

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：32671

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10900

研究課題名(和文) 荷重超音波画像装置を用いた人の骨格筋硬度に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Basic study on skeletal muscle hardness of the person using the new-developed ultrasonic instrument

研究代表者

沢井 史穂 (sawai, shiho)

日本女子体育大学・体育学部・教授

研究者番号：10245631

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究のねらいは、近年開発された携帯型Bモード超音波装置のプローブに圧力計を内蔵した荷重超音波画像装置を用いて、ヒトの骨格筋の硬さ(筋硬度)に関する基礎的データを収集することであった。

幅広い年齢層の男女を対象に上腕前部と大腿前部の筋硬度を測定し、年齢差と性差を検討した上で、日本人男女の性別・年代別筋硬度評価基準を作成した。また、若年成人男女における上腕、大腿、下腿の計5部位の筋硬度の差について検討した。更に、若年成人を対象として、疲労困憊に至る一過性の筋力トレーニング実施後の筋硬度の変化、および継続的な筋力トレーニング並びにスタティックストレッチング前後の筋硬度の変化について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Bモード超音波装置のプローブに圧力計を備え付けた荷重超音波画像装置を用いて、これまで十分明らかにされていなかったヒトの骨格筋の硬さ(筋硬度)に関する基礎的データの集積を行った。すなわち、上腕部と大腿部の筋硬度の年齢差、性差、部位差を検討し、日本人男女の性別・年代別筋硬度評価基準を作成した。更に、疲労困憊に至る一過性の筋力トレーニング実施後の筋硬度の変化および継続的な筋力トレーニング並びにスタティックストレッチング前後の筋硬度の変化について検討した。本研究で得られた知見は、運動・スポーツ現場における筋のコンディショニングに役立つと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to collect basic data on human skeletal muscle hardness (muscle hardness) using a recently developed load ultrasound imaging system with a built-in pressure gauge in the probe of a portable B-mode ultrasound system.

Muscle hardness of the anterior upper arm and anterior thigh was measured in males and females of a wide age range, and after examining age and sex differences, muscle hardness evaluation criteria were developed for Japanese males and females by sex and age. In addition, differences in muscle hardness in a total of five regions (upper arm, thigh, and lower leg) were examined in young adult males and females. Furthermore, we examined changes in muscle hardness after transient strength training leading to exhaustion, as well as before and after continuous strength training and static stretching in young adults.

研究分野：運動生理学・体力科学・スポーツ科学

キーワード：筋硬度 Bモード超音波装置 筋力トレーニング スタティックストレッチング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人の骨格筋の構造特性(筋厚や筋断面積、羽状筋における羽状角など)については、これまで特に超音波画像診断技術を活用して定量化されてきた。そして、骨格筋の構造特性は、その機能(筋力発揮能力)を決める重要な因子であることも明らかにされてきた。しかしながら、筋の厚さが同じでも筋線維組成の違いや筋線維を取り巻く結合組織の影響などによって筋の質が異なれば、筋の出力にも違いが生じる可能性がある。一方、安静時でも筋緊張、筋疲労、筋損傷があると筋は硬くなるので、筋硬度の変化を知ることで筋のコンディションを評価することができると思われる。スポーツやリハビリテーションの現場において、筋の硬さ(筋硬度)は、もっぱら手で触れたときの感覚によって古くから定性的に評価されてはいたが、定量化に向けては方法論やコストの面で多くの課題を抱えていた。例えば、圧入型の筋硬度計を用いて生体表面から圧力をかけた時の皮下組織全体の変位量を数値化するという手法は、皮膚、皮下脂肪、筋といったそれぞれ弾性係数が異なる組織の総合的な硬さを求めているのであって、筋そのものの硬さを検出していない上、検者の習熟度の違いによる測定誤差を生じやすいため、その妥当性や信頼性には限界があることが指摘されている。一方、近年開発された超音波エラストグラフィ法は、高精度に筋硬度を評価することができるものの、装置が高価なことに加え持ち運びが困難であることから、スポーツやリハビリテーションなどの実践現場で手軽に利用することができないという問題がある。したがって、スポーツ選手のコンディショニングや障害予防、一般人の筋機能評価など、運動・スポーツ現場で筋硬度のデータを有効活用していくためには、人の筋硬度を精度よく、しかもフィールドで簡便に測定することのできる方法論の確立と筋硬度の評価基準の作成が望まれる。本研究はこの課題に向けた取り組みである。

2. 研究の目的

一般的に「硬さ」とは「他の物体によって変形を与えられた際に呈する抵抗の大小(寺澤, 1981)」と定義されるため、筋硬度も身体外部から筋に加えた力(応力)と筋形状の変位(歪)の関係から定量的に評価することができると思われる。この発想に基づき、我々は近年、携帯型Bモード超音波装置のプロープに圧力計を備え付けた荷重超音波画像装置を開発し、加えた圧力に対する筋形状の変形量を直接計測してヒト骨格筋の筋硬度を評価する手法(超音波筋硬度測定法)を考案した。本装置はプロープと本体が小型軽量であり、PCにつなげて専用の解析ソフトにより超音波画像を取り込み、プロープ圧に伴う筋厚の変化を動画で記録することができる。持ち運びが容易なため、フィールドでの測定も十分可能である。この手法を用いれば、従来の筋硬度測定法の抱えていた問題点を克服し、人の骨格筋の硬さに関する多くの基礎的データの収集を行うことができる。我々は、これまで、3種類の異なる硬度のファントムゲルを用いて、超音波筋硬度測定法の測定精度と信頼性を検証した上で、人の肘屈曲筋を対象とした場合の本測定法の再現性についても確認した(藤田ら、2015)。更に、力発揮レベルと筋硬度との間に有意な正の相関関係($r = 0.967$)があることを示した(藤田ら、2015)。その後、様々な運動部に所属している女子学生100名余を対象として、超音波筋硬度測定法により上腕部と大腿部の筋硬度を測定し、大腿部において筋硬度に種目間の差(審美種目は個人種目や球技系種目より筋が柔らかい)を認めた(沢井ら、2017)。また、一日中座業に従事している成人女性を対象に、下腿周径囲と超音波筋硬度測定法による腓腹筋硬度の日内変動について検討し、下腿のむくみと筋硬度とは関連がないことを報告した(嶋田ら、2017)。

本研究の目的は、この超音波筋硬度測定法を用いて、人の筋硬度に関する基礎的なデータを幅

広く収集し、スポーツ選手のコンディショニングや障害予防、一般人の筋機能評価など、運動・スポーツ現場での幅広い応用につながる知見を得ることである。すなわち、本研究は、これまで十分明らかにすることができなかつた‘人の骨格筋の硬さ = 筋の質的特性’に関する知見の集積を目指すものである。

3. 研究の方法

【平成 30 年度】

若年者（18 歳以上）から高齢者（65 歳以上）までの幅広い年齢層に渡り、荷重超音波画像装置を用いて、右側上腕二頭筋と大腿四頭筋の筋硬度測定を行う。上腕二頭筋は肩関節の近位 60% 部位、大腿四頭筋は股関節の近位 50% を測定部位とする。筋硬度の評価法は、仰臥位安静状態で測定部位の皮膚表面に超音波のプローブを当て、0 ~ 1000gf 程度までゆっくりと圧迫力をかけていく過程での筋厚の変化の画像をパソコンに記録する（図 1）。測定部位にかけられた圧力とその時の筋厚を超音波画像から継時的に計測し、プローブ圧と筋厚変化との関係から、両者の間に直線性が認められる解析区間（100 ~ 600gf）における一次回帰式を求め、その勾配を筋硬度評価値とする（図 2）。測定データの分布に基づき、日本人男女の性別・年代別筋硬度評価基準（硬い ~ 柔らかいまでの 5 段階評価）を作成する。

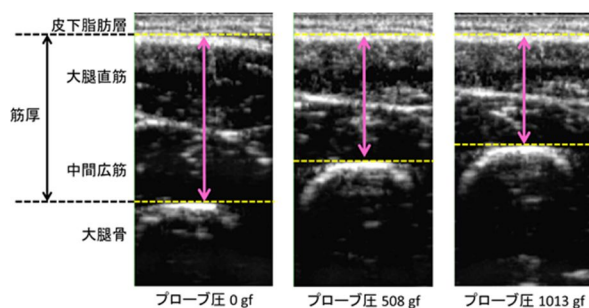


図 1 プローブ圧の増加に伴う大腿四頭筋厚の変化

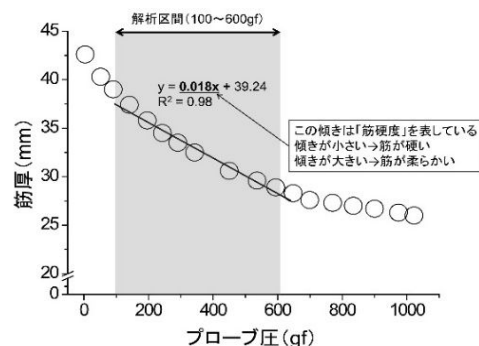


図 2 プローブ圧と大腿四頭筋厚との関係

【令和元年度】

若年者（18 歳 ~ 25 歳程度）の男女それぞれ 20 ~ 30 名程度を対象に、荷重超音波画像装置を用いて前年度と同様に身体各部の筋硬度を測定評価することで、筋硬度の部位差（特に拮抗筋間）について検討する。測定対象とする筋は、上腕二頭筋と上腕三頭筋、大腿四頭筋と大腿二頭筋、下腿三頭筋の計 5 筋、測定肢位は、上腕前部、大腿前部は仰臥位、上腕後部、大腿後部、下腿後部は伏臥位とする。下腿三頭筋の測定部位は膝関節の近位 30% とする。被検筋間の筋硬度の平均値比較を行うことに加え、上腕の拮抗筋間、大腿の拮抗筋間の筋硬度の個人差についても検討する。

【令和 2 年度】

一過性の筋の短縮及び伸長による筋硬度の変化（筋の最大収縮時と伸長時、最大収縮後と伸長後）を検討する（横断的研究）とともに、継続的な筋の短縮刺激（筋力トレーニング）および伸長刺激（ストレッチ運動）による筋硬度の変化を検討する（縦断的研究）ことにより、筋への力刺激の違いが筋の質的特性に及ぼす影響について明らかにする。

4. 研究成果

平成 30 年度は、健全な若齢者と高齢者を対象として右側の上腕前部と大腿前部の筋硬度の年齢差と性差を検討し、上腕では女性にのみ、大腿では男女ともに年齢差が認められ、高齢群の方が若齢群よりも筋が硬かったこと、性差は高齢群の大腿のみにみられ、女性の方が男性よりも筋が硬かったことを示した(表 1)。

表 1 上腕前部及び大腿前部の筋硬度における年齢差及び性差

	若齢群		高齢群		二元配置分散分析		
	男性 (n=51)	女性 (n=56)	男性 (n=50)	女性 (n=78)	年齢	性	交互作用
上腕前部筋硬度(gf/mm)	105.1 ± 16.4	99.7 ± 13.6	109.9 ± 17.2	113.2 ± 18.7	*	n.s.	n.s.
大腿前部筋硬度(gf/mm)	63.1 ± 11.0	69.5 ± 15.6	88.3 ± 24.4	102.8 ± 42.7	*	*	n.s.

*:p<0.05

更に、特定のスポーツ種目を競技レベルで実践している者の右側の上腕前部と上腕後部の筋硬度を比較したところ、上腕前部より上腕後部の方が筋硬度は有意に高かった。上腕の拮抗筋間の筋硬度の比率にスポーツ種目による差は認められなかった。また、運動習慣の異なる女子大学生(運動部員と一般学生)を対象に大腿前部と後部の拮抗筋間の筋硬度を比較し、運動部員は一般学生より大腿前部の筋が柔らかく、大腿の拮抗筋間の筋硬度の差が小さいという結果を得た。大腿の拮抗筋間の筋硬度の比率にスポーツ種目による差は認められなかった。

令和元年度は、前年度に対象者に加えられなかった中年齢層(30~50歳代)の上腕前部と大腿前部の筋硬度を測定し、前年度のデータと合わせて性別・年代別筋硬度評価基準を作成した。

また、20~25歳の男女を対象として、上腕前部、上腕後部、大腿前部、大腿後部筋、下腿後部の計5筋の筋硬度を測定し、部位差について検討した。その結果、男女とも上腕後部の筋硬度が最も高く、大腿の筋硬度は上腕に比べて低かった。筋硬度と筋厚との関係を見ると、上腕は筋が薄くて硬い傾向にあり、大腿は筋が厚くて柔らかい傾向にあることが分かった。

令和2年度は、荷重超音波装置を用いて(1)疲労困憊に至る一過性の筋持久力トレーニング実施後の筋硬度の変化を検討するとともに、継続的な(2)筋力トレーニング並びに(3)スタティックストレッチング前後の筋硬度の変化を調べ、定期的な運動刺激がヒトの骨格筋の質に及ぼす影響について検討した。

- (1) 若年成人女性を対象に、疲労困憊に至る一過性の上腕二頭筋の筋持久力トレーニング実施後の時間経過に伴う筋硬度の変化を検討したところ、トレーニング終了 72 時間後まで筋硬度の緩やかな上昇が観察され、72 時間後に最も高い数値を示すという結果を得た。
- (2) 若年成人女性を対象として、上腕二頭筋に対する定期的な筋力トレーニング(アームカール、1セット12回×3セット、3回/週×6週間)が上腕二頭筋の筋硬度及び筋厚に及ぼす影響を検討したところ、トレーニング後に筋厚は有意ではないが増加傾向を示し、筋硬度はトレーニング後に有意に高値を示した(硬くなった)ことから、筋の量が明らかに変わる前に筋の質が変わったと考えられた。
- (3) 若年成人女性を対象として、ストレッチングボードを用いた下腿後部の長期的なスタ

ティックストレッチング(30秒間/日×4セット×5/週×6週間)による腓腹筋外側頭の筋硬度の変化について検討した。6週間のストレッチング実施後に足関節の可動域は有意に増大したが、腓腹筋の筋硬度に有意な変化は認められなかった。つまり筋の長軸方向への柔軟性の向上が生じても、安静時における筋の短軸方向の変形量は影響を受けないことが確認された。

一過性及び継続性の筋力トレーニング実施が筋硬度に与える影響については、他大学に所属する共同研究者が、若年成人男性を対象とした実験研究を実施する予定であったが、トレーニング期間中にコロナの影響で大学への入校禁止措置が講じられることになったため、実験の遂行が中断してしまい、本年度の研究計画を終えることができなかった。そのため、研究期間を1年延長した。

令和3年度は、「若年成人男性を対象とした上腕屈筋への一過性及び継続的な筋力トレーニングが筋硬度に及ぼす影響」について検討するとともに、令和2年度の研究において結果が曖昧であった「若年成人女性を対象とした上腕二頭筋に対する継続的な筋力トレーニングが筋硬度に及ぼす影響」について再検討するための追実験を行った。若年成人男性を対象とした上腕屈筋のトレーニング実施による一過性の筋の張りがもたらす筋厚、筋硬度、肘屈曲トルク、上腕部圧痛変化の経時的な変化を検証した結果、筋硬度が1週間後、その他については72時間後にはトレーニング前の状態に戻ることが確認された。そして、上腕屈筋に対する長期のレジスタンストレーニングが筋厚、筋硬度ならびに肘屈曲トルクに与える影響について検証した結果、筋厚と肘屈曲トルクは有意な増加を示したが、筋硬度は長期のレジスタンストレーニングによる影響は受けず、変化しないことが示された。一方、若年成人女性を対象に、上腕二頭筋に対する8週間の筋力トレーニングを実施したときの筋硬度及び筋厚の変化について検討したところ、トレーニング後に筋厚は有意に増加傾向を示し、筋硬度は有意に減少傾向(柔らかくなった)を示した。

以上の結果と前年度の結果から、上腕屈筋への継続的な筋力トレーニングが筋硬度に及ぼす影響については一致した結果が得られず、更なる検討が必要であると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 柴田景子, 田中寿志, 沢井史穂	4. 巻 11
2. 論文標題 荷重超音波装置を用いた上腕及び大腿における筋硬度の年齢差及び性差の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東京体育学研究	6. 最初と最後の頁 31-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 市川 萌, 手島貴範, 沢井史穂	4. 巻 11
2. 論文標題 荷重超音波装置を用いた大腿における拮抗筋間の筋硬度比較	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東京体育学研究	6. 最初と最後の頁 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 柴田景子, 沢井史穂
2. 発表標題 荷重超音波装置を用いて評価したヒトの体肢における筋硬度の性差及び部位差に関する検討
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田景子, 川上真奈, 沢井史穂
2. 発表標題 測定肢位の違いが大腿前面筋厚の値に及ぼす影響と性差について
3. 学会等名 東京体育学会第11回学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田景子, 沢井史穂
2. 発表標題 一般高齢女性と若年女性の上腕及び大腿の筋硬度比較
3. 学会等名 日本体育学会第69回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田景子, 田中寿志, 沢井史穂
2. 発表標題 荷重超音波装置を用いた上腕及び大腿における筋硬度評価値の年齢差と性差の検討
3. 学会等名 東京体育学会第10回学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市川萌, 手島貴範, 沢井史穂
2. 発表標題 荷重超音波装置を用いた大腿における拮抗筋間の筋硬度比較
3. 学会等名 東京体育学会第10回学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	藤田 英二 (Fujita Eiji) (50506300)	鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・准教授 (17702)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------