

平成 22 年 6 月 7 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19500568

研究課題名（和文） 筋収縮時の筋硬度変化による発揮筋力の推定

研究課題名（英文） Estimation of muscle contraction force using muscle hardness changes

研究代表者

村山 光義（MURAYAMA MITSUYOSHI）

慶應義塾大学・体育研究所・准教授

研究者番号：20245632

研究成果の概要（和文）：

本研究は筋硬度による筋収縮力の推定について、押込型筋硬度計と新たに考案した密着型筋硬度計を用い検討した。その結果、2種の評価法とも収縮力と筋硬度の間に有意な相関関係が得られた。特に、密着型による評価は運動中の発揮筋力変化に伴う筋硬度変化を随時計測でき、高強度の収縮レベルまで筋硬度との直線性が得られた。従って、筋硬度から発揮筋力を推定可能なことが明らかになり、さらに、スポーツ現場での密着型筋硬度計使用の有効性が示された。

研究成果の概要（英文）：

The objective of this study was to estimate the voluntary muscle contraction force by evaluating muscle hardness. For this purpose, we developed a novel contact-type muscle hardness device and compared its effectiveness to those of conventional indentation devices in terms of the measurement of variations in muscle hardness during isometric contractions. By doing so, we established a significant relationship between muscle strength and muscle hardness for both the devices. The novel contact-type muscle hardness meter is particularly effective in evaluating real-time muscle hardness during isometric contractions and the high linear correlation between muscle hardness and the muscle contraction force. In other words, it can be concluded that the muscle contraction force can be evaluated from muscle hardness. Furthermore, the proposed device can effectively apply the muscle condition in the sports activity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：筋硬度，筋力，スポーツ生理学，スポーツパフォーマンス

1. 研究開始当初の背景

(1) 筋硬度計測の生理学的意義からみた課題

筋硬度計測の生理学的意義には、筋線維の構造的変化（筋長や張力変化）および循環要因性の組織容積変化の評価という2側面があると言える（筋硬度変化の生理学的意義に関する研究、村山光義、平成16年度順天堂大学スポーツ健康科学研究科博士論文、2005）。また、筋張力と筋硬度の関係においては、摘出筋を用いたモデル実験から、筋硬度が受動的筋張力および筋収縮張力と直線的関係を持つことが明らかとなった（Muscle tension dynamics of isolated frog muscle with application of perpendicular distortion, Murayama, Yoneda, Kawai, Eur. J. Appl. Physiol. 93. 489-495, 2005）。すなわち、筋硬度は運動等によって生じる筋線維の張力変化と循環性の容積変化が複合された状況を反映している。これらの結果を基礎にして、より高精度で簡便な計測方法を開発するとともにスポーツ科学分野への応用を試みるのが次の課題となる。そこで、まず、筋線維の構造的変化から、スポーツ実践の現場に応用可能な情報を検出する試みとして、筋硬度による随意的な筋収縮力の評価に着目した。

(2) 筋硬度による随意的筋収縮力の評価における課題

骨格筋は収縮によって関節運動（動き）を引き起こすとともに力を外部に伝達する。この運動時の発揮筋力は、一般に関節を介して抵抗点となる身体部位で計測される。しかしながら、仮に計測された力が同じでも、そこには筋の付着点（力点）の違いによる「てこ比」や動作に関わる複数の筋の貢献度の違いなどが関わっており、筋の実際の発揮筋力のみを直接反映したものではない。抵抗点で計測された力には、個々の筋の発揮力が重要な構成要素となっているが、解剖学的要素との兼ね合いで伝達された力であることに留意しなくてはならない。このように、筋の収縮機能とパフォーマンスの関係を知る上では、実際に筋が発揮している力を考慮する必要がある。その評価方法として注目するのが「筋硬度」の変化である。

一般に骨格筋は収縮時に短縮し、その「硬さ」を増す。このことは収縮時の筋を生体表面から触れば容易に体験される。筋内では収縮強度の高まりに比例して、筋内圧が上昇することが知られており、こうした変化が生体表面に表出していると考えられる。従来、こうした硬度計測として静的な筋への押し込

みによる筋硬度計測が行なわれてきた（例えば Changes in hardness of the human elbow flexor muscle after eccentric exercise. Murayama et al.: Eur J Appl Physiol. 82. 361-367, 2000）。しかし、運動中には生体の動きや収縮による震え等の影響があり、静的な押圧手法による硬度評価は容易ではない。近年、筋収縮中の振動伝播を超音波画像から評価し、筋硬度として筋収縮力を評価する基礎的報告もされている（Human muscle hardness assessment during incremental isometric contraction using transient elastography. Gennisson et al.: J. Biomech. 38. 1543-1550, 2005）。しかし、運動中の筋発揮力を推定する上では、今後より簡便な計測方法が望まれ、押圧法、振動法に変わる評価方法を考案することで、この問題の解決に寄与すると考えられた。

2. 研究の目的

筋硬度による随意的な筋収縮力の評価のためにより簡便で精度の高い計測方法を提案することが本研究の大きな目的である。そこで、装置開発として注目した点は、筋硬度が組織容積変化にも対応する点である。接触型で押圧が可能な装置を開発し、容積変化に伴う内圧変化の検出を併用することで、リアルタイムでの筋硬度計測、筋発揮力の推定が出来る可能性がある。つまり、密着型の簡便な新型センサを開発し、従来の押圧計測法との比較を含め筋硬度変化から筋収縮力の推定可能性を検討することを最終的な目的に定めた。その準備段階として、まず、従来の押圧法による筋硬度評価における計測値の標準化を行い、押圧法の計測基礎を固めることとした。続いて、密着型筋硬度計測システムを構築し、その基礎データを取り、さらに、押圧型と新たな密着式による随意的筋収縮力の推定について比較検討することとした。

3. 研究の方法

(1) 検討：押圧法による筋硬度評価値の標準化

従来の筋硬度計測法として一般的な押圧法の基礎を再検証するため、安静状態の筋硬度評価方法の再検討と標準値作成を試みた。安静状態の標準値は収縮による筋硬度変化の基準となるからである。これまで筋硬度の計算には Horikawa et al. (1993) による2層弾性モデルを用いていたが、標準的な値を定めるには個人の筋量を考慮する必要がある。

そこで、157 名を実験協力者として超音波画像診断装置による皮下組織と筋厚計測および周径囲計測等の形態計測を実施し、筋硬度計測値との関係を調べ、弾性モデルの適用範囲を検討した。

(2) 検討 : 密着型の筋硬度計測システムの構築

新たな筋硬度評価方法として、薄型圧力センサ(ニッタ株: FlexiForceA201)に小型突起を取り付けた小型筋硬度センサを皮膚表面に貼り付け、生体側の反力を計測するシステムについて検討した。センサは非伸縮型のテーピングテープによって生体表面に密着固定され、筋収縮時の内圧変化を検出する。小型突起は高さ 8mm で生体表面に数 mm 押し付けられる。センサの検出感度はこのテープ固定に依存するため、常に計測点周径長の 95% 程度の巻き付けとした(図 1)。この計測法の基礎的検討として荷重負荷条件および



図 1 密着型筋硬度センサ

(3) 検討 : 密着型センサと従来型押圧法による随意的筋収縮の評価

小型圧力センサの巻きつけによる筋硬度の検出と従来型押し込み式筋硬度評価との比較検討を行なった。最大随意収縮力(Maximum Voluntary Contraction(MVC))に対し 10%MVC 単位での力発揮を目標レベルに合わせるように維持した。新型システムは生体表面に密着し、リアルタイムで筋内圧変化による硬度計測が可能という利点をもち、実験中すべての筋内圧変化を感知した。押圧型筋硬度計測では安定した収縮中の筋硬度を素早く計測した。随意的な等尺性筋収縮力発揮時の筋硬度変化を計測するとともに、密着型センサおよび従来の押し込み型筋硬度計測を実施し 2 装置間の関係をみた。

4. 研究成果

(1) 検討 : 押圧法による筋硬度評価値の標準化

個人の筋を一定量変形させる際の弾性係数として筋硬度を定義するため、弾性係数の回帰範囲を筋厚の 5-30% とし筋硬度を計算した。その結果、男女間に有意な差は認められず、筋厚による規格化によって性別に関係な

く筋硬度が比較できることが示された。筋厚の 5% 毎に計算した筋硬度は相互に高い相関関係を示したが、皮下組織厚との相関関係には違いが生じた。すなわち、筋厚の 10、15% 範囲からの計算値は皮下組織の影響を受けなかった。また中間的な範囲が筋の浅部と深部の双方の特性を反映することから、筋厚の 15% までの情報で筋硬度を計算することが妥当と考えた。これにより、上腕二頭筋の筋硬度の標準値は 25.1 ± 4.1 (kPa) となった(図 2)。

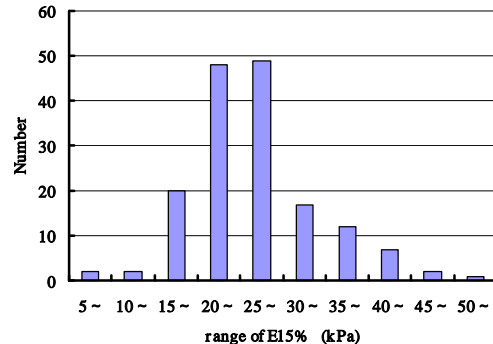


図 2 従来型押圧法による筋硬度の分布

(2) 検討 : 密着型の筋硬度計測システムの構築

新たに開発した密着型センサによる筋硬度計測の基礎的検討として、過重負荷によるセンサ出力の直線性を調べた。その結果、荷重とセンサ出力には高い直線性が示された。また、筋収縮時をモデルした、円柱型木材に巻きつけられたカフ表面での内圧変化の検出実験でも、同様に高い相関関係が得られた(図 3)。すなわち、20mmHg から 300mmHg までのカフへの加圧に応じ、密着型センサもその圧変化を検出した(相関係数 0.998)。センサ突起は高さ 8mm で生体表面に数 mm 押し付けられるのみであり、筋硬度(内圧)変化を検出する上で不十分な可能性もあった。しかしながら、その検出力は高圧まで直線的であった。従って、我々の開発した新型センサは、生体表面に密着し、筋の内圧変化を高精度で検出可能と考えられた。

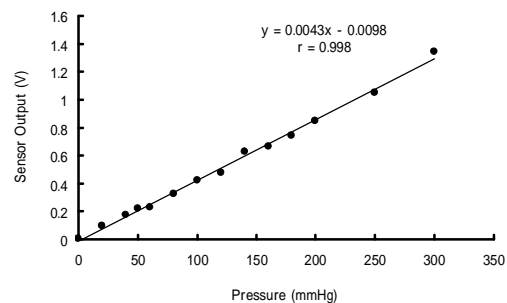


図 3 カフへの加圧とセンサ出力の関係

(3) 検討 : 密着型センサと従来型押圧法による随意的筋収縮の評価

筋収縮力の推定(従来型筋硬度計測と密着型筋硬度計測の比較)として随意的筋収縮中の2装置による筋硬度変化を比較した。その結果、いずれの計測値も筋収縮強度の高まりとともに筋硬度が増加する比例関係が得られ、筋硬度から筋収縮力を推定可能であることを確認できた。さらに、密着式による筋硬度は発揮筋力レベルと $r=0.856$ の高い直線関係が見られ、従来の押し込み式の筋硬度評価よりも高い直線性を示した(図4, 5)。この点は、本研究で開発した密着式筋硬度センサの有効性を示すものと考えられた。従来の押し込み式計測では発揮収縮力のプラトー時に合わせて計測を行うため、タイミングを合わせるためのタイムラグを含めた計測の不安定さがあるのに対し、密着式では、収縮開始以前からリアルタイムで筋硬度変化のモニタが可能であるため、収縮力との相関がより高まったと考える。従って、本研究の密着型筋硬度センサの利用で、運動動作中の発揮筋力を推定することが可能であると同時に、より安定した筋硬度評価を実現することができた。今後、スポーツ現場での実践的な活用について検討を加えることが課題といえる。

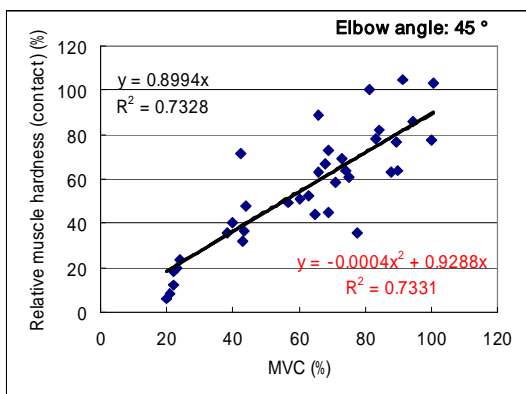


図4 筋収縮力と筋硬度(密着型)の関係

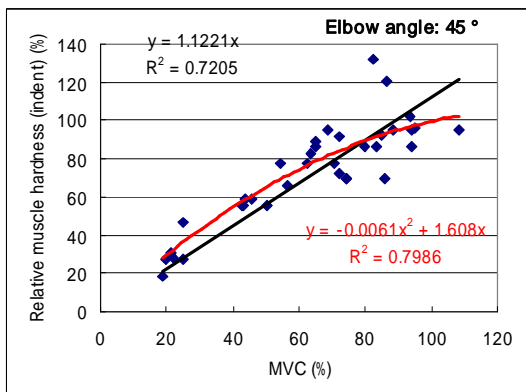


図5 筋収縮力と筋硬度(押圧型)の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計2件)

Murayama M, Ito R, Uchiyama T, Yoneda T : Application of a contact-type muscle hardness meter during voluntary isometric contraction, 14th Annual congress of the European College of Sport Science, 2009.6.26, Oslo, Norway

Murayama M, Kuwada K, Uchiyama T, Yoneda T : New evaluation of muscle hardness by taking into account individual muscle thickness. 13th Annual congress of the European College of Sport Science, 2008.7.11, Estoril, Portugal

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村山 光義 (Murayama Mitsuyoshi)

慶應義塾大学・体育研究所・准教授

研究者番号: 20245632