様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２８ 年　 ５ 月 ３１ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2013～2015
課題番号：２５３５０８２２

研究課題名（和文）筋損傷後の筋硬度とelastography法による筋弾性特性の関係

研究課題名（英文）The relationship between muscle hardness and muscle elastic property by elastography after muscle damage

研究代表者
村山　光義（MURAYAMA, Mitsuyoshi）

慶應義塾大学・体育研究所・教授

研究者番号：２０２４５６３２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は押圧式筋硬度計（Push-in Meter: PM）とReal-time Tissue Elastography（RTE）の筋硬度評価の関係性について，安静時，筋収縮時，eccentric運動による筋損傷誘発前後について検討した。PMとRTEの相関関係は安静時でR2=0.47，　筋収縮時でR2=0.83であった。eccentric運動後はPMとRTEともに肘関節強制伸展位で筋硬度増加を観察したが，RTEは非伸展位とconcentric運動側でも筋硬度の増加を示した。PMとRTEは筋収縮・伸展時のようにstiffnessが高まる条件では対応するものの，同一ではないことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to examine the relationships between real-time tissue elastography (RTE) and push-in meter (PM) for assessment of muscle hardness (MH) of resting, contracting and damaging muscle of the upper arm. The relationship between pressure force and the displacement of a muscle was recorded by PM and MH value “E” was calculated using the slope of the force-displacement relationship. The elastograph image was recorded by RTE and strain ratio (SR) in region of interest was calculated for each image. The correlation coefficients between SR and E in resting and contracting were significant (resting: R2=0.47; contracting: R2=0.83), but the correlation in resting was not strong. After inducing muscle damage, E measured at forcibly extended elbow position increased, although no significant changes at relaxed elbow position were evident. However, RTE showed an increase in MH both elbow positions. It is concluded that MH assessed by RTE is different from that by PM.

研究分野： 運動生理学

キーワード： 押圧式筋硬度評価　超音波elastography　ひずみ率　eccentric運動　筋損傷

１．研究開始当初の背景

日常的に「肩が凝った」「足が張った」などと表現される症状は，筋組織を対象としているが，生体に触れること（触診）でその硬さ変化として捉えられている。我々はこの筋硬度評価をヒトの手による硬さ認識同様に生体への加圧時の力－変位関係を評価する押圧法（Push-in Meter: PM）によって検討してきている。一方近年，超音波画像診断装置を用い，実際の筋組織の弾性特性を画像から real-time で評価する elastography 法（RTE）が検討されてきている。しかし，PM と RTE の対応関係は十分に検討されていない。我々の PM 評価は生体を 25mm 程度変形させ，触診に近い hardness を評価する立場であるが，RTE は数 mm の変形時の超音波特性から筋弾性を決定し，stiffness を評価している。従って， hardness と stiffness の比較から，いわゆる筋硬度をどのように評価すべきか両者の関係性を検討する必要がある。

２．研究の目的

我々が従来用いてきた押圧法（PM）による筋硬度評価と elastography 法（RTE）の比較から筋の stiffness と hardness の関係を明らかにする。具体的には，安静時および筋収縮時，eccentric 運動による筋損傷の誘発前後の PM と RTE の関係性を調べる。

３．研究の方法

(1)装置

PM は押し込み硬さ計・TK-HS100S（特殊計測）をステージコントローラ（シグマ光機）で制御するシステムを用い，皮膚表面からおよそ 25mm 押し込んだ際の変位と反力を計測した。変位-力曲線について皮下組織厚を境界にして皮下組織成分と筋成分に分けた。Horikawa et al. (1993)に従い，筋成分を直線回帰した際の傾き km から筋硬度値 E を計算した。この際，回帰計算する範囲を個人の筋厚の 5%〜50%（5%毎），5mm〜20mm（5mm 毎）に設定し，複数の E 値を算出した。2 層弾性モデルを適用し筋硬度値 E を算出した（図１）。

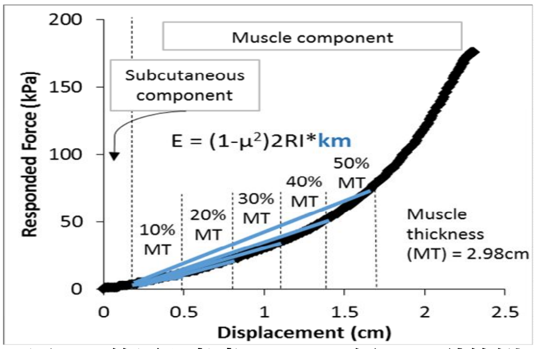

図１　筋厚を考慮した km (傾き)の計算例

RTE は Prosound F75（日立アロカメディカル）を用い，計測点と超音波プローブの間に基準物質（Reference coupler：22.3kPa）を置き，超音波プローブを数 mm 圧迫し Elastograph 画像を取得した。その後，解析対象範囲となる円形の Region of Interest（ROI）を設定し，Reference と ROI のひずみ比（Strain Ratio (SR)）を算出し硬度の指標とした。ROI は，皮下組織，上腕二頭筋全体（Whole），筋 0-5mm（直径 5mm）・5-10mm・10mm-15mm・15mm-20mm・20-25mm の複数を設定した。

(2)実験

①安静時および筋収縮時の計測：被験者は安静時 21 名，筋収縮時 16 名であった。安静時は左右上腕二頭筋に各 3 点の計測点を設けた。超音波 B-mode 画像にて上腕二頭筋の筋厚が最大となる部位確認し，中心点をマークした。他の 2 点は中心点から近位，遠位に各 2cm の位置とした。被験者はベッドに仰臥位にて安静を保ち，PM と RTE の計測を左右の腕で行った。筋収縮時は，座位にて上腕を固定台に水平に置き肘関節角度 90，60，30 度（最大伸展 0 度）の各条件で実施した。計測点は安静時計測の中心点とした。被験者は右腕において最大随意筋力(MVF)を計測後，Visual Feedback を補助に 15〜90%MVF（15%間隔）の力発揮を約 5 秒間維持する試行を行った。PM と RTE はそれぞれ別に力発揮中に計測した。

②eccentric 運動による筋損傷誘発実験：被験者は 10 名で，アームカール台に座り，ダンベルを利き腕で concentric 収縮後，非利き腕で eccentric 収縮を行った。ダンベルの移動は検者によって行われ、左右各 10 回を 5 セット実施した。ダンベルの負荷は 50%MVF とした。筋損傷の指標として CK 活性, MVF, 筋痛評価（VAS），関節可動域（安静：RANG, 伸展：EANG，屈曲：FANG），周径囲を運動負荷前後および 1〜4 日後まで計測した。PM と RTE は左右の上腕二頭筋筋腹に各 1 点計測点をマークし，①の安静時に従い計測した。この際，損傷により肘関節が屈曲するため、先行研究（Murayama et al. 2000）に従い，安静及び強制伸展位で筋硬度評価を行った。

(3)統計処理

PM による E 値と RTE の SR について、回帰分析を行った。回帰分析は統計処理ソフト SPSS（Ver.22）を用い、有意水準は 0.05 とした。

４．研究成果

(1)安静時の筋硬度比較

PM の E 値は筋厚の 50%または 20mm の範囲で押し込み量に比例して硬くなる結果となった（図２）。一方，SR は部位(region)によって異なり，15mm 以降は深部ほど SR が小さく硬くなるが、15mm までに序列はなく、深いほど硬いわけではなかった（図３）。つまり RTE による筋硬度の分布は一様でないことが明らかとなった。

E 値と SR の関係は直線回帰よりもべき乗関数への回帰において決定係数が高くなった。相互の対応関係を推定する場合、個別の ROI よりも上腕二頭筋全体または 15mm まで

の包括的な SR と筋厚 40%付近で算出した E 値の精度が高い結果となった。ただし，決定係数は 0.47 であった（図４）。

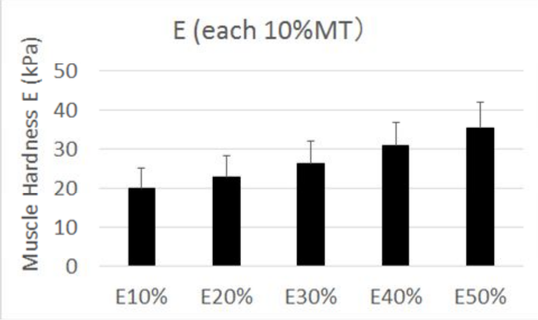

図２　筋厚の比率別に計算した E 値の平均

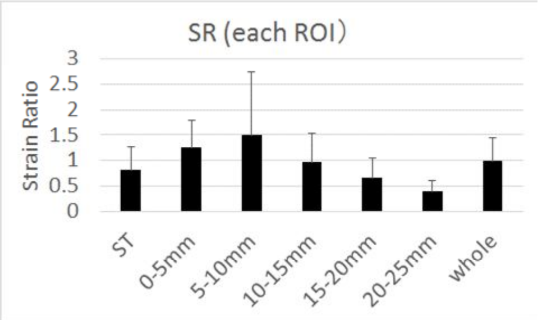

図３　ROI 別の SR の平均

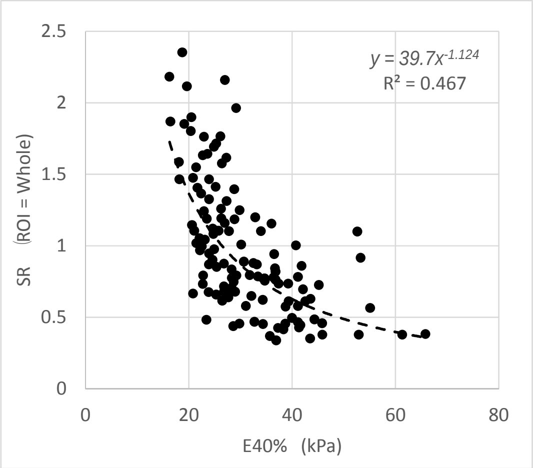

図４　安静時の SR と E 値の関係

RTE のプローブの押圧は数 mm であるのに対し、PM は約 25mm 組織を変形させた際の反力の応答から硬度を計算している。安静時のデータの範囲では，RTE と PM は評価しているものが異なる可能性がある。

(2)筋収縮時の筋硬度比較

収縮強度の増加とともに PM の硬度 E は増加し，RTE の SR は減少を示した。E と SR の関係はべき乗関数で回帰可能な曲線関係を示し，安静時（力発揮レベルを 0）から 90%MVC の範囲では決定係数が 0.83（y = 24.3x-1.138）であった（図５）。また，15-90%MVC の範囲でも 0.72 と高いものであった。しかし，安静時のみでは 0.43 であった。

筋内の SR は全体的には深部ほど小さい傾向を示したが，安静時の浅部では一様ではなく，SR が大きい範囲が中間的に存在した。PM の押圧範囲はこの浅部が中心であり，このため安静時の両者の評価が異なった可能性がある。一方，収縮時には安静時に比較して SR のばらつきが小さくなり，PM 評価との対応が高まったと考えられる。また，収縮力の高まりは stiffness の増加と考えられる。従って，PM による hardness 評価は stiffness の変化において RTE と対応する可能性があり，stiffness の小さな安静時は前項同様に関係性が弱いことが明らかとなった。

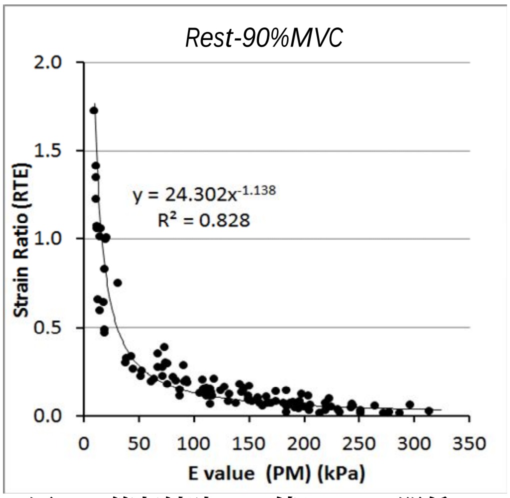

図５　筋収縮時の E 値と SR の関係

(3) eccentric 運動による筋損傷前後の筋硬度比較

運動負荷により筋損傷マーカーは有意に変化をしたが､concentric 運動側の MIF, VAS, 関節可動域の減少，周径囲の増加は小さく，1 日後にはほぼ回復した。また PM の E 値にも有意な変化は見られなかった。一方，eccentric 運動側では運動後 2 日目及び 3 日目をピークに筋損傷マーカーは亢進した。筋硬度は肘関節強制伸展位で計測した E 値が有意に増加し続けた。しかし，安静位(非伸展位)の E 値は変化せず、これらの所見は我々の先行研究（Murayama et al. 2000）に一致していた（図６）。

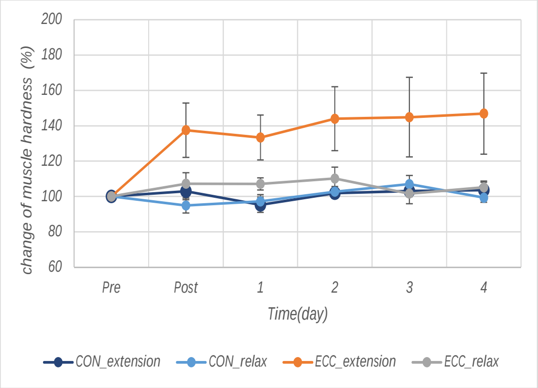

図６　筋損傷後の E 値の変化

次に RTE の SR は，concentric 運動側でも減少を示し，E 値とは異なり筋硬度の増加を示した。さらに，eccentric 運動側では安静位・

強制伸展位のいずれも筋硬度の増加が示された。つまり，PM と RTE ともに肘関節強制伸展位で筋硬度の増加を同様に観察したが，RTE では安静位および非損傷筋と考えられる concentric 運動側でも筋硬度の増加を示した。

以上の結果から，PM による筋硬度評価と RTE によるそれは異なる傾向を示すことが明らかとなった。

(4)まとめと今後の課題

安静時および筋収縮時，筋損傷前後の PM と RTE の比較から，PM と RTE は筋収縮・伸展時のように stiffness が高まる条件でよく対応するものの，同一とならないことが明らかとなった。筋硬度は筋の長軸方向の張力に関わる stiffness の他，組織容積変化等が関係する。RTE の筋硬度評価はこうした他の要因に影響を受けている可能性がある。今後は循環要因を変動させた条件等で検証を続ける必要がある。

＜引用文献＞

① Horikawa, M., Ebihara, S., Sakai, F. and Akiyama, M.: Noninvasive measurement method for hardness in muscular tissues, Medical and Biological Engineering and Computing, 31(6), 623‑627, (1993).

②Murayama, M., Nosaka, K., Yoneda, T., and Minamitani, K.: Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise, European Journal of Applied Physiology, 82(5-6), 361-367, (2000).

５．主な発表論文等

〔学会発表〕（計７件）

①村山光義, 稲見崇孝, 島典広, 米田継武, 押圧型筋硬度計と超音波エラストグラフィによる筋収縮中の上腕二頭筋硬度の比較, 第 70 回日本体力医学会 2015.9.23, 和歌山県民文化会館・ホテルアバローム紀の国（和歌山県・和歌山市）.

②Murayama M, Nosaka K, Inami T, Shima N, Yoneda, Resting muscle hardness of biceps brachii assessed by a pressure meter in comparison to real time Elastography, 20th Annual congress of the European College of Sport Science, 2015. 6.26, Malmo (Sweden).

③Inami T, Murayama M, Shima N, Nosaka K, Relationship between contraction intensity and muscle hardness assessed by real-time tissue elastography for the elbow flexors at different joint angles, 20th Annual congress of the European College of Sport Science, 2015.6.26, Malmo (Sweden).

④Shima N, Murayama M, Inami T, Nosaka K, Difference between mechanomyographic and electromyographic responses to isometric contractions of biceps brachii at different elbow joint angles, 19th Annual congress of the European College of Sport Science, 2015.6.25 Malmo (Sweden).

⑤村山光義，稲見崇孝，米田継武，押圧型筋硬度計と超音波エラストグラフィによる上腕二頭筋硬度の比較，第 69 回日本体力医学会，2014.9.20，長崎大学（長崎県・長崎市）.

⑥ Murayama M, Nagaoka M, Uchiyama T, Yoneda T, Hardness comparison of tissue-mimicking materials measured using different types of muscle-hardness meters, 19th Annual congress of the European College of Sport Science, 2014.7.3, Amsterdam (Netherland).

⑦村山光義，米田継武，押圧型筋硬度計測を再考する, 第 68 回日本体力医学会,2013.9.23, 日本教育会館・学術総合センター（東京都・千代田区）.

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・教授
研究者番号：２０２４５６３２

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

野坂　和則（NOSAKA，Kazunori）
Edith Cowan University・School of Exercise and Health Sciences・教授

稲見　崇孝（INAMI，Takayuki）
早稲田大学・スポーツ科学学術院 スポーツ科学研究センター・次席研究員（研究院助教）