

研究論文

# 健常若年者における骨格筋指数と大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度が膝伸展筋力に及ぼす影響

池本 大輝<sup>1\*</sup> 唄 大輔<sup>1,2</sup> 城谷 将輝<sup>1</sup> 徳田 光紀<sup>1,2</sup>

1 社会医療法人平成記念会平成記念病院

2 畿央大学大学院健康科学研究科

\*責任著者連絡先：社会医療法人平成記念会平成記念病院（〒634-0813 奈良県橿原市四条町827）

E-mail: taiki.ikemoto.1202@gmail.com

## 要 旨

受付日：2021年9月20日  
受理日：2021年12月17日  
早期公開日：2022年2月17日

©一般社団法人大阪府理学療法士会  
生涯学習センター

【目的】臨床で簡便に使用できる体組成計を用いた Bioelectrical impedance analysis により推定された全身および下肢の skeletal muscle index（以下、SMI）と、超音波画像診断装置で測定した大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度が健常若年者の膝伸展筋力へ及ぼす影響を検討すること。

【方法】健常若年者60名120脚を対象に全身および下肢の SMI、大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度、膝伸展筋力を測定した。

【結果】膝伸展筋力と全身および下肢の SMI、大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度はすべてで有意な関連を認めた。重回帰分析の結果、膝伸展筋力には下肢の SMI、内側広筋（Vastus medialis：以下、VM）の筋厚、性別が影響することが示唆された。

【結論】健常若年者における膝伸展筋力は、下肢の SMI、VM の筋厚、性別により推定できることが示唆された。

## キーワード

大腿四頭筋、膝伸展筋力、骨格筋指数、筋厚、筋輝度

## 1 はじめに

近年、臨床で骨格筋を評価できるツールとして体組成計や超音波画像診断装置を用いた研究の報告が増えてきている。体組成計と超音波画像診断装置は、Computed Tomography（以下、CT）や Magnetic Resonance Imaging（以下、MRI）と比較して安価で可搬性に優れ、非侵襲的で安全簡便に測定できる方法である<sup>1,2)</sup>。

体組成計は、生体電気インピーダンス法（Bioelectrical impedance analysis：以下、BIA）により脂肪や除脂肪組織のインピーダンス値から骨格筋量の推定が可能である<sup>3)</sup>。推定された骨格筋量は、MRIで測定した筋体積と強い相関を示す<sup>4)</sup>ことから BIA

は骨格筋量を詳細に評価できる方法である。BIA によって推定された全身や体幹、左右の上下肢ごとの骨格筋量から骨格筋指数（Skeletal muscle index：以下、SMI）を求めることができ<sup>5)</sup>、SMI は筋力などの運動機能と相関が強いことが報告されている<sup>6)</sup>。

一方、超音波画像診断装置では、量的な指標となる筋厚や質的な指標となる超音波エコー輝度（以下、筋輝度）が測定可能である。筋厚は、CT や MRI で測定された筋体積と相関する<sup>7,8)</sup>ことから筋萎縮や筋肥大の指標として多くの研究で用いられており、筋力とも相関することが報告されている<sup>9~11)</sup>。しかし、筋厚は骨格筋内の結合組織および脂肪組織といった非収縮組織も含まれ実質的な筋収縮組織を過大評価してしまうため、筋厚だけでなく筋の非収縮

組織といった質的要素も評価する重要性が示唆されている<sup>12)</sup>。筋輝度は、骨格筋内の非収縮組織との強い相関とその妥当性を認める<sup>13~15)</sup>ことから筋の質的要素を反映する指標として多くの研究で用いられており、筋力とも相関することが報告されている<sup>10, 11, 16)</sup>。また、加齢<sup>10, 11, 17)</sup>や疾患<sup>18~21)</sup>により筋厚だけでなく筋輝度にも変化が生じることが明らかとなっている。さらに大腿四頭筋の筋輝度の上昇は筋力だけでなく歩行自立度の低下<sup>22, 23)</sup>といった日常生活動作<sup>24)</sup>とも相関するため筋輝度を評価する重要性は極めて高いといえる。

加齢に伴う筋量や筋力の低下は上肢より下肢で著しく<sup>25)</sup>、特に大腿四頭筋は筋萎縮、筋力低下の程度が大きい<sup>26~28)</sup>ことから筋厚や筋輝度を用いた研究において対象とされることが最も多い。大腿四頭筋は大腿直筋 (Rectus femoris: 以下, RF), 内側広筋 (Vastus medialis: 以下, VM), 外側広筋 (Vastus lateralis: 以下, VL), その深層に位置する中間広筋 (Vastus intermedius: 以下, VI) の4筋から構成される<sup>29)</sup>。しかし、大腿四頭筋各筋はそれぞれ筋体積の割合<sup>30, 31)</sup>や筋線維組成<sup>32)</sup>など解剖学的構造が異なる。さらに大腿四頭筋各筋で筋収縮速度の違い<sup>33)</sup>や膝伸展筋力に与える貢献度が異なる<sup>34)</sup>など筋機能の違いも報告されている。そのため解剖学的構造や筋機能の異なる大腿四頭筋を評価する際には大腿四頭筋を単一の筋としてとらえるのではなく、大腿四頭筋各筋をそれぞれ個別に評価する必要があると考えられる。しかし、大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度をそれぞれ個別に評価した報告は数少ない。さらにSMIと大腿四頭筋の筋厚および筋輝度を同時に測定し、膝伸展筋力との関係性を調査した報告は渉猟した限り見当たらないことからSMIと筋厚および筋輝度のうち膝伸展筋力に与える影響が最も強い因子は明らかでない。体組成計や超音波画像診断装置を用いて簡便に膝伸展筋力を推定することができれば、認知機能低下により運動の指示に理解が得られない場合や、疾患の影響で筋力測定が困難な場合において筋力低下の程度や要因を把握することができる。そこで本研究の目的は、体組成計を用いたBIAにより推定された全身および下肢のSMIと、超音波画像診断装置で測定した大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度が健常若年者の膝伸展筋力へ及ぼす影響を検討することとした。

## 2 対象および方法

対象は、当院勤務のリハビリテーションスタッフ60名(男性30名, 女性30名, 全例20歳台)の左右120脚とした。すべての対象者にヘルシンキ宣言に基づいて本研究の十分な説明を口頭, 書面にて行い, 文書にて同意を得た。また, 本研究は平成記念病院倫理委員会の承認を得た(承認番号19-2)。なお健常若年者ではあるが, 過去の骨折などにより膝伸展筋力に影響を与える可能性があると考えられるものは除外した。すべての評価測定は, すべての対象者で午後17時30分から19時30分までの2時間以内に行った。

### 1) 体組成計による測定

医療用体組成計 (seca 社製, mBCA515) を用いた。これは、四肢の遠位より電流を供給する8点接触型電極法であり、立位姿勢で測定する複数の周波数のBIA機器である。インピーダンスは、1, 1.5, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1,000 kHzの19種類の周波数で測定される。測定は先行研究<sup>35, 36)</sup>と同様に、アルコール綿で足底を清拭して、体組成計の指示に従って立位姿勢とした。対象者は電極の上に足を乗せ、踵は後方の、前足部は前方の電極の中心に足を配置させた。両側の手すりには6本の電極があり、対象者の身長に依存し、体幹と上肢の角度が約30°外転位となる位置の2本の電極を選択し、中指と薬指の間で電極を分離するように手を配置させた。推定された全身と下肢の骨格筋量にそれぞれ身長<sup>2</sup>で除したBaumgartnerらのSMI方法<sup>5)</sup>を採用し、全身と下肢の骨格筋量を正規化した全身と下肢のSMIを算出した。データの質を保証するため、機器は既知の較正基準を使用して毎日調整された。

### 2) 超音波画像診断装置による測定

超音波画像診断装置 (GEヘルスケア・ジャパン社製, LOGIQ e V2) およびリニア型プローブ (GEヘルスケア・ジャパン社製, 12L-RSプローブ) を使用し、Bモードの短軸画像を描出した。深度はすべての対象者で大腿骨が描出可能であった6.0 cmとし、周波数は8 MHz, ゲインは45 db, フォーカスポイントは初期設定から変更なしの設定で統一することで筋輝度測定における標準化を行った。測定肢位は背臥位で股関節内外旋中間位, 膝関節20°屈曲位

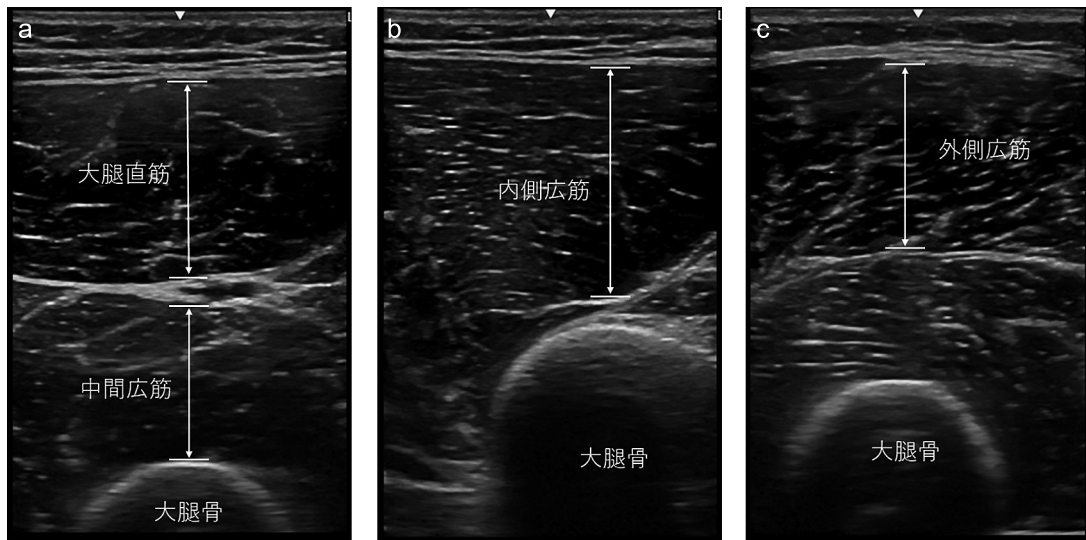


図1 大腿四頭筋各筋の超音波画像

a. 大腿直筋と中間広筋の筋厚, b. 内側広筋の筋厚, c. 外側広筋の筋厚

とし、測定位置は先行研究<sup>37)</sup>と同様に、RF、VIは上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結んだ中点、VMは上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結んだ線を45°内側へ傾け、膝蓋骨上縁から近位5 cmの位置、VLは上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結んだ線上の遠位1/3から外側へ3–6 cmの位置とし、十分に測定部位を露出した状態で測定した。プローブの圧迫により軟部組織の形状が変化しないように十分な量のジェルを塗布し、プローブを軽く皮膚に当てた。短軸画像上で大腿骨上縁が最も高輝度に描出されるようにプローブの接触角度を調節した。測定は超音波画像診断装置の使用経験3年以上の理学療法士2名が行い、それぞれの測定が互いにみえないように配慮した。測定回数は各検者ごとに左右1回ずつ測定した。測定された静止画像を保存し、保存後に計測を行った。大腿四頭筋各筋の超音波画像を図1に示す。筋厚の計測は、RF、VM、VLは浅層筋膜から深層筋膜までの筋膜を除いた距離、VIは深層筋膜から大腿骨までの筋膜を除いた距離<sup>16, 38)</sup>とし、超音波画像診断装置に内蔵されているデジタルメジャーを使用して測定した。筋輝度の計測は、画像解析ソフト(National Institutes of Health, Image J 1.49)を使用し<sup>39, 40)</sup>、256階調(0–255)の8 bit gray scaleで数値化した<sup>41)</sup>。このgray scaleでは、数値が高値であるほど白色であり、筋の質的变化が大きいことを示す<sup>42)</sup>。測定に使用した範囲は、筋厚と同様に骨膜と筋膜を除いた部分を使用した。

### 3) 膝伸筋力の測定

両下肢を対象にハンドヘルドダイナモメーター(アニマ社製、 $\mu$ Tas F-1)を使用し、先行研究<sup>43)</sup>を参考に、対象者を椅坐位で股関節と膝関節を90°屈曲位とし、測定側の足底を床から浮かし、ハンドヘルドダイナモメーターのセンサーパッドを下腿遠位部に設置し測定した。なお、測定値の再現性を考慮して、ハンドヘルドダイナモメーターのセンサーパッドはベルトを用いて固定した。体幹は垂直位を保つように指示し、両上肢は体幹前方で組ませた。また測定時に体幹の過度な後傾や殿部がベッドより浮かないように留意した。最大等尺性収縮による膝伸筋力(kgf)を2回ずつ計測し、その最大値を代表値として採用した。先行研究<sup>44)</sup>と同様に、代表値からレバーアーム(膝関節外側裂隙からセンサーパッドの中心までの距離)を乗じて膝伸筋トルク(Nm)を算出した(以下、膝伸筋力)。

### 4) 統計解析

すべてのデータはShapiro-Wilk検定により正規性の確認を行った後、パラメトリックデータについては平均値および標準偏差、ノンパラメトリックデータについては中央値および四分位範囲として記録した。筋厚と筋輝度の解析には、各検者が1回ずつ測定した画像から得られた測定値の平均値を算出し、データとして使用した。

膝伸筋力と全身および下肢のSMI、大腿四頭筋各筋それぞれの筋厚および筋輝度との関連には



表1 対象者の基本属性および各測定データ

年齢, 歳	23.5 (23.0–25.0) ‡
性別, 名 (%)	
男性	30 (50)
女性	30 (50)
身長, m	1.64 ± 0.1†
体重, kg	56.2 ± 9.7†
BMI, kg/m <sup>2</sup>	21.7 ± 2.0†
全身 SMI, kg/m <sup>2</sup>	7.85 (6.42–9.07) ‡
下肢 SMI, kg/m <sup>2</sup>	1.77 (1.60–1.99) ‡
筋厚, cm	
RF	1.91 (1.73–2.19) ‡
VI	1.87 (1.54–2.11) ‡
VM	1.84 (1.54–2.06) ‡
VL	1.97 (1.75–2.22) ‡
筋輝度, gray-scale (0–255)	
RF	31.76 (27.79–39.62) ‡
VI	38.01 (32.57–46.97) ‡
VM	31.65 (25.61–29.38) ‡
VL	34.69 (29.70–42.76) ‡
膝伸展筋力, Nm	143.87 (114.87–194.60) ‡

†: 平均値 ± 標準偏差; ‡: 中央値 (25%–75%四分位範囲)  
 BMI: Body Mass Index, SMI: Skeletal muscle index, RF: Rectus femoris, VI: Vastus intermedius, VM: Vastus medialis, VL: Vastus lateralis

Spearman の順位相関係数を用いて検討した。次に膝伸展筋力に影響を及ぼす因子を検討するために、膝伸展筋力を従属変数としたステップワイズ法による重回帰分析を実施した。重回帰分析は、大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度、性別を独立変数としたモデル1と、モデル1に全身および下肢のSMIを独立変数として加えたモデル2について実施した。多重共線性は、Variance Inflation Factorを用いて判定した。統計学的有意水準は5%とした。すべての統計解析にはSPSS 18.0 J for Windows (SPSS Japan Inc.)を使用して実施した。

### 3 結 果

対象者の基本属性および各測定データを表1に示す。

膝伸展筋力と各評価項目との相関分析の結果を表2に示す。膝伸展筋力と全身 SMI ( $r = 0.82, p < 0.01$ ), 下肢 SMI ( $r = 0.80, p < 0.01$ ), RF 筋厚 ( $r = 0.61, p <$

表2 膝伸展筋力とその他の評価項目との関連

	相関係数(Spearman の順位相関係数)	p 値
全身 SMI	0.82	<0.01**
下肢 SMI	0.80	<0.01**
筋厚		
RF	0.61	<0.01**
VI	0.52	<0.01**
VM	0.62	<0.01**
VL	0.64	<0.01**
筋輝度		
RF	-0.22	<0.01**
VI	-0.35	<0.01**
VM	-0.49	<0.01**
VL	-0.36	<0.01**

SMI: Skeletal muscle index, RF: Rectus femoris, VI: Vastus intermedius, VM: Vastus medialis, VL: Vastus lateralis  
 \*\*:  $p < 0.01$

0.01), VI 筋厚 ( $r = 0.52, p < 0.01$ ), VM 筋厚 ( $r = 0.62, p < 0.01$ ), VL 筋厚 ( $r = 0.64, p < 0.01$ ) との間に有意な正の相関を認めた。膝伸展筋力と RF 筋輝度 ( $r = -0.22, p < 0.01$ ), VI 筋輝度 ( $r = -0.35, p < 0.01$ ), VM 筋輝度 ( $r = -0.49, p < 0.01$ ), VL 筋輝度 ( $r = -0.36, p < 0.01$ ) との間に有意な負の相関を認めた。

膝伸展筋力を従属変数としたステップワイズ法による重回帰分析の結果を表3に示す。モデル1ではVM 筋厚 ( $\beta = 0.22, p < 0.01$ ), VI 筋厚 ( $\beta = 0.16, p < 0.05$ ), 性別 ( $\beta = -0.61, p < 0.01$ ) が抽出され (調整済み  $R^2 : 0.686$ ), モデル2では下肢 SMI ( $\beta = 0.31, p < 0.01$ ), VM 筋厚 ( $\beta = 0.18, p < 0.05$ ), 性別 ( $\beta = -0.45, p < 0.01$ ) が抽出された (調整済み  $R^2 : 0.700$ )。変数間の多重共線性は認められなかった。

### 4 考 察

本研究の相関分析の結果、健常若年者の膝伸展筋力は全身および下肢の SMI, 大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度すべてと関連することが明らかとなった。また重回帰分析の結果、健常若年者の膝伸展筋力は大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度のうち VM および VI の筋厚、性別を用いることで推定できるが (モデル1), 大腿四頭筋各筋の筋厚および筋輝度に加えて下肢および全身の SMI を考慮すると (モデル

表3 膝伸展筋力を従属変数としたステップワイズ法による重回帰分析の結果

モデル1						
	非標準化β	標準誤差	95%信頼区間	標準化β	VIF	p値
VI筋厚	18.87	7.80	3.41–34.33	0.16	1.59	<0.05*
性別	-61.84	6.16	-74.04–-49.65	-0.61	1.34	<0.01**
VM筋厚	26.04	8.07	10.05–42.03	0.22	1.72	<0.01**
モデル2						
	非標準化β	標準誤差	95%信頼区間	標準化β	VIF	p値
VM筋厚	21.28	8.22	4.99–37.56	0.18	1.87	<0.05*
性別	-45.80	8.46	-62.56–-29.05	-0.45	2.74	<0.01**
下肢SMI	62.10	19.57	23.34–100.85	0.31	3.80	<0.01**

β：回帰係数，VIF: Variance Inflation Factor, VI: Vastus intermedius, VM: Vastus medialis, SMI: Skeletal muscle index

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$

2), VMの筋厚, 下肢のSMI, 性別を用いることでより高精度に膝伸展筋力を推定できることが示唆された。SMIを追加したモデル2においてもVMの筋厚が抽出されたことから, VMの筋厚は膝伸展筋力に対する貢献を下肢のSMIでは代替されないことが考えられる。そのため膝伸展筋力を高精度に推定するためには下肢のSMIだけでなく, 超音波画像診断装置によるVMの筋厚を測定する必要があると考えられる。この結果は, 認知機能低下により運動の指示に対する理解が得られない場合や疾患の影響で筋力測定が困難な場合において, 筋力を把握することができる可能性があり, 体組成計や超音波画像診断装置による骨格筋評価は臨床的観点から有用と考えられる。

体組成計を用いたBIAによって推定されたSMIは, サルコペニアに関するアジアワーキンググループ (Asian Working Group for Sarcopenia: 以下, AWGS) が2014年に報告したサルコペニア診断のアルゴリズムに取り入れられ, 現在も推奨されている<sup>45)</sup>。また超音波画像診断装置を用いた筋厚も Special Interest Group on sarcopenia of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine (以下, ISarcoPRM) が2020年に提唱したサルコペニアの診断アルゴリズムに取り入れられている<sup>46)</sup>。サルコペニアの診断アルゴリズムに取り入れられたことからSMIや筋厚といった骨格筋量の測定は, 高齢者を対象としたリハビリテーション分野において主要な評価指標であるといえる。本研究では高齢者ではなく健常若年者を対象とし, 下肢のSMIやVMの筋厚と

いった量的な指標が膝伸展筋力に影響を及ぼす結果となった。そのため筋量の評価は若年者のリハビリテーションで, 筋力改善における量的な要素の効果判定に使用できると考えられる。

ISarcoPRMが提唱した診断アルゴリズムにおける超音波画像診断装置を用いた筋厚は, RFとVIの筋厚の合計値である大腿前面の筋厚が推奨されており<sup>46)</sup>, 多くの研究で大腿前面の筋厚が用いられている。しかし大腿四頭筋は各筋で解剖学的特徴<sup>30~32)</sup>だけでなく, 筋機能<sup>33, 34)</sup>も異なるため, 大腿前面であるRFとVIだけでなくVMやVLも考慮する必要があると考えられる。CTを用いた先行研究<sup>47)</sup>では, 大腿四頭筋各筋の量的な指標である筋断面積および質的指標であるCT値のうち, 男女ともに膝伸展筋力と関連があったのはVMの筋断面積のみであり, 本研究においてもVMの筋厚が抽出されたことと一致しており, 膝伸展筋力を把握するためにはVMの筋厚を用いる必要があると考えられる。VMは大腿四頭筋の中で膝伸展運動時における膝蓋骨の安定に寄与しており<sup>48)</sup>, 高強度の膝伸展運動では関節を安定させるためにVMの活動が高まることが報告されている<sup>49)</sup>。このようなVMの特異的な機能によりVMの筋厚が抽出された可能性が考えられる。

サルコペニアの診断アルゴリズムには筋量評価が推奨されているが, 筋の質的評価の重要性<sup>12)</sup>も報告されていることから本研究のように量的評価と質的評価の両方を検討する必要があるといえる。しかし本研究の重回帰分析では質的評価である筋輝度が抽出されなかったことから健常若年者では質的な指標

よりも量的な指標が有用であることが考えられる。骨格筋量や筋力は加齢により低下し<sup>50~53)</sup>、筋輝度は加齢により上昇する<sup>10, 11, 17)</sup>ことや、骨格筋の非収縮組織が増加した高齢者は、筋厚測定で実際の筋収縮組織を過大評価してしまう<sup>12)</sup>ことが報告されている。このことから高齢者を対象とした場合では、筋厚ではなく筋輝度が抽出される可能性がある。同様に疾患<sup>18~21)</sup>や、廃用性の筋萎縮<sup>54)</sup>により筋輝度が上昇する<sup>55)</sup>ことが報告されているため、入院患者を対象とした場合においても筋厚だけでなく筋輝度も抽出される可能性が考えられる。そのため中年、高齢者といった幅広い年齢層かつ入院患者も含めた検討とこれらをカテゴリー別に分類したさらなる検討を行うことが課題である。

## 5 結 論

健常若年者を対象に、体組成計を用いて全身および下肢のSMI、超音波画像診断装置を用いて大腿四頭筋筋の筋厚および筋輝度を測定し、膝伸展筋力へ及ぼす影響を調査した。健常若年者における膝伸展筋力は、下肢のSMI、VMの筋厚、性別によって推定できることが示唆された。

利益相反：本研究に関連した開示すべき利益相反はない。

## 文 献

- 1) 池添 冬芽, 浅川 康古, 他: 加齢による大腿四頭筋の形態的特徴および筋力の変化について—高齢女性と若年女性との比較—. 理学療法学. 2007; 34: 232-238.
- 2) 吉村 芳弘, 田中 智香, 他: 骨格筋疾患(筋障害)としてのサルコペニアの定義と診断—EWGSOP2とAWGS2019を中心に—. Jpn J Rehabil Med. 2020; 57: 439-448.
- 3) 山内 健: 「体組成分析の基礎と応用」BIAの原理と体組成評価. 外科と代謝. 2019; 53: 123-130.
- 4) Miyatani M, Kanehisa H, et al.: Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. J Appl Physiol (1985). 2001; 91: 386-394.
- 5) Baumgartner RN, Koehler MK, et al.: Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. Am J Epidemiol. 1998; 147: 755-763.
- 6) Charlier R, Mertens E, et al.: Muscle mass and muscle function over the adult life span: A cross-sectional study in Flemish adults. Arch Gerontol Geriatr. 2015; 61: 161-167.
- 7) Miyatani M, Kanehisa H, et al.: The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. Eur J Appl Physiol. 2004; 91: 264-272.
- 8) Dupont AC, Sauerbrei EE, et al.: Real-time sonography to estimate muscle thickness: Comparison with MRI and CT. J Clin Ultrasound. 2001; 29: 230-236.
- 9) Freilech RJ, Kirsner RLG, et al.: Isometric strength and thickness relationships in human quadriceps muscle. Neuromuscul Disord. 1995; 5: 415-422.
- 10) Fukumoto Y, Ikezoe T, et al.: Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. Eur J Appl Physiol. 2012; 112: 1519-1525.
- 11) Watanabe Y, Yamada Y, et al.: Echo intensity obtained from ultrasonography images reflecting muscle strength in elderly men. Clin Interv Aging. 2013; 8: 993-998.
- 12) 福元 喜啓, 池添 冬芽, 他: 超音波画像診断装置を用いた骨格筋の量的・質的評価. 理学療法学. 2015; 42: 65-71.
- 13) Pillen S, Tak RO, et al.: Skeletal muscle ultrasound: Correlation between fibrous tissue and echo intensity. Ultrasound Med Biol. 2009; 35: 443-446.
- 14) Reimers K, Reimers CD, et al.: Skeletal muscle sonography: A correlative study of echogenicity and morphology. J Ultrasound Med. 1993; 12: 73-77.
- 15) Akima H, Hioki M, et al.: Intramuscular adipose tissue determined by T1-weighted MRI at 3T primarily reflects extramyocellular lipids. Magn Reson Imaging. 2016; 34: 397-403.
- 16) Wilhelm EN, Rech A, et al.: Relationship between quadriceps femoris echo intensity, muscle power, and functional capacity of older men. Age (Dordr). 2014; 36: 1113-1122.
- 17) Fukumoto Y, Ikezoe T, et al.: Age-related ultrasound changes in muscle quantity and quality in women. Ultrasound Med Biol. 2015; 41: 3013-3017.
- 18) Fukumoto Y, Ikezoe T, et al.: Muscle mass and composition of the hip, thigh and abdominal muscles in women with and without hip osteoarthritis. Ultrasound Med Biol. 2012; 38: 1540-1545.
- 19) Liikavainio T, Lyytinen T, et al.: Physical function and properties of quadriceps femoris muscle in men with knee osteoarthritis. Arch Phys Med Rehabil. 2008; 89: 2185-2194.
- 20) Reimers CD, Schlotter B, et al.: Calf enlargement in neuromuscular diseases: A quantitative ultrasound study in

- 350 patients and review of the literature. *J Neurol Sci.* 1996; 143: 46–56.
- 21) Arts IMP, Rooij FGV, et al.: Quantitative muscle ultrasonography in amyotrophic lateral sclerosis. *Ultrasound Med Biol.* 2008; 34: 354–361.
- 22) Akazawa N, Harada K, et al.: Relationships between muscle mass, intramuscular adipose and fibrous tissues of the quadriceps, and gait independence in chronic stroke survivors: A cross-sectional study. *Physiotherapy.* 2018; 104: 438–445.
- 23) Akazawa N, Okawa N, et al.: Quantitative features of intramuscular adipose tissue of the quadriceps and their association with gait independence in older inpatients: A cross-sectional study. *Nutrition.* 2020; 71: 110600.
- 24) Akazawa N, Kishi M, et al.: Increased intramuscular adipose tissue of the quadriceps is more strongly related to declines in ADL than is loss of muscle mass in older inpatients. *Clin Nutr.* 2021; 40: 1381–1387.
- 25) 山田 陽介, 木村 みさか, 他: 15~97歳日本人男女1,006名における体肢筋量と筋量分布. *体力科学.* 2007; 56: 461–472.
- 26) Lexell J, Taylor CC, et al.: 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.* 1988; 84: 275–294.
- 27) Young A, Stokes M, et al.: Size and strength of the quadriceps muscle of old and young women. *Eur J Clin Invest.* 1984; 14: 282–287.
- 28) Young A, Stokes M, et al.: The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clin Physiol.* 1985; 5: 145–154.
- 29) 金子 丑之助: 日本人体解剖学上巻 (第19版). 南山堂, 東京, 2005, pp. 339–341.
- 30) 秋間 広, 久野 譜也, 他: MRIによるヒトの膝伸筋・膝屈筋における形態的特性および生理学的断面積当りの筋張力. *体力科学.* 1995; 44: 267–278.
- 31) O'Brien TD, Reeves ND, et al.: Muscle-tendon structure and dimensions in adults and children. *J Anat.* 2010; 216: 631–642.
- 32) Muller W: 術後リハビリテーション. *The Knee 膝—形態・機能と靭帯再建術—*. 新名 正由 (訳). シュプリンガー・フェアラーク東京, 東京, 1986, pp. 233–235.
- 33) 堀川 博代, 新田 収, 他: 大腿四頭筋の筋電図反応時間—大腿直筋, 内側広筋, 外側広筋の比較—. *理学療法学会特別号.* 1997; 24: 88.
- 34) Zhang LQ, Wang G, et al.: In vivo load sharing among the quadriceps components. *J Orthop Res.* 2003; 21: 565–571.
- 35) Thurlow S, Covill GT, et al.: Effects of procedure, upright equilibrium time, sex and BMI on the precision of body fluid measurements using bioelectrical impedance analysis. *Eur J Clin Nutr.* 2018; 72: 148–153.
- 36) Westphal AB, Schautz B, et al.: What makes a BIA equation unique? Validity of eight-electrode multifrequency BIA to estimate body composition in a healthy adult population. *Eur J Clin Nutr.* 2013; 67: 14–21.
- 37) 松本 芳則: 超音波画像による大腿四頭筋の形態評価—厚さ測定信頼性と臨床的有用性について—. *中部整災誌.* 1999; 42: 501–506.
- 38) Mori T, Fujishima I, et al.: Development, reliability, and validity of a diagnostic algorithm for sarcopenic dysphagia. *JCSM Clin Rep.* 2017; 2: e00017.
- 39) Akazawa N, Harada K, et al.: Muscle mass and intramuscular fat of the quadriceps are related to muscle strength in non-ambulatory chronic stroke survivors: A cross-sectional study. *PLoS One.* 2018; 13: e0201789.
- 40) Cadore EL, Izquierdo M, et al.: Echo intensity is associated with skeletal muscle power and cardiovascular performance in elderly men. *Exp Gerontol.* 2012; 47: 473–478.
- 41) Monjo H, Fukumoto Y, et al.: Muscle thickness and echo intensity of the abdominal and lower extremity muscles in stroke survivors. *J Clin Neurol.* 2018; 14: 549–554.
- 42) Pillen S, Keimpema MV, et al.: Skeletal muscle ultrasonography: Visual versus quantitative evaluation. *Ultrasound Med Biol.* 2006; 32: 1315–1321.
- 43) 加藤 宗規, 山崎 裕司, 他: ハンドヘルドダイナモメーターによる等尺性膝伸筋力の測定—固定用ベルトの使用が検者間再現性に与える影響—. *総合リハ.* 2001; 29: 1047–1050.
- 44) Ikezoe T, Asakawa Y, et al.: Associations of muscle stiffness and thickness with muscle strength and muscle power in elderly women. *Geriatr Gerontol Int.* 2012; 12: 86–92.
- 45) Chen LK, Woo J, et al.: Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment. *J Am Med Dir Assoc.* 2020; 21: 300–307.
- 46) Kara M, Kaymak B, et al.: Diagnosing sarcopenia: Functional perspectives and a new algorithm from the ISarcoPRM. *J Rehabil Med.* 2021; 53: jrm00209.
- 47) Mizuno T, Matsui Y, et al.: Differences in the mass and quality of the quadriceps with age and sex and their relationships with knee extension strength. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2021; 12: 900–912. doi: 10.1002/



- jcs.12715.
- 48) Grob K, Manester M, et al.: The interaction between the vastus medialis and vastus intermedius and its influence on the extensor apparatus of the knee joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018; 26: 727–738.
- 49) 新田 収, 柳澤 健, 他: 大腿直筋および内側広筋の等尺性収縮における表面筋電図上の分析. *東京保健科学会誌.* 2000; 2: 22–26.
- 50) Lindle RS, Metter EJ, et al.: Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20–93 yr. *J Appl Physiol* (1985). 1997; 83: 1581–1587.
- 51) Yonei Y, Miwa Y, et al.: Japanese anthropometric reference data—Special emphasis on bioelectrical impedance analysis of muscle mass. *Anti-Aging Medicine.* 2008; 5: 63–72.
- 52) Mitchell WK, Williams J, et al.: Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; A quantitative review. *Front Physiol.* 2012; 3: 1–18.
- 53) Gallagher D, Visser M, et al.: Appendicular skeletal muscle mass: Effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol* (1985) 1997; 83: 229–239.
- 54) Kilroe SP, Fulford J, et al.: Temporal muscle-specific disuse atrophy during one week of leg immobilization. *Med Sci Sports Exerc.* 2019; 52: 944–954.
- 55) Manini TM, Clark BC, et al.: Reduced physical activity increases intermuscular adipose tissue in healthy young adults. *Am J Clin Nutr.* 2007; 85: 377–384.

Research Paper

Received 2021/9/20 Accepted 2021/12/17 Published online 2022/2/17

## Effects of skeletal muscle index and quadriceps muscle (thickness and echo intensity) on knee extensor strength in healthy young adults

Taiki Ikemoto<sup>1</sup>, Daisuke Bai<sup>1,2</sup>, Masaki Shirotani<sup>1</sup>, Mitsunori Tokuda<sup>1,2</sup>

1 Heisei Memorial Hospital

2 Graduate School of Health Sciences Kio University

### Abstract

**Objective:** This study was performed to investigate the effects of the skeletal muscle index (SMI) of the whole body and lower limbs (as estimated by bioelectrical impedance analysis using a body composition meter) and the quadriceps muscle thickness and echo intensity (as measured by an ultrasound imaging system that can be easily used in clinical practice) on the knee extensor strength in healthy young adults.

**Methods:** The SMI of the whole body and lower limbs, the muscle thickness and echo intensity of each quadriceps muscle, and the knee extensor strength were measured in 120 legs of 60 healthy young adults.

**Results:** A significant relationship was found between the knee extensor strength and SMI of the whole body and lower limbs and between the knee extensor strength and the muscle thickness and echo intensity of each quadriceps muscle. Multiple regression analysis suggested that the SMI of the lower limbs, muscle thickness of the vastus medialis, and sex affected the knee extensor strength.

**Conclusion:** Multiple regression analysis suggested that the SMI of the lower limbs, muscle thickness of the vastus medialis, and sex can be used to estimate the knee extensor strength in healthy young adults.

### Key words

Quadriceps, knee extensor strength, SMI: skeletal muscle index, muscle thickness, echo intensity