

## 荷重超音波法を用いて評価した上腕筋硬度の 年齢差と性差の検討

柴田景子<sup>1)</sup> 沢井史穂<sup>2)</sup>

【背景】これまで筋の質的特性を示す指標の1つとして、スポーツや医療現場では、筋の硬さ(筋硬度)を評価してきたが、基礎的データが十分に蓄積されていない現状である。【目的】本研究の目的は、荷重超音波装置(Bモード超音波装置のプロープに圧力計が内蔵され、加えた圧力に対する筋厚の変位量を経時的に計測できる装置)を用いて上腕前部の筋硬度の年齢差と性差について検討することである。【方法】対象者は、健康な18~22歳の若年者、30~59歳の中年者、61~87歳の高齢者の男女、計289名であった。対象部位は、上腕前部とした。筋硬度は、超音波装置のプロープ圧と筋厚との間に直線関係が認められる区間の一回帰式の傾きによって評価した。【結果】上腕前部における筋硬度の値には女性においてのみ年齢差が認められ、高齢女性の方が若年女性よりも筋が硬かった。この要因の1つとして、女性における筋厚の年齢差が関係している可能性が考えられた。一方、上腕前部の筋硬度に性差は認められなかった。今後は、様々な部位で年齢や性別によって筋硬度に違いがあるか否か検証し、その要因を検討していくことが必要である。

キーワード: 筋硬度, 年齢差, 性差

### I. はじめに

スポーツや医療現場では、運動前にストレッチングやマッサージで硬くなった筋をほぐすことで、より高いパフォーマンスの発揮や怪我の防止につながると考えられている。筋の硬さ(筋硬度)は、古くから検者が手で触れたときの感覚によって定性的に評価されてきたが、筋硬度を客観的かつ定量的に評価するために、押圧型筋硬度計や超音波エラストグラフィなどの測定器が開発された。押圧型筋硬度計は、小型軽量で簡便に計測することができるメリットはあるが、皮膚表面から押圧をかけていくため、皮下組織全体の硬さを反映しており、筋組織そのものの硬さを測定しているとはいえないことが指摘されている(村木・福田・福元, 2009)。一方、超音波エラストグラフィは、超音波を用いて組織の硬さ分布を画像化できるため、多くの研究に応用されているが、経済性や汎用性の面で課題があるといえる。そこで、本研究では、押圧型筋硬度計と超音波画像装置の長所を融合した荷重超音波装置を用いて筋硬度を評価することとした。

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と定義されている(寺沢・

岩崎, 1981)。このことから、筋硬度も応力と歪みの関係から定量的に評価できると考えられる。本装置は、Bモード超音波装置のリニア型プロープ(6MHz)に圧力計を内蔵しており、1gf(質量1gの物体が標準重力加速度下で受ける重力)単位で押圧をかけていく過程の筋厚の変位量を確認しながら0.1mm単位で筋厚を計測することができる。プロープは、内部及び外部ケースの二重構造になっており、そのケース間に圧力計を装着している(図1)。プロープ振動子は64素子、取得される画像データの画素数は113×320dot、有効測定深度は80mmである。測定部位に、プロープを当て圧力をかけていく間の皮下組織の超音波画像をサンプリング周波数8Hzでパーソナルコンピュータに取り込むことができる。先行研究(藤田・沢井・田中・福永, 2015)では、硬さの異なるファントムゲルを用いた実験により、本装置が物体の硬度を客観的かつ定量的に精度よく評価できること( $r=0.99$ )、筋硬度の値は筋力発揮レベルと正の相関関係があること( $r=0.97$ )を確認している。また、本装置は小型軽量であるため、フィールドワークでの使用が容易であり、多くのデータを収集することが可能である。

本装置を使用して若年者と高齢者を対象に上腕と大腿の筋硬度を測定した先行研究(柴田・田中・沢井, 2020)では、高齢者の方が若年者よりも筋が硬かったことを認めている。しかし、中年層における筋硬度は

1) 目白大学(助教)

2) 日本女子体育大学(教授)

評価されておらず、年齢層や性別によって筋硬度がどの程度差があるかは明らかにされていない。

そこで本研究は、荷重超音波装置を用いて評価した上腕前部の筋硬度の値に年齢層や性別によって違いがあるか否かを検討することを目的とした。

## Ⅱ. 方 法

### 1. 対象者

対象者は、定期的なトレーニング習慣のない健康な18～22歳の若年者（男性51名、若齢女性56名）、30～59歳の中年者（男女各30名）、61～87歳の高齢者（男性49名、女性73名）の計289名であった。なお、若年者と高齢者は先行研究（柴田ほか，2020）の対象者であり、中年者は本研究において新たに追加した対象者である。対象者の基本特性（年齢、身長、体重、Body Mass Index (BMI)）は表1のとおりである。

研究の実施に先立ち、対象者に対して事前に本研究の趣旨と倫理的配慮に関して口頭及び書面にて十分な説明を行い、書面にて研究参加の同意を得た。

なお、本研究は、日本女子体育大学研究倫理委員会の承認（承認番号2017-21）を得て実施した。

### 2. 測定項目

先行研究（藤田ほか，2015）の手法に倣い、上腕二頭筋と上腕筋を合わせた右側上腕前部の筋硬度及び筋厚を測定した。

### 3. 筋硬度と筋厚の測定・評価法

筋硬度及び筋厚の測定位置は、安部・福永（1995）の手法に倣い、上腕長近位（肩峰から）60%部位の位置とし、立位で測定部位を同定した。筋硬度及び筋厚の測定は、荷重超音波装置を使用した（図1）。対象者には仰臥位、肩関節外転90度位、肘関節伸展0度位、前腕回外位で、全身の筋を十分に弛緩するよう指示した。測定部位の皮膚表面に荷重超音波装置のプロープを筋の長軸方向に対して直行するように当て、0～1000gfを超えるまで60bpmのメトロノーム音に合わせて一定のリズムで押圧をかけた。

得られた超音波画像データから、専用解析ソフト

表1. 対象者の基本特性

| 群   | 性 (n)   | 年齢 (yr)  | 身長 (cm)   | 体重 (kg)  | BMI (kg/m <sup>2</sup> ) |
|-----|---------|----------|-----------|----------|--------------------------|
| 若年群 | 男性 (51) | 20.2±0.9 | 169.9±7.2 | 62.4±9.3 | 21.6±2.7                 |
|     | 女性 (56) | 19.8±1.0 | 158.4±5.8 | 54.5±7.7 | 21.7±2.5                 |
| 中年群 | 男性 (30) | 43.8±8.6 | 171.1±5.6 | 67.6±6.5 | 23.1±1.6                 |
|     | 女性 (30) | 44.9±8.6 | 158.6±4.9 | 55.8±7.0 | 22.2±2.7                 |
| 高齢群 | 男性 (49) | 74.4±6.8 | 165.2±4.8 | 63.7±7.2 | 23.4±2.5                 |
|     | 女性 (73) | 75.3±5.8 | 151.6±6.0 | 52.7±7.8 | 22.9±3.0                 |

数値は群内の平均値±標準偏差を示す

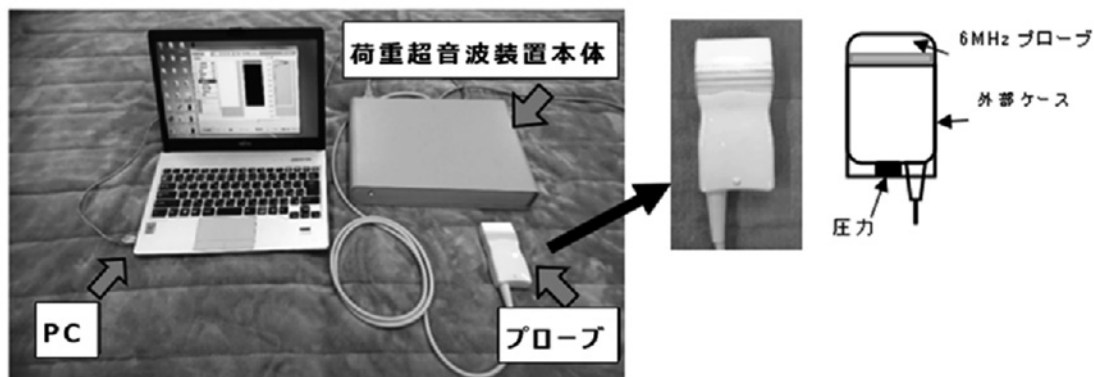


図1. 荷重超音波装置本体、プローブの拡大版と構造図

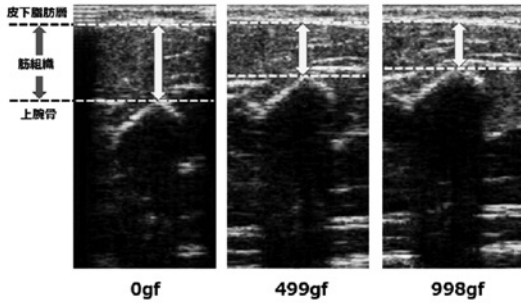


図2. プローブ圧の増加に伴う上腕前部の筋厚の変化の様子

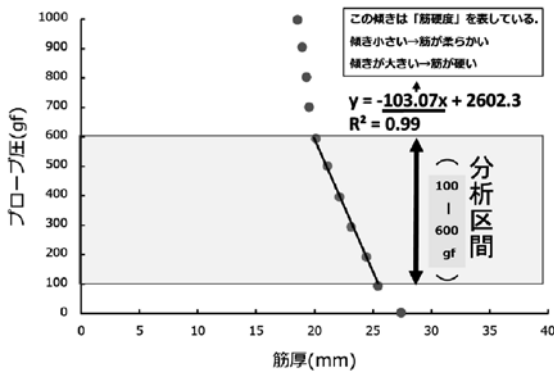


図3. プローブ圧の変化に伴う上腕前部の筋厚の変化 (gf/mm)

(mirucubeY ver.1.0: グローバルヘルルス社製) を使って、プローブ圧の増加に伴う筋厚の変位量を計測し(図2)、先行研究(藤田ほか, 2015)の手法に倣い、プローブ圧と筋厚との間に直線関係が認められる区間(プローブ圧100~600gf)の一次回帰式を求め、その傾き、すなわち“荷重/変位量”(図3)を筋硬度の指標として評価した。この値が高いと筋が硬く、低いと筋が柔らかいことを意味している。

筋厚については、プローブを皮膚表面に当て、圧力

をかけないときの画像から評価した。

#### 4. 統計処理

すべての測定値は、平均値と標準偏差で示した。各測定項目について、年齢(若年群・中年群・高齢群)と性(男性・女性)を要因とする対応のない3×2の二元配置分散分析を用いて検定を行い、年齢及び性の主効果あるいは年齢×性の交互作用が有意であった場合には、下位検定としてBonferroni法を用いて平均値の差の検定を行った。また、各測定項目間の関係性については、Pearsonの相関係数を用いて評価した。すべての統計処理には、統計ソフトSPSS Statistics 23 (IBM社製)を使用し、有意水準は5%とした。

### III. 結果

#### 1. 筋硬度の年齢差及び性差

筋硬度の年齢差及び性差を表2に示す。二元配置分散分析の結果、性の主効果は認められなかったが、年齢の主効果(F=6.26, df=2, 283, P<0.05)、及び年齢×性の交互作用が認められた(F=3.06, df=2, 283, P<0.05)。下位検定の結果、女性の若年群と高齢群の平均値に有意差が認められた。

#### 2. 筋厚の年齢差及び性差

筋厚の年齢差及び性差を表2に示す。二元配置分散分析の結果、年齢と性の要因に交互作用は認められなかったが、年齢の主効果(F=3.56, df=2, 283, P<0.05)及び性の主効果(F=185.82, df=2, 283, P<0.05)が認められた。下位検定の結果、年齢群間では、若年群と高齢群の平均値に有意差がある傾向(p=0.051)が認められた。性差に関しては、若年群及び中年群、高齢群すべての群において有意差が認められ、男性の方が女性より筋が厚かった。

表2. 上腕前部における筋硬度及び筋厚の年齢差及び性差

|                | 若年群          |              | 中年群          |              | 高齢群          |              | 二元配置分散分析 |      |      |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|------|------|
|                | 男性<br>(n=51) | 女性<br>(n=56) | 男性<br>(n=30) | 女性<br>(n=30) | 男性<br>(n=49) | 女性<br>(n=73) | 年齢       | 性    | 交互作用 |
| 筋硬度<br>(gf/mm) | 105.1±16.2   | 99.7±13.5    | 102.3±18.2   | 108.3±19.3   | 108.3±15.2   | 112.3±18.5   | *        | n.s. | *    |
| 筋厚<br>(mm)     | 22.5±3.0     | 17.7±2.5     | 22.7±3.8     | 17.5±2.2     | 21.7±3.0     | 16.6±3.1     | *        | *    | n.s. |

数値は群内の平均値±標準偏差を示す

\*: p<0.05

### 3. 筋硬度と筋厚との相関関係

筋硬度と筋厚との相関関係を年齢別にみると、中年群及び高齢群において筋硬度と筋厚との間に負の相関関係がみられ（中年群  $r = -0.40$ ,  $p < 0.05$ , 高齢群  $r = -0.31$ ,  $p < 0.05$ ）、若年群においてはみられなかった（ $r = -0.14$ ,  $p = 0.17$ ）。一方、性別にみると、男女ともに筋硬度と筋厚との間に負の相関関係が認められた（男女ともに  $r = -0.36$ ,  $p < 0.05$ ）。

## IV. 考 察

### 1. 筋硬度の年齢差について

先行研究（Eby・Cloud・Brandenburg・Giambini・Song・Chen・LeBrasseur・An, 2015）では、男女とも上腕二頭筋の筋硬度は60歳を過ぎると年齢に伴い高くなることが示されている。しかしながら、本研究における筋硬度の年齢群間比較では、女性のみ有意差（高齢群の方が若齢群よりも筋が硬かった）が認められ、男性では年齢による差は認められなかった（表2）。

荷重超音波装置で評価した筋硬度と筋厚との間には負の相関関係（筋が厚いほど柔らかい）が認められることが報告されている（柴田ほか, 2020）。しかし、本研究では女性は年齢層が上がるにつれ筋厚が薄くなっていたが、男性は年齢に伴う筋厚の減少がみられなかった。このことが、女性においてのみ筋硬度の年齢差がみられた要因の1つではないかと考えられる。

筋厚以外に筋硬度の変化に影響を及ぼす要因として考えられることは、加齢に伴う筋線維タイプの萎縮の仕方の違いである。すなわち、加齢に伴う筋萎縮は速筋線維において顕著であり、遅筋線維は加齢の影響を受けにくいことが報告されている（Lexell・Taylor・Sjöström, 1988）。遅筋線維は速筋線維と比較し、筋周膜や筋内膜が厚い構造をしており、コラーゲン濃度が高く、コラーゲン結合も豊富なため、硬い性質であることが示されている（Gosselin・Martinez・Vailas・Sieck, 1994）。また、加齢に伴い筋線維が萎縮する際、結合組織や脂肪組織への置換が起こることが報告されている（Rice・Cunningham・Paterson・Lefcoe, 1990, Csapo・Malis・Sinha・Du・Sinha, 2014）。

これらのことから、年齢が上がるにつれて、速筋線維が萎縮して硬い性質の遅筋線維の割合が増えていくことや、筋組織から他の組織への置換が生じることによって、筋の量が減り、そして筋が硬くなっていくの

ではないかと考えられる。しかし、本研究の中・高齢群に属する男性対象者においては、このような加齢現象が進んでいない者が多かった（特に中年群において）ために、筋硬度の年齢差が認められなかったのかもしれない。測定対象者の選定にあたっては、過去の運動歴や現在の日常生活活動量を詳しく把握するなどの配慮をし、年齢層を代表するサンプルの収集に努めることが、今後の課題といえよう。

### 2. 筋硬度の性差について

本研究では、筋硬度の値に有意な性差は認められなかった（表2）。

筋硬度の年齢差に関しては、筋厚の影響が考えられたが、筋厚に性差が認められていながら、筋硬度に性差が認められなかった理由は、本研究では明らかにできなかった。

先行研究においても、上腕二頭筋（中野・角田・西山・佐藤・堀川・久光, 1995）や前腕筋（小宮・前田・竹宮, 1994）、大腿直筋（川道・山口・宮脇・岡本・植村・高田, 2017）、腓腹筋内側頭（川道ほか, 2017）の筋硬度には性別による有意な差は認められていない。ただし、外側広筋においては筋硬度の性差を認める報告（Staron・Hagerman・Hikida・Murray・Hostler・Crill・Ragg・Toma, 2000）があるため、筋硬度の性差は部位によって異なるのかもしれない。

なお、女性に関しては、女性ホルモンが筋硬度に影響を及ぼしている可能性も考えられる（岡崎・那須・吉村・曾田・津田・高畑・矢倉, 2008, 若宮・山崎・佐藤・伊藤, 2017）ため、月経周期を有する年齢の女性においてはホルモンの影響についても検討していく必要があるだろう。

### 3. 今後の課題

本研究の限界として、測定装置の持つ特性が挙げられる。荷重超音波装置は、プローブを介して皮下脂肪組織、筋組織、骨組織の境界線を可視化し、脂肪層や筋層の厚さを計測することができるものの、筋線維組成や結合組織、筋内脂肪組織といった筋細胞内外の組織の違いを検出することはできないため、筋硬度に影響を及ぼす要因を特定することが難しい。また、本研究においても先行研究（藤田他, 2015）と同様に、すべての対象者について100~600gfの範囲のプローブ圧と筋厚との間には相関係数0.90以上の直線関係が認められていたが、上腕が細く筋厚が極端に薄い者では、



皮膚表面から骨までの距離が近いこと、押圧をかけて筋を圧縮していった際、骨による反発力を受けて筋がそれ以上圧縮されなくなり、筋硬度が高いという結果をもたらしてしまっていた可能性がある。

今後は、荷重超音波装置を用いた筋硬度評価値の信頼区間についても検討していく必要がある。

また、本研究は横断的研究であり、測定部位は上腕前部のみであった。今後は様々な部位で年齢や性別による筋硬度の違いを検討していくことが課題である。

## V. 結 論

本研究は、荷重超音波装置を用いて、若年者及び中年者、高齢者の男女289名を対象に上腕前部を測定し、筋硬度の年齢差と性差について検討した。その結果、筋硬度の性差はみられなかったが、女性では年齢差が認められ、高齢女性の方が若年女性よりも筋が硬かった。今後は、様々な部位で年齢や性別によって筋硬度に違いがあるか否か検証し、その要因を検討していくことが必要である。

## 謝 辞

本研究の遂行するにあたり、多大な協力をいただきました本学卒業生の齋藤夏朱美さん、須山華帆さんに厚く御礼申し上げます。そして、289名の研究協力者の皆様に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 安部孝, 福永哲夫 (1995) 日本人の体脂肪と筋肉分布, 95-97. 杏林書院, 東京.
- Csapo R, Malis V, Sinha U, Du J, Sinha S (2014) Age-associated differences in triceps surae muscle composition and strength - an MRI-based cross-sectional comparison of contractile, adipose and connective tissue. *BMC Musculoskelet Disord.* 15 : 209.
- Eby SF, Cloud BA, Brandenburg JE, Giambini H, Song P, Chen S, LeBrasseur NK, An KN (2015) Shear wave elastography of passive skeletal muscle stiffness : influences of sex and age throughout adulthood. *Clin Biomech* 30(1) : 22-27.
- 藤田英二, 沢井史穂, 田中寿志, 福永哲夫 (2015) 圧力計を搭載した超音波装置によるヒト筋硬度の評価, *理学療法学* 42(3) : 255-261.
- Gosselin LE, DA Martinez, AC Vailas, GC Sieck (1994) Passive length-force properties of senescent diaphragm : Relationship with collagen characteristics. *J Appl Physiol.* 76(6) : 2680-2685.
- 川道幸司, 山口鉄生, 宮脇鈴子, 岡本和久, 植村直子, 高田信二郎 (2017) 健常者の下肢骨格筋における筋硬度の特性 : 超音波エラストグラフィを応用した筋硬度の解析 - *Jpn J Rehabil Med* 54(10) : 800-807.
- 小宮秀明, 前田順一, 竹宮隆 (1994) 安静時および最大収縮時における男女の筋硬度比較 *日本体育学会第45回大会号* : 308.
- Lexell J, Taylor CC, Sjöström M (1988) What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci.* 84 (2-3) : 275-94.
- 村木里志, 福田修, 福元清剛 (2009) 筋の厚さ(量)と硬さ(質)から筋力を推定する方法の開発, *第24回健康医科学研究助成論文集* 24 : 126-133.
- 中野雅之, 角田直也, 西山一行, 佐藤三千雄, 堀川浩之, 久光正 (1995) 長距離走者の筋硬度からみた性差, *国士館大学体育研究所報* 14 : 53-56.
- 岡崎倫江, 那須千鶴, 吉村和代, 曾田武史, 津田拓郎, 高畑哲郎, 矢倉千昭 (2008) 健常若年女性における月経周期中の大腿筋群筋硬度の変動, *理学療法科学* 23(4) : 509-513.
- Rice CL, Cunningham DA, Paterson DH, Lefcoe MS (1990) A comparison of anthropometry with computed tomography in limbs of young and aged men. *J Gerontol.* 45(5) : M175-179.
- Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Murray TF, Hostler DP, Crill MT, Ragg KE, Toma K (2000) Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women, *J Histochem Cytochem* 48(5) : 623-629.
- 柴田景子, 田中寿志, 沢井史穂 (2020) 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と性差の検討, *東京体育学会* 11 : 31-38.
- 寺沢正男, 岩崎昌三 (1981) 硬さのおはなし - pp.29-52, *日本規格協会*, 東京.
- 若宮啓司, 山崎翼, 佐藤万代, 伊藤和憲 (2017) 女性トップアスリートの月経周期に伴う体調変化についての調査 - バレーボール選手を対象とした調査 - *明治国際医療大学誌* 18 : 1-7.

(令和4年9月12日受付)  
(令和4年12月22日受理)

# Evaluating age- and gender-specific differences in muscle hardness of upper arm using an ultrasonic device

*SHIBATA Keiko and SAWAI Shiho*

*Bulletin of Japan Women's College of Physical Education, 2023, 53, 39-44*

Muscle hardness is an index used to evaluate qualitative characteristics of muscles in sports and medical practice. However, basic data on muscle hardness available at present is insufficient. This study evaluated the difference in muscle hardness of anterior upper arm with respect to variation in age and sex using an ultrasonic device. The subjects were 289 healthy males and females : young adults aged 18-22, middle-aged adults aged 30-59, and elderly adults aged 61-87. Muscle hardness was evaluated by the slope of the linear regression equation in the interval where a linear relationship was observed between the probe pressure of the ultrasonic device and the muscle thickness of the anterior upper arm. Results showed that the older female group had more muscle hardness than the younger female group. No difference in muscle hardness was observed between males and females belonging to the same age interval, indicating that gender did not impact muscle hardness. We created an age- and gender-specific evaluation table based on the results of this study. Further studies are required to verify whether muscle hardness differs depending on age and gender in various parts of the body as well as to examine the factors influencing it.

**Keywords** : muscle hardness, age difference, sex difference