

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：20101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750210

研究課題名(和文) 磁気刺激を用いた膝関節屈筋における機能分担の解明

研究課題名(英文) Evaluation of the knee flexor muscles function using magnetic stimulation

研究代表者

青木 信裕 (Aoki, Nobuhiro)

札幌医科大学・保健医療学部・助教

研究者番号：20554653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：当該研究は、膝関節屈筋を構成する筋の機能分担について、磁気刺激を用いた新規的な方法を用いて解明することを目的とした。磁気刺激方法の検討として刺激部位の詳細な検討を行い、被験者内では刺激部位の再現性が保たれることを確認した。膝関節屈筋を構成する筋の機能を探索するために半腱様筋のみを選択的に筋疲労させた場合、磁気刺激を用いた生理的的最大張力が低下することを明らかにした。このことから、今回の方法を用いることで、これまでに実施できなかった膝関節屈筋の定量的評価を行うことができる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to elucidate the function of the knee flexor muscles by the novel method using magnetic stimulation. We performed detailed examination of the stimulation sites. It was confirmed that the reproducibility of the stimulation site was maintained each subject. Result of selective muscle fatigue of the semitendinosus muscle, physiological maximum torque of knee flexion using a magnetic stimulation reduced. Therefore, it is possible to perform a quantitative evaluation of the knee flexor using this method.

研究分野：理学療法学

キーワード：磁気刺激 膝関節 表面筋電図 筋疲労 坐骨神経 膝関節屈筋

1. 研究開始当初の背景

(1) 膝関節屈筋が有する機能に関する動向
膝関節屈筋であるハムストリングは、半腱様筋、半膜様筋、大腿二頭筋から構成され、リハビリテーションの現場において多くの疾患で問題が生じる筋である。これまでに、膝関節屈筋の活動が高齢者における転倒や、若年者におけるスポーツ障害、脳血管障害後の片麻痺患者における歩行障害などに関連することが報告されている。

膝関節屈筋を構成する筋は、解剖学的に筋の形状や走行が異なることが報告されている (Kellis, 2012)。膝関節屈筋を構成する各筋の解剖学的特徴を考慮すると、関節運動時に機能を分担して活動していることが考えられており、等尺性および等速性膝関節屈曲運動時において筋電図学的に報告されている (Onishi, 2002, Kubota, 2009, Higashihara, 2010 など)。

(2) これまでの研究成果

我々は、膝関節屈筋を構成する各筋の機能を解明するために、選択的筋疲労条件を用いた一時的な機能欠損実験を実施している。選択的筋疲労実験とは、低周波電気刺激を用いた神経筋電気刺激によって、膝関節屈筋を構成する筋を選択的に筋疲労させ、選択的に筋疲労した筋の機能のみを欠損させるものである。我々は、半腱様筋の選択的筋疲労が、等尺性膝関節屈曲運動の筋活動様相を変化させること、およびジャンプ着地課題中の関節角度と筋活動量が変化させることを国際学会で発表した。

しかし、膝関節屈筋は坐骨神経支配であるため、他の四肢の筋のように末梢神経刺激による最大 M 波を測定することが困難であり、筋自体が有する筋力に対して選択的筋疲労課題がどの程度影響を与えたか明らかではない。この問題を解決するために、我々は坐骨神経を殿部において磁気刺激することで、膝関節屈筋から誘発筋電図を導出する方法を検討し、国際学会で発表した。この方法を用いることで選択的筋疲労した標的筋の疲労状態を定量的に評価することが可能となり、筋疲労前後の筋活動様相の変化について、骨格筋が貢献する割合を示すことが可能であると考える。

2. 研究の目的

本研究では、膝関節屈筋を構成する筋の機能分担について、磁気刺激を用いた新規的な方法を用いて解明することを目的とする。我々は、標的筋のみを選択的に疲労させた条件を用いて、その機能を解明する。具体的な研究目的は、以下の2つである。

- (1) 膝関節屈筋の筋疲労を経皮的磁気刺激を用いて定量的に評価する方法を開発する。
- (2) 膝関節屈筋を構成する筋を選択的に筋疲労させた機能欠損条件を用いて、選択的

に筋疲労した筋が膝関節屈曲運動中の膝関節屈筋の筋活動様相に与える影響を解明する。

3. 研究の方法

本研究では、以下の2つの研究を実施した。

- (1) 経皮的磁気刺激を用いて膝関節屈筋の筋疲労を定量的に評価する方法の開発
- (2) 神経筋電気刺激による選択的筋疲労介入を用いて、膝関節屈筋の機能欠損条件が膝関節屈曲運動中の筋活動様相に与える影響の解明

上記の研究を行うため、以下の実験を行った。

選択的筋疲労実験

膝関節屈筋を構成する個々の筋を選択的に筋疲労させるために、低周波刺激装置を用いた神経筋電気刺激を行った。神経筋電気刺激を実施する標的筋は、半腱様筋とした。今回は選択的な筋疲労を誘起することを目的とするため、標的筋以外の筋に収縮が生じないことを視診、触診で確認した。また、電気刺激電極の貼付位置は、標的筋の筋腹上とするため、超音波刺激装置を用いて筋の走行を確認した上で決定した。

磁気刺激を用いた誘発筋電図導出実験

膝関節屈筋から誘発筋電図を導出するために、磁気刺激装置を用いた坐骨神経刺激を実施した。磁気刺激は深部の刺激に適した大型円形コイルを用いて実施した。被験者は四つ這い位とさせ、坐骨神経が可能な限り表層を走行する姿勢となるよう工夫した (図1)。刺激部位は坐骨結節と大腿骨大転子を指標とし、各被験者で選択的筋疲労の標的筋からの誘発筋電図が最大振幅となる部位を決定した。



図1 磁気刺激時の実験風景

筋疲労の定量的評価実験

選択的筋疲労前後において誘発筋電図を導出し、その変化から筋疲労の程度を定量的に評価した。筋疲労の定量的な評価方法は、運動単位の動員度を見積もる方法である twitch interpolation 法 (Belanger, J Appl Physiol, 1981) と表面筋電図解析を用いた山田らの報告を踏襲した (山田, バイオメカニズム学会誌, 2003)。最大随意収縮の 20、40、60、80% 強度の膝関節屈曲力を発揮させ、随意収縮と同時に経皮的に坐骨神経への磁

気刺激を実施した。得られた随意収縮時誘発収縮力と安静時誘発収縮力の関係に基づいて、運動単位の動員度を算出した。

膝関節屈曲運動課題実験

選択的筋疲労前後において、膝関節屈曲運動について等尺性収縮の発揮トルク、筋活動量を測定した。膝関節屈曲運動は等速性筋力検査装置を用いて実施した。

4. 研究成果

(1) 各実験の結果

選択的筋疲労実験

半腱様筋への電気刺激の前後において、膝関節屈曲トルクは低下した。このことから、膝関節屈筋群に疲労が生じていることが明らかであった。また、表面筋電図の結果から、半腱様筋の表面筋電図では、電気刺激前後に疲労性変化が生じていたが、半膜様筋・大腿二頭筋では疲労性変化が生じなかった。このことから、電気刺激によって半腱様筋のみに選択的に筋疲労が生じたことが明らかとなった。

磁気刺激を用いた誘発筋電図導出実験

膝関節屈筋から誘発筋電図を導出するため、まずは至適な磁気刺激部位を検討した。被験者の坐骨結節と大腿骨大転子を指標に身体座標を設定し、各刺激部位で得られる誘発筋電図振幅をプロットした(図2)。各被験者によって至適刺激部位はばらつきが存在したが、被験者内では、2日の実験における再現性が高いことを示した。

その後、磁気刺激強度と得られる誘発収縮力の関係を検討した。その結果、磁気刺激強度を刺激装置の100%まで増加させたときに誘発収縮力がプラトーに達した対象者と、上昇し続ける対象者が存在した(図3)。プラトーに達した対象者は、磁気刺激によって坐骨神経が最大上刺激、または一定の刺激をすることができたと考えることができ、定量的評価実験で用いることができる。全ての対象者で同一の結果とならなかった理由として、対象者の体格や坐骨神経の走行深度が考えられ、更なる検討が必要である。

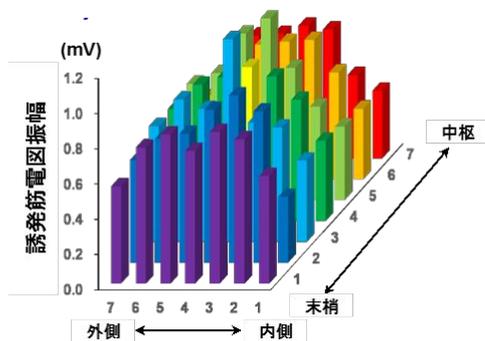


図2 磁気刺激部位と誘発筋電図振幅

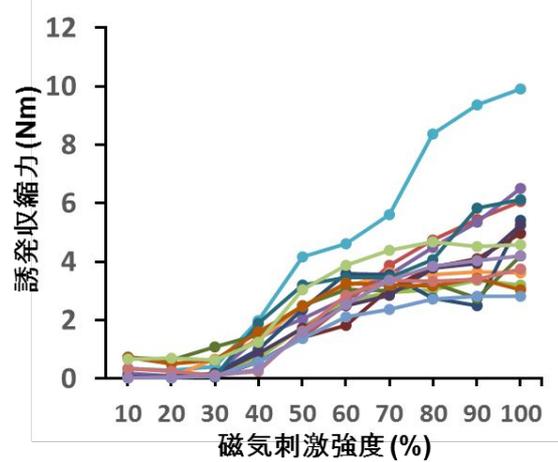


図3 磁気刺激強度と誘発収縮力

筋疲労の定量的評価実験

選択的筋疲労実験と誘発筋電図導出実験の手法を用いて、選択的筋疲労時の変化を定量的に検証した。筋疲労前に twitch interpolation 法を行った。Twitch interpolation 法では、随意収縮強度により随意収縮時誘発収縮力が低下し(図4)、その結果として随意的動員度が変化した。随意収縮力と随意的動員度の結果を用いて生理的的最大収縮力を算出した(図5)。半腱様筋の選択的筋疲労後に、同様に生理的的最大収縮力を算出すると、筋疲労前と比較して低下した。このことから、電気刺激による半腱様筋の機能低下が、生理的的最大収縮力を低下させたことが推察された。

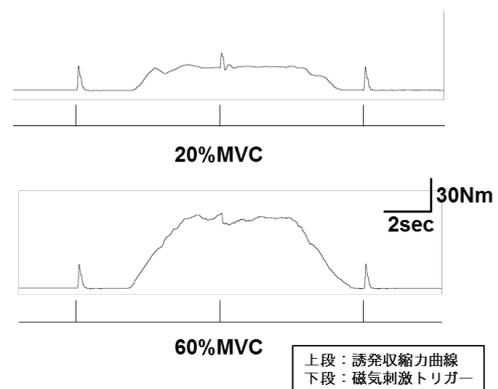


図4 twitch interpolation 法の生波形

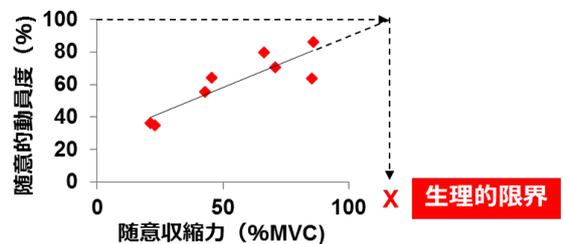


図5 twitch interpolation 法結果から生理的的最大収縮力の算出

膝関節屈曲運動課題実験

電気刺激を用いた半腱様筋の選択的筋疲労前後において、等尺性膝関節屈曲運動時の各筋の振る舞いについて検討した。半腱様筋が筋疲労することで、膝関節最大屈曲力は低下し、twitch interpolation法を用いた生理的最大収縮力も低下した。一方で、半膜様筋と大腿二頭筋は、半腱様筋が筋疲労したときに筋活動量を増加させた。このことから、膝関節屈筋間で、その機能を代償的に補完し合う機能を有することが考えられる。また、筋疲労前の最大努力での筋活動よりも高い金活動量を示したことから、通常時にはお互いに活動を抑制する回路が存在する可能性が考えられる。

(2) 実験結果の統合

電気刺激を用いることで特定の筋のみを筋疲労させることができたことから、この手法を用いることで、生体において身体運動時の詳細な筋機能について解明することが出来る可能性がある。また、磁気刺激を用いた坐骨神経刺激法が対象者によっては可能であったことから、これまでに行えなかった膝関節屈筋の機能について明らかにすることができた。本実験では、膝関節屈曲運動時のみの機能評価であるが、今回取り組んだ方法を用いることで、より詳細な膝関節屈筋の機能を検討するとともに、日常生活動作やスポーツ活動などの具体的な身体運動における膝関節屈筋の機能について検討することができると考える。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計5件)

青木信裕、金子文成、片寄正樹、膝関節屈筋に対する磁気刺激の部位が複合筋活動電位に及ぼす影響、第1回日本基礎理学療法学会学術集会・日本基礎理学療法学会第4回学術大会 合同学会、2014年11月16日、名古屋学院大学(愛知県・名古屋市)

青木信裕、金子文成、片寄正樹、膝関節屈筋の誘発筋電図導出における至適刺激部位の提案、第69回日本体力医学会大会、2014年9月20日、長崎大学(長崎県・長崎市)

Aoki N, Kaneko F, Katayose M, Methodological study of sciatic nerve stimulation by using a magnetic augmented translumbosacral stimulation coil, XX congress of the international society of electrophysiology and kinesiology, 2014年7月16日, Rome (Italy)

青木信裕、金子文成、片寄正樹、磁気刺激を用いた膝関節屈曲力の生理的限界の推定、第49回日本理学療法学会学術大会、2014年5月31日、パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)

青木信裕、金子文成、高橋良輔、片石直享、片寄正樹、磁気刺激を用いた半腱様筋からの誘発筋電図導出方法の確立、第3回日本基礎理学療法学会学術大会、2013年10月27日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 信裕 (AOKI, Nobuhiro)

札幌医科大学・保健医療学部・助教

研究者番号：20554653