨

本博士論文の目的は、力調節時の大腿四頭筋各筋の役割を明らかにすることである。発揮筋力を精確に調節する能力は、筋力の大きさなどの量的な能力とともに、日常生活動作やスポーツのパフォーマンスの遂行において非常に重要な機能の一つとなる。ヒト膝関節の伸展に作用する大腿四頭筋は、ヒトの身体の中で最も大きい筋群の1つで、抗重力筋として身体を支え、安定した歩行や走行、スムーズな体重移動に大きな役割を果たしている。この大腿四頭筋の力調節安定性の低下は、階段歩行や椅子立ち上がり動作等の日常生活動作能力の低下 (Seynnes ら 2005) や高齢者における転倒経験 (Carville ら 2007) と関連がある。また、若齢者と比較して高齢者では、力調節安定性が低いこと (Tracy と Enoka 2002) が知られている。大腿四頭筋の力発揮制御機構の解明は、高齢化が進む中で、日常生活動作能力の維持・改善や高齢者の転倒予防にもつながると考えられる。

大腿四頭筋は文字通り 4 つの筋頭から構成される筋群であるが、それぞれの構成筋の筋量や機能的役割も必ずしも同一ではない。力を精確に調節する際には各筋が相互に作用し、適切なタイミングで、求められる大きさの筋力を発揮していることが考えられる。中間広筋と他の 3 筋では役割が異なること (Watanabe と Akima 2010, 2011, Akima と Saito 2013, Saito ら 2013) や、超低強度持続収縮時に大腿直筋と他の 3 筋が交替しながら活動すること (Kouzaki ら 2002) などから、大腿四頭筋の中でも各筋に異なる役割があると考えられる。本博士論文の中では、協働筋として的大腿四頭筋各筋の相互作用に着目し、様々な条件下で力調節課題を行った際の大腿四頭筋の神経筋活動を明らかにすることを目的の 1 つとした。

力調節精確性や安定性に影響を及ぼす要因の 1 つとして、筋疲労が挙げられる (Dundon ら 2008, Singh ら 2010). 筋疲労により力の周波数構成成分が変化すること (Missenard ら 2009) やふるえ (生理的振戦) が増加すること (Kouzaki ら 2004) が報告されていることから、目的の動作を遂行するために筋疲労の影響を補償するような適応があると考えられる. このことから、筋疲労による力調節精確性への影響やそれに伴う神経筋活動の変化を明らかにすることも目的の 1 つとした.

本研究では、力調節課題時の大腿四頭筋各筋の役割を明らかにするため、等尺性膝伸展運動において力調節課題を行う. それぞれの実験の被検者は健常な成人男女 13~18 名とした. すべての実験において大腿四頭筋から表面筋電図を記録し、その信号から各筋の神経筋活動を検討した. 各実験の概要を以下に示す.

実験 1: 女性の中間広筋の表面筋電図法の確立

大腿四頭筋各筋の神経筋活動を検討するために、まず構成筋の一つである中間広筋の表面筋電図法を確立する必要がある. 大部分が深層部に位置する中間広筋では表面筋電図の記録が容易ではなく、男性のみでその記録方法が確立されていた (Watanabe と Akima 2009). 女性は男性と比較して皮下脂肪が厚いという形態的特徴があり、皮下脂肪厚は表面筋電図の信号に影響を与える (Minetto ら 2013). これらを考慮した上で、女性での中間広筋の表面筋電図記録方法の確立を目的として実験を行なった. 結果として、女性において中間広筋から記録した表面筋電図信号は電極間距離 10 mm と 20 mm でほぼ一致しており、標準基準とした男性とも有意な差が見られなかった. このことから、女性においても中間広筋の表面筋電図を男性同様の方法 (電極間距離 10 mm) で記録できることが明らかとなった.

実験 2~実験 5 では、共通して正弦波を用いた力調節課題中に表面筋電図で記録した大腿四頭筋の筋活動や力の精確性を検討する. 座位において等尺性膝伸展運動を行い、最大随意収縮 (MVC) 以下の正弦波 (例: 波の振幅が随意最大筋力の 4-8 %, 30-50 %) の正弦波に合わせて力を調節する.

実験 2: 正弦波を用いた力調節精確性と機能テストの関係

一定負荷での力調節安定性においては、日常生活動作の遂行能力や転倒経験などとの関連が報告されている. 正弦波での力調節課題においても機能的な動作との関連が見られるのかを明らかにするために、力調節精確性と機能テスト (ファンクショナルリーチテストと閉眼片足立ち) との関係を検討する. その結果、正弦波の力調節課題における発揮筋力の精確性は、動的なバランスの指標であるファンクショナルリーチテストとの関係が強いことが明ら

かとなった。

実験 3: 正弦波を用いた力調節課題における大腿四頭筋の神経筋活動の検討

実験 3 では、正弦波の力調節課題中に、大腿四頭筋および大腿二頭筋から表面筋電図を記録する。正弦波の力調節課題における大腿四頭筋の神経筋活動の特徴やパターンを明らかにするために、正弦波を用いた力調節課題と従来用いられてきた一定負荷の力調節課題での神経筋活動の違いなどを検討する。また、2種類の収縮強度 (4-8 %MVC と 30-50 %MVC) を設定することで、発揮強度による力調節精確性の差も合わせて検討する。大腿四頭筋の等尺性収縮時における正弦波の力調節課題においては、特に低強度 (4-8%MVC) において、大腿直筋と他の3つの広筋で筋活動が異なった。中間広筋、外側広筋及び内側広筋は、低強度の正弦波において発揮筋力の増減に伴い筋活動の増減が見られたが、大腿直筋は正弦波の1周期を通して筋活動の変動が見られなかった。これは大腿直筋の二関節筋としての特徴的な役割が関係していることが示唆された。

実験 4: 膝関節角度の違いによる力調節精確性と大腿四頭筋の筋活動の変化

大腿四頭筋全体として最も力を発揮できる膝関節角度は約 110° (最大伸展 180°) であるが、筋ごとに見ると最も力を発揮できる膝関節角度は各筋で異なる (Cutts 1988)。これらのことから、膝関節角度によって力調節精確性も変化し、各筋の筋活動パターンが変化すると考えられる。3条件の膝関節角度 (70°, 110°, 150°) の間で力調節精確性やその時の筋活動を比較する。結果として、発揮筋力の精確性は膝関節角度による影響を受けなかったが、大腿四頭筋の神経筋活動は膝関節角度によって変化した。

実験 5: 筋疲労が力調節精確性に及ぼす影響

筋疲労によって力調節安定性が低下することは、いくつかの先行研究で知られている。実験 5 では、MVC の間欠的発揮により筋疲労を引き起こし、疲労前後での正弦波力調節課題の精確性と筋活動の変化を検討する。また、実験は2条件の膝関節角度 (80°と 140°) を設定し、大腿四頭筋の筋長の違いによる疲労への影響や大腿四頭筋各筋の表面筋電図信号の変化についても合わせて検討する。結果として、筋疲労後においても、低強度 (2-10%MVC) であれば発揮筋力の精確性は維持されることが示された。膝関節屈曲位 (80°) での低強度においては、中間広筋のみ疲労後に有意に筋活動の増加が見られた。

本博士論文で得られた以上の結果から、与えられた課題を遂行するためには大腿四頭筋の4つの筋それぞれが協調しながら発揮筋力の精確性を維持する神経筋制御が行われていることが明らかとなり、さらに、関節角度の違いや筋疲労などの外的な環境変化に対しては、大腿四頭筋の各筋あるいは特定の筋の神経筋活動を変化させることで効率よく精確な

筋力発揮の遂行を行う機序があると結論した。

本博士論文の章立ては以下に示す通りである。

第1章 緒言

第2章 文献研究

第3章 検討すべき問題点と本研究の目的

第4章 女性を対象とした中間広筋の表面筋電図法の確立 (実験 1)

第5章 正弦波を用いた力調節精確性と機能テストの関係 (実験 2)

第6章 正弦波を用いた力調節課題における大腿四頭筋の神経筋活動の検討 (実験 3)

第7章 膝関節角度の違いによる力調節精確性と大腿四頭筋の筋活動の変化 (実験 4)

第8章 筋疲労が力調節精確性に及ぼす影響 (実験 5)

第9章 総合討論

第10章 総括