

伸張性収縮での筋力トレーニングが前十字靭帯損傷患者の 運動単位動員の抑制に及ぼす効果

防衛大学校 小西 優
(共同研究者) 早稲田大学 衣笠 竜太
兵庫教育大学 小田 俊明

Effect of Eccentric Contraction on the Recruitment of Motor Units in Patients with ACL Rupture

by

Yu Konishi

National Defense Academy

Ryuta Kinugasa

University of Waseda

Toshiaki Oda

Hyogo University of Teacher Education

ABSTRACT

The purpose of present study was to compare the activated cross-sectional area (CSA) within quadriceps femoris (QF) between subjects with ACL lesion and those of normal subjects. Previously, we hypothesized that hindrance of afferent feedback from anterior cruciate ligament (ACL) could reduce the recruitment of motor units. Since the neuromuscular control such as the recruitment order of motor units were different depended on type of muscle contraction, the activated cross-sectional area (CSA) within the QF of patients with ACL lesion must be affected bilaterally. Six patients (5 male, 1 female) with ruptured ACL, and six healthy volunteers (4 male, 2 female) without a history of knee injury were enrolled in the present study. Since the both legs (injured and uninjured sides) of the patients with ACL lesion was compared with those of normal

subjects, there were three experimental groups in this study; Injured side group, uninjured side group, and normal group. Two kinds of exercise-task (Eccentric task and Concentric task) were imposed to all subjects. They performed four sets of 15 repetitions of a knee extension exercise. The %-activated CSA were compared among groups on each exercise-task. We assume that each exercise-task would induce different response on the %-activated CSA of each experimental group. However, the result of present study indicated that there was no significant difference among the groups.

要 旨

高閾値運動単位の動員が慢性的に阻害されている ACL 患者での活動部位 (%-activated CSA) を健常者のものと比較, 評価することにより, 難しいとされている ACL 損傷後の大腿四頭筋の筋力回復により適した収縮形態を客観的数値により同定することが本研究の目的となる. 本研究では, 膝に損傷歴を持たない6名と前十字靭帯を損傷して手術を行っていない6名を被験者として用いた. さらに, 本研究では患者の健側と患側を健側群と患側群のそれぞれに振り分け, それに健常者群を加えて3群で比較を行った. 本研究に参加した被験者は, ニーエクステンションマシンを用い, 2種類の筋力発揮課題(短縮性収縮課題及び伸張性収縮課題)を行い, それぞれの筋力発揮課題前後の MR 画像から得られた T2 値から大腿四頭筋の %-activated CSA を算出した. そして, それぞれの筋力発揮課題時の %-activated CSA を算出し 3群間で比較を行った. その結果, いずれの収縮形態においても群間に統計学的な有意差は認められなかった.

今回の結果は, 仮説とは異なるものであった. 今後は被験者数の追加や筋毎の解析, 体積を用いた解析などを行い, さらに詳細な分析を行っていく必要があるであろう.

緒 言

スポーツ活動中, 前十字靭帯 (ACL) 損傷の発生頻度は著しく高まると報告されている. ACL 損傷は膝関節の安定性を著しく低下させ, スポーツ活動を阻害する. また, 競技復帰までのリハビリテーションには多大な時間を要し, その要因のひとつとして大腿四頭筋の最大随意筋力低下が長期化することが挙げられる. この ACL 損傷後の大腿四頭筋の最大筋力の低下は, なんらかの神経系の機能異常により引き起こされていると報告されているが^{22, 23)}, その正確なメカニズムは未だ不明な部分が多い.

このメカニズムに関連して ACL にあるメカノレセプターからの感覚信号の欠落が, ACL 損傷患者の大腿四頭筋における筋力低下を引き起こしているとの推測をしている研究者は数多くいた. 事実, 多くの先行研究は, 靭帯のメカノレセプターからの感覚信号が, 中枢神経系へ送られ, 運動機能に影響を与えたとの結論を出している^{5-8, 21)}. しかし, ACL などの関節周囲組織にあるメカノレセプターからの感覚信号が, 直接的に関節周囲の筋肉に分布する α 運動ニューロンに影響を与える可能性は低く⁶⁾, なんらかの介在する神経学的メカニズムが存在しているはずである. ところが, この介在する神経経路を明らかにする研究はこれまで行われていなかった. そこで, 我々は, 先行研究において ACL 患者の QF への振動刺激への応

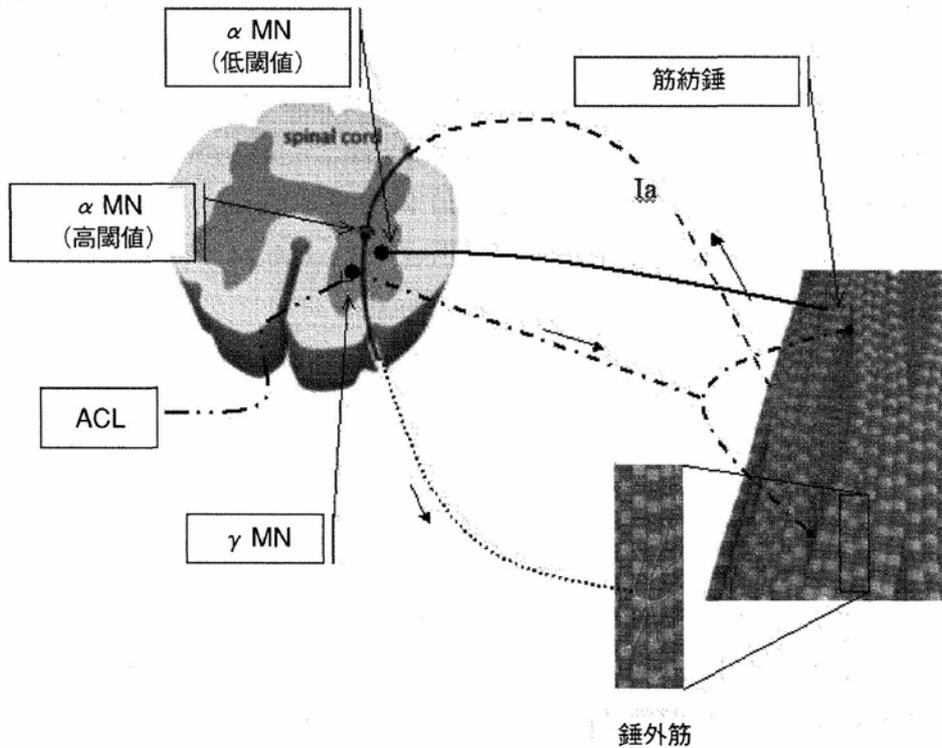


図1 前十字靭帯から出ている線1 (— · —) はACLからのフィードバックが減弱していることを示している。前十字靭帯からの上行性フィードバックの減弱は γ 運動ニューロンの活動を弱める結果となる(線2; — · · —)がその他の組織からのフィードバックは正常である。 γ 運動ニューロンの活動低下は、筋紡錘の感受性を低下させIa上行性神経からのフィードバックを弱める(線3; - - - - -)。その結果として高閾値運動単位の動員が阻害され、閾値の高い運動ニューロン(α MN)の活動が弱まる(線4; ·····)。低閾値運動単位はこのメカニズムに影響されない。また詳細な神経経路は不明であるが、このメカニズムは患側から健側にも影響を与えている。

答を解析することにより、靭帯損傷によるACL内のメカノレセプターからのフィードバックの欠落が γ 運動ニューロンの感受性を低下させることを一連の研究で明らかにした^{10-12, 14, 15}。さらに、これらの結果を基にACL内からのフィードバックが欠落することが高閾値運動単位動員を妨げ両側性に大腿四頭筋の最大筋力を低下させるという仮説立てた(図1)。実際に、ACL患者の大腿四頭筋の固有筋力(単位体積あたりの筋力)を測定してみると、健常者に比べ有意に低く、運動単位の動員が妨げられている可能性を示唆している¹³。

この仮説を基に考えると、より効率の良いACL患者の大腿四頭筋のリハビリテーションには、高閾値運動単位の動員を促す工夫が不可欠となる。運動単位の動員に影響を与える要因として

収縮形態も、そのひとつと考えられる。実際に、伸張性収縮は他の収縮と異なり高閾値運動単位がより優先的に動員されると報告されている¹⁹。では、末梢神経系の異常により高閾値運動単位の動員が抑制されているACL患者の大腿四頭筋で、短縮性と伸張性収縮のように異なる形態の収縮を行わせると、健常者の筋の動員様相と異なるものになるのだろうか？

安静時のMRIから得られたT2値(横緩和時間; transverse relaxation time)は、筋収縮運動を行うことにより一定閾値以上の値が変化するため、筋力発揮時の筋の動員様相を評価することができる^{1, 9}。本研究では、この手法を利用し、伸張性収縮及び短縮性収縮での筋力発揮課題を被験者に与えT2値からACL患者の大腿四頭筋の活動部位を算出し、それぞれを正常な被験者の動員様相と

比較する。高閾値運動単位の動員が慢性的に阻害されている ACL 患者での活動部位 (%-activated CSA) を健常者のものと比較、評価することにより、難しいとされている ACL 損傷後の大腿四頭筋の筋力回復により適した収縮形態を客観的数値により同定することが本研究の目的となる。

1. 研究方法

1. 1 被験者

本研究では、膝に損傷歴を持たない6名(男:4名, 女:2名, 平均年齢; 27.1 ± 6.3 歳, 平均身長; 169.1 ± 7.1 cm, 平均体重; 64.8 ± 9.7 Kg) と前十字靭帯を損傷して手術を行っていない6名(男:5名, 女:1名, 平均年齢; 21 ± 0.6 歳, 平均身長; 171 ± 4.5 cm, 平均体重; 72 ± 5.5 Kg) を被験者として用いた。本研究に用いられた前十字靭帯損傷患者に関しては、受傷後4ヶ月以上(4~15ヶ月)経過していた。実験時には、疼痛、炎症反応、関節の不安定感が認められず、本研究で用いられる筋力発揮課題を問題なく遂行できる者のみを被験者として用いた。また本研究では、全ての被験者が磁気共鳴画像(MRI; Magnetic Resonance Imaging)撮影を行うため、ペースメーカー等の金属性体内埋入物の有無等の禁忌事項に当てはまらない者のみを使用した。さらに、本研究では患者の健側と患側を健側群と患側群のそれぞれに振り分け、それに健常者群を加えて3群で比較を行った。また本研究は、防衛大学校倫理委員会の承認を受け、全ての被験者から研究同意書を得て行われている。

1. 2 磁気共鳴画像(MRI; Magnetic Resonance Imaging)撮影

被験者は磁気共鳴画像(MRI; Magnetic Resonance Imaging)装置(Signa; GE Medical System, Milwaukee, WI)のベッドで仰臥位となり膝関節をベッドと水平になるように伸展させる。

そして、予め測定した大腿中央部(大転子から外側間結節間の距離の中間点)をコイル(quad knee)の中心合わせ脚を専用ベルトで固定し動かないようにした。MR撮影は、大腿中央部より近位および遠位方向にそれぞれスライス厚10mm, スライス間隔15mmの設定で行い、計13枚の横断面の画像を得た。また、マトリクスは、 256×160 , 関心領域は、260mmで撮影を行った。それぞれの画像は、MR撮影により得られた画像は、DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine)ファイル形式でパーソナルコンピュータ(FMV-DESKPOWER, Fujitsu, Tokyo)に保存した。

1. 3 活動部位(%-activation CSA)の算出

本研究では、運動によりおこるT2値の変化を利用し大腿四頭筋の活動部位(%-activation CSA)を推定する手法を用いた。この手法は、異なるEcho timeによるT2強調画像を筋力発揮課題の前後に撮影することにより、閾値以上のT2値増加が観察された部位を活動領域と定義するものである⁹⁾。大腿四頭筋全体に含まれる全ての画素の平均値からT2値を算出するためImage J(NIH, Bethesda, Maryland)を用いて筋の縁をトレースし解析部位を同定した(図2 a, b)。また、同定した大腿四頭筋の横断面から筋組織以外のT2値と考えられる30ms以下(血管等), ならびに55ms以上(脂肪等: Adams et alと同様)のデータを除き、活動領域を算出した¹⁾。安静時のへ筋T2+1SDより高値を示した画素を運動により動員された部分とみなし、運動により動員された相対面積(%-activation CSA)を筋の活動部位とした。この%-activation CSAは筋収縮時の筋の動員様相を反映した指標であることが認められている^{1, 9)}。また筋力発揮課題の前の安静時と課題後の典型的なT2強調画像を図2 a, bに示した。

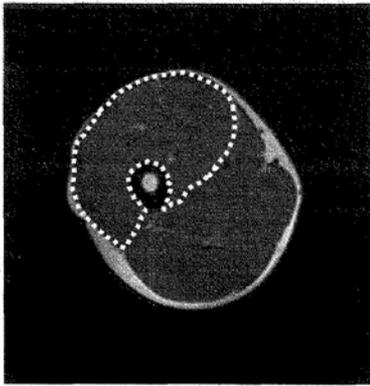


図2 a 筋力発揮課題前のT2強調画像，点線により解析部位（大腿四頭筋）をトレースしている



図2 b 筋力発揮課題後のT2強調画像，点線により解析部位（大腿四頭筋）をトレースしている

1. 4 筋力発揮課題

本研究に参加した被験者は，ニーエクステンションマシンを用い（Nitro Leg Extension, Nautilus社製），2種類の筋力発揮課題（短縮性収縮課題及び伸張性収縮課題）を行う。それぞれの課題の1. 4. 1 負荷の設定，1. 4. 2 実施方法に関しては以下で詳細を説明する。それぞれの課題の間は，2時間以上空け次の課題に影響が出ないようにした。

1. 4. 1 負荷の設定

運動負荷は，各被験者が発揮できる最大負荷の80%とした。各被験者は，事前に遂行可能な最大負荷の測定を行う。本研究では，短縮性収縮課題及び伸張性収縮課題の2種類の筋力発揮課題を

行うため，最大負荷の測定も，短縮性収縮と伸張性収縮を用いた2種類の最大負荷を測定した。測定方法の詳細に関しては，以下のようなものである。

1. 4. 1. 1 短縮性収縮課題

ウォーミングアップ後，被験者はニーエクステンションマシン（Nitro Leg Extension, Nautilus社製）に端座位で腰掛ける。そして彼らが申告する重量に設定し，被験者の好きなタイミングで約90度の膝屈曲位から完全伸展までその重量を挙上するように指示する。その試行に成功した場合，十分な休憩挟み，さらに重量を上げて被験者に挙上するよう指示をする。約90度の膝屈曲位から完全伸展まで重量を挙上できなくなるまで重量を上げ，最後に成功した重量を最大負荷とする。マシンのウエイトプレートは一枚4kg刻みであったが，プレートの上に1kg刻みの重りを置くことにより1Kg単位で負荷調整を行った。

1. 4. 1. 2 伸張性収縮課題

ウォーミングアップ後，被験者はニーエクステンションマシン（Nitro Leg Extension, Nautilus社製）に端座位で腰掛け，彼らが申告する重さに重量を設定し，そのレバーアームを検者が手で持ち上げる。そして被験者は，膝を完全伸展した状態で維持をする。そして検者は，負荷のかかったレバーアームを被験者の脛の部分にゆっくりと置く。この時の重みで被験者の膝が30度以内の屈曲で保持できる場合は成功とする。その試行に成功した場合，十分な休憩後，さらに重量を上げていきウエイトの重みで30度以内の膝屈曲位で維持できなくなるまで重量を上げていき，最後に成功した重量を最大負荷とした。負荷は，プレートの上に1kg刻みの重りを置き，1Kg単位で負荷調整を行った。

1. 4. 2 実施方法

1. 4. 2. 1 短縮性収縮課題

被験者はニーエクステンションマシン (Nitro Leg Extension, Nautilus 社製) に端座位で腰掛け膝伸展運動を行う。開始肢位は90度膝屈曲位とし、完全伸展位まで運動を行う。今回の研究では、短縮性収縮のみを行わせるために、被験者が持ち上げたレバーアームを検者が受け取り、伸張性収縮を被験者が行わずに済むようにした。負荷は予め測定した最大負荷の80%とし、挙上回数は15回、セット数は4セットと行ったが、後半のセットで、全可動域を通しての運動が不能なる場合は、随意筋収縮で、可能な限りの可動域での運動を行わせた。またセット間のインターバルは1分間とした。また被験者は、メトロノームに合わせ、極力2秒に一回のペースで課題を行わせた。

1. 4. 2. 2 伸張性収縮課題

被験者はニーエクステンションマシン (Nitro Leg Extension, Nautilus 社製) に端座位で腰掛ける。今回の研究では、伸張性収縮のみを行わせるために、検者がレバーアームを持ち上げる。その後、被験者は負荷が加わっていない状態で膝を完全伸展位までもって行き、検者が被験者の脛の部分にレバーアームを置く。その後、被験者は、膝伸展位0度から膝屈曲位90度まで伸張性収縮を行った。この時、被験者はメトロノームに合わせ、極力2秒に一回のペースで課題を行った。負荷は予め測定した最大負荷の80%とし、挙上回数は15回、セット数は4セットと行ったが、後半のセットで、全可動域を通しての運動が不能なる場合は、遂行できる限りの可動域で運動を行わせた。またセット間のインターバルは1分間とした。

1. 4. 3 負荷の設定実験手順

被験者は、まず大腿中央部を同定するためメジャーを使い大転子から外側間結節間の距離を測り、

デサントスポーツ科学 Vol. 31

その中間点にマーキングをする。その後、ベースラインとなるデータを得るため安静時の両大腿部のマーキングを中心にMR撮影を行う。本研究では、2種類の筋力発揮課題 (短縮性収縮課題及び伸張性収縮課題) を被験者に行わせるが、筋力発揮課題の行う順は、被験者毎でランダムにした。MR撮影終了後、予め設定しておいた運動負荷を用いて15回×4セットの短縮性もしくは伸張性収縮による筋力発揮課題を行わせる。被験者は、課題終了後、すぐにMR撮影を行う。

その後、2時間以上の休憩を挟み、まだ行っていない短縮性、伸張性収縮のいずれかの筋力発揮課題を行い、再度MR撮影を行った。また、全てのMR撮影では、課題終了から3分以内で撮影を開始した。

1. 4. 4 負荷の設定統計

統計量は全て平均値±標準偏差で示した。それぞれの課題 (短縮性収縮課題と伸張性収縮課題) において、健側群、患側群、健常者群の3群の活動部位の値を求め、一元配置分散分析を使って解析を行った。

2. 研究結果

本研究では、MR画像から得られたT2値を基に、活動している横断面積を総横断面積で除することにより算出された%-activated CSAを患側群、健側群、健常者群の3群で比較した。短縮性収縮課題での平均値±標準偏差は、患側群で60.5±21.1%、健側群で46.4±34.2%、健常者群で45.2±21.4%。伸張性収縮課題での平均値±標準偏差は、患側群で15.1±9.7%、健側群で15.0±17.1%、健常者群で18.1±17.6%であった (図3 a, b)。その結果、それぞれの課題において群間に有意差は検出されなかった。

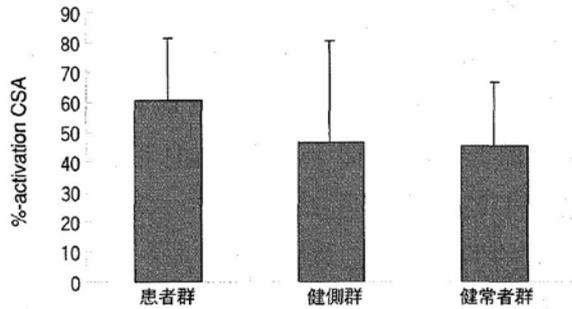


図3 a 短縮性収縮課題での各群の活動部位 (%-activation CSA)

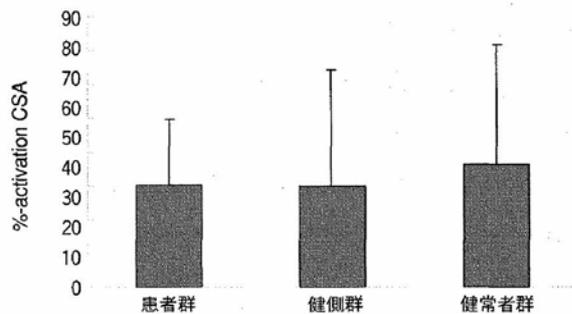


図3 b 短縮性収縮課題での各群の活動部位 (%-activation CSA)

3. 考察

我々は一連の研究の中で、ACL 損傷患者の大 腿四頭筋の慢性的な筋力低下は ACL 内にあるメ カノレセプターから脊髄へのフィードバックが損 傷により不全となり、神経筋の制御を妨げるこ とにより起こる高閾値運動単位の動員の低下である 可能性を示唆している^{10-12, 14, 15)} (図1)。このメ カニズムを踏まえて考えると、これらの患者の筋 力を適切に回復させるためには、高閾値運動単 位の動員を促していくことが不可欠となる。一方、 筋の収縮形態の相違は神経筋の制御に影響を与 えることがわかっている¹⁶⁻²⁰⁾。先行研究によると 伸張性収縮は神経筋の制御様式が他の収縮形態と 比べ特殊で¹⁶⁻²⁰⁾、高閾値運動単位を優先的に動 員するといわれている¹⁹⁾。このようなメカニズ ムを踏まえて考えると、伸張性収縮により筋力ト レーニングが、これらの患者の筋力回復に有効で ある可能性が考えられる。Gerberらは、このよう なメカニズムに言及してはいないものの、先行研

究で伸張性収縮がACL患者の筋力回復に有効で あると報告している²⁻⁴⁾。

そこで、本研究では短縮性及び伸張性収縮の2 種類の筋力発揮課題を被験者に与え、それぞれの 収縮形態での筋力発揮課題後の大腿四頭筋の%- activated CSAを算出し、患者の健、患側及び健 常者の大腿四頭筋の間で筋の動員様相を比較した。 高閾値運動単位の動員が慢性的に阻害されている ACL患者での%-activated CSAを収縮形態毎に評 価することにより、効率の良い筋収縮を起こす収 縮形態を同定することがきる。しかしながら、本 研究の結果は、短縮性収縮、伸張性収縮いずれに おいても、患者の健、患側及び健常者の大腿四頭 筋の間で、%-activated CSAには有意な差がみら れなかった。この結果から、両収縮形態において 患者の筋の動員様相は、健常者のものと差がない ことが分かった。我々は、これらの収縮形態を用 いた運動課題に対してACL患者の大腿四頭筋が 健常者とは異なる応答をすると仮定していたが、 本研究は我々の仮定とは異なる結果となった。

しかしながら、本研究の結果には、研究デザイ ンや被験者数などの要因が影響を与えている可能 性も考えられる。まず、本研究では、各群で6人 の被験者しか参加していない。本研究では、ACL を損傷しつつも比較的強度の高い運動課題を課さ なければならないため、被験者のスクリーニング が非常に厳しいものとなる。そのため今回の研究 期間でリクルートした被験者数では未だ不十分な 可能性がある。また、今回の研究では、大腿部の 近位30%のCSAを用いて大腿四頭筋の4筋の合 計で解析を行っている。しかしながら、筋のレベ ルや筋毎での活動部位に個人差がある可能性があ る。そこで今後は、各筋の体積を用いて解析して いく必要がある。

4. 結 論

伸張性収縮は、短縮性収縮に比べ低い筋活動量

でも大きな張力を発揮可能であることや、運動単位の動員順も他の収縮形態と異なり高閾値運動単位が優先的に動員される等、筋の収縮形態の相違が神経筋の制御に影響を与えることがわかっている。このように、神経筋の制御において異なる性質をもつ収縮形態で何らかの差を見出すことができれば、難しいとされているACL損傷後の大腿四頭筋の筋力回復をより効率よく機能回復することができる。我々の仮説どおり、ACLからのフィードバックが妨げられることにより高閾値運動単位の動員が抑制されるのであれば、ACL患者の筋の動員様相は健常者のものと異なるはずである。そこで本研究では、本研究では短縮性及び伸張性収縮の2種類の筋力発揮課題を被験者に与え、それぞれの収縮形態での筋力発揮課題後の大腿四頭筋の%-activated CSAを算出し、患者の健、患側及び健常者の大腿四頭筋の間で筋の動員様相を比較した。その結果、短縮性収縮、伸張性収縮いずれにおいても、患者の健、患側及び健常者の大腿四頭筋の間で、%-activated CSAには有意な差がみられなかった。今回の結果は、我々の仮説とは異なるものであったが、今後は、より多くの被験者を用いることや、筋毎の解析や体積を用いた解析(%-activated Volume)を行うことで、さらに詳細な解析を行っていく必要がある。

謝 辞

本研究に対し助成を承りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝いたします。また、実験に協力してくださった被験者の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Adams G., Harris R., Woodard D., Dudley G. Mapping of electrical muscle stimulation using MRI., *J. Appl. Physiol.*, 74:532-7 (1993)
- 2) Gerber J., Marcus R., Dibble L., Greis P., Burks R., LaStayo P. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: a 1-year follow-up study of a randomized clinical trial., *Phys. Ther.*, 89:51-9 (2009)
- 3) Gerber J., Marcus R., Dibble L., Greis P., Burks R., LaStayo P. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction., *J. Bone. Joint. Surg. Am.*, 89:559-70 (2007)
- 4) Gerber J., Marcus R., Dibble L., Greis P., Burks R., LaStayo P. Safety, feasibility, and efficacy of negative work exercise via eccentric muscle activity following anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Orthop. Sports., Phys. Ther.*, 37:10-8 (2007)
- 5) Johansson H., Sjolander P., Sojka P. Activity in receptor afferents from the anterior cruciate ligament evokes reflex effects on fusimotor neurones., *Neurosci. Res.*, 8:54-9 (1990)
- 6) Johansson H., Sjolander P., Sojka P. Receptors in the knee joint ligaments and their role in the biomechanics of the joint., *Crit. Rev. Biomed. Eng.*, 18:341-68 (1991)
- 7) Johansson H., Sjolander P., Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments., *Clin. Orthop.*, 161:78 (1991)
- 8) Johansson H., Sjolander P., Sojka P., Wadell I. Fusimotor reflexes to antagonistic muscles simultaneously assessed by multi-afferent recordings from muscle spindle afferents., *Brain Res.*, 435:337-42 (1987)
- 9) Kinugasa R., Kawakami Y., Fukunaga T. Mapping activation levels of skeletal muscle in healthy volunteers: an MRI study., *J. Magn. Reson. Imaging.*, 24:1420-5 (2006)
- 10) Konishi Y., Aihara Y., Sakai M., Ogawa G., Fukubayashi T. Gamma loop dysfunction in the quadriceps femoris of patients who underwent anterior cruciate ligament reconstruction remains bilaterally., *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 17:393-9 (2007)
- 11) Konishi Y., Fukubayashi T., Takeshita D. Mechanism of quadriceps femoris muscle weakness in patients with anterior cruciate ligament reconstruction., *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 12:371-375 (2002)
- 12) Konishi Y., Fukubayashi T., Takeshita D. Possible

- mechanism of quadriceps femoris weakness in patients with ruptured anterior cruciate ligament., *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 34:1414-1418 (2002)
- 13) Konishi Y., Ikeda K., Nishino A., Sunaga M., Aihara Y., Fukubayashi T. Relationship between quadriceps femoris muscle volume and muscle torque after anterior cruciate ligament repair., *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 17:656-661 (2007)
 - 14) Konishi Y., Konishi H., Fukubayashi T. Gamma loop dysfunction in quadriceps on the contralateral side in patients with ruptured ACL., *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35:897-900 (2003)
 - 15) Konishi Y., Suzuki Y., Hirose N., Fukubayashi T. Effects of lidocaine into knee on QF strength and EMG in patients with ACL lesion., *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35:1805-1808 (2003)
 - 16) McHugh M., Tyler T., Greenberg S., Gleim G. Differences in activation patterns between eccentric and concentric quadriceps contractions., *J. Sports Sci.*, 20:83-91 (2002)
 - 17) Nakazawa K., Yamamoto S., Yano H. Short- and long-latency reflex responses during different motor tasks in elbow flexor muscles., *Exp Brain Res.*, 116:20-8 (1997)
 - 18) Nakazawa K., Yano H., Satoh H., Fujisaki I. Differences in stretch reflex responses of elbow flexor muscles during shortening, lengthening and isometric contractions., *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 77:395-400 (1998)
 - 19) Nardone A., Romano C., Schieppati M. Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles., *J. Physiol.*, 409 (1989)
 - 20) Romano C., Schieppati M. Reflex excitability of human soleus motoneurons during voluntary shortening or lengthening contractions., *J. Physiol.*, 390:271-84 (1987)
 - 21) Sojka P., Sjolander P., Johansson H., Djupsjobacka M. Influence from stretch-sensitive receptors in the collateral ligaments of the knee joint on the gamma-muscle-spindle systems of flexor and extensor muscles., *Neurosci. Res.*, 11:55-62 (1991)
 - 22) Stokes M., Young A. The contribution of reflex inhibition to arthrogenous muscle weakness., *Clin. Sci (Lond.)*, 67:7-14 (1984)
 - 23) Young A. Current issues in arthrogenous inhibition., *Ann. Rheum. Dis.*, 52:829-34 (1993)