

要介護等認定高齢者における下肢骨格筋の量および 質と運動機能の関係

渡邊 裕也^{1,2}

Relationship between Lower-limb Muscle Quantity, Quality, and Physical Functions in Older Adults with Eligibility Certification for Long-term Care or Support

Yuya Watanabe^{1,2}

The aim of this study was to evaluate lower-limb muscle quantity and quality using ultrasonography in older adults certified to be eligible for long-term care or support, and then to investigate their relationship with physical functions. The participants were 53 (25 men and 28 women) older users of visiting-type day-care facility for those requiring long-term care or support.

Front-thigh muscle thickness (MT) and subcutaneous fat thickness (FT) were measured by B-mode ultrasound imaging. In addition, echo intensity (EI) was determined from stored ultrasound images. Nine basic physical functions were measured by tests including 10-m walking time (normal and maximum speed), vertical jump height, functional reach, knee extension torque, and timed up-and-go (TUG) and the fitness age score (FAS) was calculated from the values obtained.

In men, MT showed significant positive correlations with vertical jump height ($r=0.558$), knee extension torque ($r=0.691$), and FAS ($r=0.443$). Also, EI showed significant negative correlations with vertical jump height ($r=-0.506$) and knee extension torque ($r=-0.634$). In women, MT showed significant positive correlations with functional reach ($r=0.534$) and knee extension torque ($r=0.419$). Also, EI showed significant positive correlations with normal walk time ($r=0.496$) and TUG ($r=0.431$). When partial correlation analysis was performed with sex, age, body mass index, and FT as control variables, MT and EI were significantly correlated with vertical jump height (MT $r=0.583$, EI $r=-0.317$), knee extension torque (MT $r=0.502$, EI $r=-0.511$), and FAS (MT $r=0.458$, EI $r=-0.349$).

This study revealed that lower-limb muscle quantity and quality are related to various physical functions even in older adults with certification of eligibility for long-term care or support.

[Key words] Echo intensity, Muscle composition, Sarcopenia, Frailty, Long-term care insurance

本研究は要支援・要介護認定(要介護等認定)を受けた高齢者の下肢骨格筋を超音波法にて量的、質的に評価し、各種運動機能との関連を検討することを目的とした。対象者は通所型デイサービス施設を利用している要介護等認定高齢者53名(男性25名、女性28名)とした。

超音波測定装置を用いて大腿前部B-モード画像を取得し、筋組織厚および皮下脂肪厚を評価した。また、画像から筋輝度を算出した。運動機能として、10m歩行時間(通常および最大速度)、垂直跳び高、ファンクショナルリーチ、膝伸展トルク、Timed up-and-go(TUG)などの基本的な身体機能9項目を測定し、得られた評価値からFitness Age Score(FAS)を算出した。

男性では、筋組織厚が垂直跳び高($r=0.558$)、膝伸展トルク($r=0.691$)、FAS($r=0.443$)と有意な正の相関関係を認めた。また、筋輝度は垂直跳び高($r=-0.506$)および膝伸展トルク($r=-0.634$)と有意な負の相関関係を示した。女性では、筋組織厚がファンクショナルリーチ($r=0.534$)および膝伸展トルク($r=0.419$)と、筋輝度が通常歩行時間($r=0.496$)およびTUG($r=0.431$)と有意な正の相関関係を示した。性、年齢、BMI、皮下脂肪厚を制御変数とした偏相関分析では、両指標が垂直跳び高(筋組織厚 $r=0.583$ 、筋輝度 $r=-0.317$)、膝伸展トルク(筋組織厚 $r=0.502$ 、筋輝度 $r=-0.511$)、FAS(筋組織厚 $r=0.458$ 、筋輝度 $r=-0.349$)と有意に関連していた。

要介護等認定を受けた高齢者においても、下肢骨格筋の量的、質的要素が各種運動機能に関連することが示された。

[キーワード] 筋輝度、筋内組成、サルコペニア、フレイル、介護保険

1 同志社大学スポーツ健康科学部 (Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University)

2 京都学園大学健康医療学部 (Faculty of Health and Medical Sciences, Kyoto Gakuen University)

I. 緒言

日本は今日、超高齢社会を迎えている。社会の高齢化に伴い、介護保険制度における要支援または要介護の認定（要介護等認定）を受けた人の数も急増している。なお、要介護等認定を受ける高齢者の数は、加齢とともに増加する。例えば、65～74歳で要介護の認定を受けた人は2.9%であるのに対して、75歳以上では23.5%となっている（内閣府，2018）。

平成28年国民生活基礎調査によると、高齢者に介護が必要になった主な原因の上位5位は第1位が認知症（18.7%）、第2位が脳血管疾患（脳卒中）（15.1%）、第3位が高齢による衰弱（13.8%）、第4位が骨折・転倒（12.5%）、第5位が関節疾患（10.2%）となっている（厚生労働省，2017）。ここで第3位から5位に注目したい。これらは運動器に関連したものであり、合計すると第1位の認知症や第2位の脳血管疾患を大きく超える割合となる。したがって、運動器機能の低下が高齢者の生活の質を著しく低下させていることに議論の余地はない。

各種運動機能は加齢とともに低下していくことは広く知られている。Kimura et al. (2012) は高齢者に対する7年間の縦断研究により、加齢に伴う機能低下を反映する体力要素として10m歩行時間（通常速度）、ファンクショナルリーチ、開眼片脚立ち時間、垂直跳び高、握力の5つの測定項目を抽出するとともに、この5項目からFitness Age Score (FAS) を算出する式を報告した。また、FAS低下の度合いは加齢とともに増大すること、男性の方が女性に比べて低下が大きいこと、80歳以降で男女差は拡大することが示された（Kimura et al., 2012）。さらに、地域在住高齢者を対象とした先行研究では、FASが要介護等認定の予測因子となることが示されている（Yoshida et al., 2017）。日常生活にサポートが必要となる要介護等認定者は、健康な高齢者と比べ各種運動機能の低下が進んでいることは容易に想像できるが、FASを要介護等認定者に適用した研究は我々の知る限り存在しない。

加齢とともに生じる運動機能の低下には、身体活動の根源的な要素である骨格筋量の減少が関連しているとされる。15歳から83歳までの男性43名の屍体を解剖し、骨格筋量の加齢変化を直接的に観察した研究では、外側広筋の筋横断面積は50歳くらいまではある程度維持されているものの、その後急激に減少することが示されている（Lexell et al., 1988）。筋の萎縮、すなわち量的な減少は骨格筋に生じる主要な加齢であるが、その一方で筋線維数の減少、Type II線維の選択的萎縮、骨格筋内の脂肪や結合組織の増加、相対的な細胞外液量の増加など、質的な変化も生じ

る（Lexell et al., 1988; Rice et al. 1989; Overend et al., 1992; Lexell, 1995; Yamada et al., 2010）。このような筋の質的变化は高齢者の筋機能を議論する上で極めて重要であるが、コンピュータ断層画像装置（Computed tomography: CT）や磁気共鳴画像装置（Magnetic resonance imaging: MRI）などを用いた一般的な画像法による骨格筋量評価法では、筋の質の状態を考慮することができない。

骨格筋の質的要素、すなわち骨格筋内組成を評価する手法として、MRIの信号強度（Kent-Braun et al., 2000）やCT画像における骨格筋平均CT値（Goodpaster et al., 2001）を用いた手法が知られている。しかし、これらの手法は設備の面で測定そのものが容易ではないことや放射線被曝などの負担も生じるため、一般化することがほぼ不可能である。一方近年、骨格筋超音波画像から画像処理ソフトを用いて算出する平均ピクセル輝度（筋輝度）が筋内組成を非侵襲的にかつ簡便に推定できる方法として注目されている。なお、これまでに複数の研究グループがCTやMRIを用いた従来の筋内組成評価法と筋輝度の比較を行っており（Young et al., 2015; Akima et al., 2016; Watanabe et al., 2018）、筋輝度は骨格筋の質を反映した指標として活用されている。先行研究では、筋輝度は筋量とは独立した筋力の説明変数であること（Fukumoto et al., 2012; Watanabe et al., 2013）、および筋輝度が有酸素性能力（Cadore et al., 2012）や垂直跳びのピークパワー、椅子立ち上がり能力（Rech et al., 2014; Wilhelm et al., 2014）とも関連していることが示されている。しかしながら、これらの研究は比較的健康な高齢者を対象としており、要介護等認定を受けた高齢者に焦点を当てた研究はほとんどない。

そこで本研究では、要介護等認定高齢者の大腿前部の筋組織厚および筋輝度を評価し、各種運動機能との関連性を検討することを目的とした。なお、運動機能の項目はFASを構成する5種目に加えて、大腿前部骨格筋の直接的な能力である膝伸展トルク、簡便な測定種目である30秒椅子立ち上がり回数およびTimed Up & Goテストとした。

II. 方法

1. 対象者

本研究では、通所型デイサービス施設を利用している高齢者53名（男性25名、女性28名）を対象者とした。対象者は要介護認定者が15名、要支援認定者が30名、事業対象者が8名であった。認定者の介護度の内訳は要介護1が8名、要介護2が5名、要介護3が2名、要支援1が16名、要支援2が14名であった。

本研究は、京都学園大学の倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号：27-2）。

2. 体格測定

体格の指標として身長および体重を測定した。また、体重を身長²で除して Body mass index (BMI) を算出した。

3. 超音波画像診断

超音波測定装置（Sonosite180 Plus, Sonosite 社, 日本）を用いて大腿前部の超音波 B モード画像を取得し、組織厚ならびに筋輝度を評価した。測定手法は先行研究（Watanabe et al., 2013, 2018; 渡邊ほか, 2014）に準拠した。測定部位は右脚の大腿長 50%（上前腸骨棘と大腿骨外側上顆の中間点）位置とし、立位にて B モード画像を撮影した。取得した超音波画像上で筋組織厚（大腿直筋および中間広筋）ならびに皮下脂肪厚を評価した。筋組織厚は骨格筋の量的指標、皮下脂肪厚は脂肪量の指標とした。なお、ゲインは全ての測定で一定に保たれ、対象者間での変更はなかった。撮影は 2 回繰り返して（2mm 以上の差が出た場合は 3 回撮影）、その中央値を測定値として採用した。筋組織厚測定¹の級内相関係数（ICC）および変動係数（CV）はそれぞれ 0.991, 0.97% で、皮下脂肪厚測定²の ICC および CV はそれぞれ 0.987, 3.57% であった。

記録した単一超音波画像から画像処理ソフト（Adobe Photoshop Elements, Adobe Systems 社, 米国）を用いて大腿直筋の筋輝度を算出した（Watanabe et al., 2013, 2018; 渡邊ほか, 2014）。筋輝度は選択範囲の平均ピクセル輝度であり、骨格筋の質的指標とされている（Akima et al., 2016; Watanabe et al., 2018）。筋輝度算出のための超音波画像上の選択範囲は大腿直筋を可能な限り含めた範囲とし、大腿直筋以外の部分、すなわち骨や筋膜は除外した。選択範囲内の筋輝度は 0（黒）～ 255（白）の数値で表示した。なお、筋輝度評価の ICC および CV はそれぞれ 0.869, 5.37% であった。

4. 運動機能の評価

1) 握力

握力はデジタル握力計（TKK. 5401, 竹井機器工業社, 日本）を用いて測定した（Kimura et al., 2012; Yamada et al., 2013; Watanabe et al., 2017）。対象者は両足を肩幅程度に開いて立ち、握力計を握った。測定の際、握力計が大腿部に触れないように指示した。測定は短い休息を挟んで左右交互に 2 回ずつ実施し、左右の最大値を解析に用いた。

2) 垂直跳び高

垂直跳び高はジャンプメーター（TKK. 5406, 竹井機器工業社, 日本）を用いて測定した（Kimura et al., 2012; Yamada et al., 2010; Watanabe et al., 2017）。対象者は測定器のベルトを腰に巻き、床に固定したゴム板の中央に立って待機した。軽く跳躍し動作確認を行った後、対象者は自身のタイミングで真上に可能な限り高く跳躍した。測定は短い休息を挟んで 2 回実施し、高値を測定値として採用した。

3) ファンクショナルリーチ

ファンクショナルリーチはデジタル手のばし装置（TKK. 5802, 竹井機器工業社, 日本）を用いて測定した（Kimura et al., 2012）。対象者は肩幅に足を開いた立位状態で右手に装置の取手を持ち、その腕を肩関節 90° 屈曲位置で保持した（開始姿勢）。動作確認の後、対象者は自身のタイミングで開始姿勢から右腕をできる限り前方へ伸ばし、バランスを崩さず到達できた距離を計測した。測定時には、左手は体側に添えた姿勢を保つこと、両足を床から離さないこと、平行移動で元の姿勢に戻れることを条件とした。測定は短い休息を挟んで 2 回実施し、高値を測定値として採用した。

4) 開眼片足立ち時間

目を開けた状態で両手を腰にあて、どちらか片方の足を床から離れた姿勢をどれだけ保持できるかをストップウォッチにて計測した（Kimura et al., 2012）。軸足が開始位置から移動したり、浮かせた足が床や軸足に触れたり、腰に当てた手が外れた場合には、計測を中断することを伝えた。測定時間は 120 秒を上限とした。測定は短い休息を挟んで 2 回実施し、高値を測定値として採用した。

5) 10m 歩行時間

10m の直線歩行路を利用して通常速度と最大速度における歩行時間を測定した。対象者はスタートラインに立ち、スタートの掛け声とともに歩行を開始し、測定者はスタートの掛け声から対象者の体幹が 10m ラインを通過するまでの時間を測定した（Kimura et al., 2012）。通常速度の測定では「いつも通りに歩いてください」と、最大速度の測定では「できる限り速く歩いてください」と教示した。各速度の試行を短い休息を挟んで 2 回ずつ実施し、低値を測定値として採用した。

6) 等尺性膝伸展筋力

等尺性膝伸展筋力は下肢筋力の指標とした。片脚用筋力測定台（TKK.5715, 竹井機器工業社, 日本）を用いて、座位で膝関節 90° 屈曲位置での右脚の等尺性膝

伸展筋力を測定した (Kimura et al., 2012; Yamada et al., 2013; Watanabe et al., 2013; 渡邊ほか, 2014). 計測は短い休息を挟んで2回ずつ実施し, 高値を測定値として採用した. 本研究では, 取得した膝伸展筋力 (kg) に下腿長を乗じて等尺性膝伸展トルク (Nm) を算出した.

7) 30秒椅子立ち上がり回数

椅子に座った状態から, 「立つ」「座る」の動作を30秒間で何回反復できるかをカウントした (Kimura et al., 2012). 対象者は両腕を胸の前で交差させ, 椅子に浅く腰掛けた. 動作確認の後, スタートの掛け声とともに動作を開始した. その際, 臀部が椅子に触れない場合や膝関節や股関節が十分に伸展していない場合は回数をカウントしないことを伝えた. 測定回数は1回とした.

8) Timed Up & Go (TUG) テスト

対象者が椅子から立ち上がり, 3m前方のミニコーンまで歩き, ミニコーンを折り返して再び椅子に座るまでの所要時間をストップウォッチで測定した (Podsiadlo and Richardson 1991). 測定の際, 可能な限り速く歩くよう指示した. また, 折り返す方向は自由であること, 走ってはいけないことを伝えた. 測定回数は1回とした.

9) Fitness Age Score

本研究では, 高齢者の身体機能を総合的に評価する指標として下の計算式 (Kimura et al., 2012) から FAS

を求めた. FAS は Aging Biomarker に基づく生物学的年齢を体力要素で評価するもので, 体力変数の加齢変化が男女ともによく反映される 10m 歩行時間, ファンクショナルリーチ, 開眼片脚立ち時間, 垂直跳び高, 握力の5項目で構成される (Kimura et al., 2012).

$$\text{男性: FAS} = -0.203X_1 + 0.034X_2 + 0.0064X_3 + 0.044X_4 + 0.046X_5 - 3.05$$

$$\text{女性: FAS} = -0.263X_1 + 0.033X_2 + 0.0074X_3 + 0.048X_4 + 0.079X_5 - 2.52$$

X_1 =10m 歩行時間 (通常速度) (秒), X_2 = ファンクショナルリーチ (cm), X_3 = 開眼片脚立ち時間 (秒), X_4 = 垂直跳び高 (cm), X_5 = 握力 (kg)

5. 統計処理

統計解析は SPSS (version 25.0, IBM 社, 米国) を用いて行った. 各測定から得られたデータの代表値と散布度は平均 ± 標準偏差で示した. 各項目間の相関関係はピアソンの積率相関を用いて算出した. また, 筋組織厚および筋輝度が運動機能に及ぼす影響を確認するため, 性, 年齢, BMI, 皮下脂肪厚を制御変数とする偏相関分析を行った. すべての検定で $P < 0.05$ を有意とした.

III. 結果

表1に対象者の取得データの一覧を示した. ま

表1 対象者の身体的特性, 超音波法による評価項目および運動機能

Variables	Men (n = 25)	Women (n = 28)
Age (year)	77.0 ± 5.5	79.1 ± 6.1
Height (cm)	161.8 ± 6.5	148.9 ± 5.8
Weight (kg)	64.6 ± 7.1	49.5 ± 8.5
BMI (kg/m ²)	24.7 ± 2.8	22.4 ± 3.8
Muscle thickness (mm)	40.1 ± 6.2	36.5 ± 6.5
Subcutaneous fat thickness (mm)	9.1 ± 3.7	12.3 ± 5.4
Echo intensity	22.6 ± 4.4	28.1 ± 6.1
Grip strength (kg)	26.1 ± 6.4	17.0 ± 4.3
Vertical jump height (cm)	13.5 ± 9.2	11.5 ± 6.6
Functional reach (cm)	30.6 ± 8.1	27.8 ± 8.5
Open-eyes one-leg stand tests (s)	8.4 ± 10.7	11.5 ± 16.2
Normal walking time (s)	9.4 ± 1.8	9.5 ± 2.9
Maximum walking time (s)	6.7 ± 1.5	7.2 ± 2.5
Knee extension torque (Nm)	93.0 ± 32.1	65.9 ± 19.2
Chair standing for 30 s (numbers)	20.1 ± 8.2	20.6 ± 7.4
Timed up-and-go test (s)	9.0 ± 2.8	8.7 ± 3.8
Fitness age score	-2.07 ± 1.04	-2.12 ± 1.42

た、図1に大腿前部の超音波画像典型例を示した。

表2に身体的特性と超音波法による評価項目（筋組織厚、皮下脂肪厚、筋輝度）における二変数間の相関係数を男女別に示した。男性では、大腿前部の筋組織厚と年齢の間に有意な負の相関関係が認められた ($r=-0.415$, $P=0.039$)。その他の項目では有意な相関関係は観察されなかった。女性では、BMIが大腿前部の筋組織厚、皮下脂肪厚ならびに筋輝度との間に有意な正の相関関係を有していた ($r=0.589$, $r=0.808$, $r=0.600$; $P<0.001$)。また、筋輝度と皮下脂肪厚の間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.721$, $P<0.001$)。

表3に大腿前部の筋組織厚および筋輝度と各種運動機能における二変数間の相関係数を男女別に示した。男性では、大腿前部の筋組織厚と垂直跳び高、膝伸展トルク、FASの間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.558$, $P=0.004$; $r=0.691$, $P<0.001$; $r=0.443$, $P=0.027$)。一方、筋輝度は垂直跳び高 ($r=-0.506$, $P=0.0099$) および膝伸展トルク ($r=-0.634$, $P<0.001$) と有意な負の相関関係を有していた。なお、筋輝度とFASには有意ではないものの弱い負の相関関係が観察された ($r=-0.360$, $P=0.067$)。女性では、大腿前部の筋組織厚はファンクショナルリーチ ($r=0.534$, $P=0.003$) および膝伸展トルク ($r=0.419$, $P=0.026$) との間に、筋輝度は通常歩行時間 ($r=0.496$, $P=0.007$) およびTUG ($r=0.431$, $P=0.022$) との間に有意な正の相関関係が観察された。また、筋輝度とFASの間には有意ではないが弱い負の相関関係が認められた ($r=-0.342$, $P=0.075$)。

表4に偏相関分析により得られた結果を示した。性、年齢、BMI、皮下脂肪厚を制御変数としたところ、筋組織厚は垂直跳び高、ファンクショナルリーチ、開眼片足立ち時間、膝伸展トルク、FASとの間に、筋輝度は垂直跳び高、歩行時間（通常および最大）、膝伸展トルク、TUG、FASとの間に有意な相関関係が認められた。

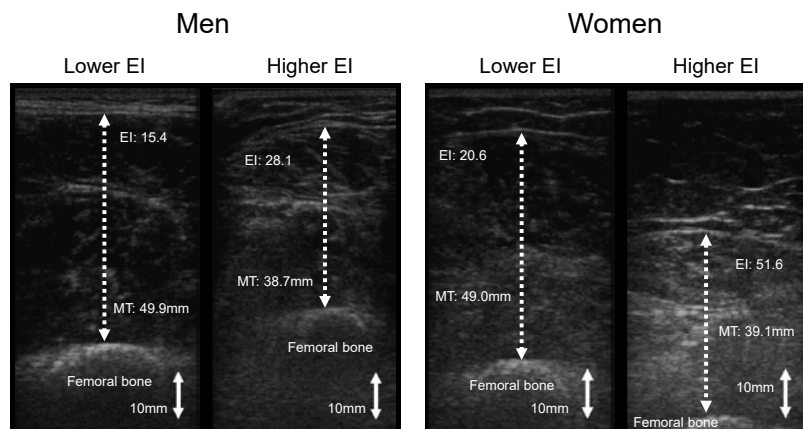


図1 大腿前部の超音波画像の典型例

EI = Echo intensity, MT = Muscle thickness.

表2 年齢、体格、筋組織厚、皮下脂肪厚、筋輝度の相関係数一覧

Men	Age	BMI	MT	FT	EI
Age	-	-0.242	-0.415*	-0.020	0.103
BMI		-	0.347	0.293	0.113
MT			-	-0.134	-0.391
FT				-	0.348
EI					-
Women	Age	BMI	MT	FT	EI
Age	-	0.209	-0.248	0.045	0.285
BMI		-	0.589***	0.808***	0.600***
MT			-	0.365	0.098
FT				-	0.721***
EI					-

BMI = Body mass index, MT = Muscle thickness, FT = Subcutaneous fat thickness, EI = Echo intensity.
* $P<0.05$, *** $P<0.001$.

表3 筋組織厚および筋輝度と各種運動機能の相関係数一覧

Variables	Men		Women	
	MT	EI	MT	EI
Grip strength	0.378	-0.154	0.080	-0.011
Vertical jump height	0.558**	-0.506**	0.333	-0.216
Functional reach	0.373	-0.171	0.534**	-0.136
Open-eyes one-leg stand test	0.289	-0.165	0.318	0.041
Normal walking time	-0.013	0.191	-0.032	0.496**
Maximum walking time	-0.151	0.145	-0.126	0.353
Knee extension torque	0.691***	-0.634***	0.419*	-0.187
Chair standing for 30 s	0.211	-0.037	0.173	-0.318
Timed up-and-go test	-0.171	0.203	-0.111	0.431*
Fitness age score	0.443*	-0.360	0.242	-0.342

MT = Muscle thickness, EI = Echo intensity.

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

表4 偏相関分析の結果一覧

Variables	MT		EI	
	<i>r</i>	<i>P</i> -value	<i>r</i>	<i>P</i> -value
Grip strength	0.195	0.179	-0.077	0.600
Vertical jump height	0.583	< 0.000	-0.317	0.026
Functional reach	0.455	0.001	-0.230	0.112
Open-eyes one-leg stand test	0.321	0.024	0.080	0.586
Normal walking time	-0.240	0.097	0.362	0.011
Maximum walking time	-0.220	0.129	0.290	0.043
Knee extension torque	0.502	< 0.000	-0.511	< 0.000
Chair standing for 30 s	0.203	0.163	-0.120	0.412
Timed up-and-go test	-0.232	0.109	0.321	0.025
Fitness age score	0.458	0.001	-0.349	0.014

MT = Muscle thickness, EI = Echo intensity.

Control variables: Sex, age, body mass index, and subcutaneous fat thickness.

IV. 考察

本研究は、超音波法を用いて要介護等認定を受けた高齢者の大腿前部の骨格筋を量的、質的に評価し、各種運動機能との関連を検討することを目的とした。本研究の結果、相関分析において大腿前部の筋組織厚および筋輝度と有意な関連が認められたのは膝伸展トルクや垂直跳び高など一部の項目にとどまったが、性、年齢、BMI、皮下脂肪厚を制御変数とした偏相関分析において大腿前部の筋組織厚および筋輝度はFASを含む多くの運動機能と有意な関係を示した。これらの結果は、要介護等認定者（事業対象者も含む）においても下肢の骨格筋量および筋内組成が運動機能に影響を及ぼしていることを意味している。

Yoshida et al. (2017) は地域在住の自立高齢者 939

名を対象とした2年間の追跡研究を行い、FASが要介護等認定の予測因子となることを報告した。この研究では、-0.29をFASのカットオフ値として算出し、対象者を2群に分けて新規認定の発生を比較した結果、低FAS群は高FAS群に比べ2年以内の認定リスクがおおよそ5.4倍になることを示した (Yoshida et al. 2017)。本研究における要介護等認定者のFASの平均値は男性で-2.07、女性で-2.12であり、先行研究のカットオフ値 (Yoshida et al. 2017) を大きく下回っている。したがって、本研究の対象者は運動機能は全般に低下していたと判断できる。

骨格筋量は加齢とともに減少する (Lexell et al., 1988) が、その一方で質的变化、つまり筋内組成の変化も生じることが知られている (Lexell et al., 1988; Rice et al., 1989; Overend et al., 1992; Lexell, 1995;

Yamada et al., 2010). 骨格筋超音波画像から算出する筋輝度は筋内組成の簡便な評価指標である (Watanabe et al., 2018). 高齢者を対象とした先行研究では, 下肢骨格筋の筋輝度が筋力や筋パワーと関連することが報告されている (Fukumoto et al., 2012; Rech et al., 2014; Watanabe et al., 2013; Wilhelm et al., 2014). これらの研究は, 骨格筋内に占める非収縮要素 (脂肪や結合組織など) の増大が運動機能に影響を及ぼすことを示している. 本研究においても先行研究を支持する結果が得られ, 要介護等認定高齢者においても骨格筋の量と質の双方の要素が運動機能に影響することが示唆された. なお, 骨格筋の量質ともに有意な関連が認められた項目は総合的な体力を示す FAS, 膝伸展トルク, 垂直跳び高であった. 他方, バランス能力を反映するファンクショナルリーチや開眼片足立ち時間は筋組織厚との間に, 歩行能力を示す 10m 歩行時間および TUG は筋輝度との間にそれぞれ有意な関連が認められた. 各種体力要素によって骨格筋の量や質が及ぼす影響の度合いは異なると考えられる.

本研究と同様の超音波画像診断装置を用いて自立した高齢者の大腿前部骨格筋を量的, 質的に評価した研究では, 男性の平均筋組織厚は $44.4 \pm 6.9\text{mm}$, 筋輝度は 21.2 ± 4.9 (Watanabe et al., 2013) で, 女性の平均筋組織厚は $39.8 \pm 6.1\text{mm}$, 筋輝度は 24.6 ± 6.3 (渡邊ほか, 2014) であった. 本研究で得られたデータをこれらの数値と比較すると, 要介護等認定高齢者では筋組織厚は低値, 筋輝度は高値である. 要介護等認定高齢者の低い運動機能には, 下肢骨格筋の量的, 質的な劣化が影響していると考えられる. ただし, 男性の筋輝度は大きな差とは言い難い. 福元ら (2015) は加齢や疾患による筋輝度の上昇は骨格筋量の減少よりも早い段階で生じていることを報告している. 要介護等認定者では下肢筋の筋内組成の悪化はある程度のレベルまで進んでおり, 運動機能に対する筋量の依存度が高まっているのかもしれない. 運動機能に対する筋の量的, 質的要素の貢献度が加齢や介護度の進行とともにどう変化するのは今後検討が必要な課題である.

先行研究では, 骨格筋内組成を反映している筋輝度が運動介入によりポジティブに変化することが示されている (Sipilä S and Suominen 1995; Fukumoto et al., 2014; Yoshiko et al., 2017). つまり, 筋内組成は筋量同様に加齢や運動習慣に対する可塑性を持ち, 量的要素とは独立して運動機能に影響を及ぼしていると推察される. 既に要介護等の認定を受け生活にサポートが必要となった高齢者であっても適切な働きかけにより骨格筋の量的, 質的狀態を維持, 場合によっては改善することが可能であると考えられる. 超高齢社会を迎え, 今後, 後期高齢者の増加が予測される今日, 高齢

者の健康や生活に関する問題は深刻である. 自立者のための予防的な対策に加えて, 自立度が低下した要介護等認定者の運動機能低下を抑制する対策も拡充する必要がある.

V. 結論

本研究により, 要介護等認定を受けた高齢者においても, 下肢骨格筋の量的, 質的要素が各種運動機能に関連することが示された. また, 各種体力要素によって骨格筋の量的要素および質的要素が及ぼす影響の度合いは異なる可能性が示唆された.

要介護等認定者の生活の質を維持するには, 骨格筋の状態を改善, 少なくともさらなる悪化を抑制する対策が必要である.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K16531 (若手研究 B) の助成を受けて実施されたものである.

本研究の測定に参加いただいた皆様, 多大な協力をいただいた株式会社 PAS-T 代表の萩野次郎氏, 測定をサポートいただいた同志社大学スポーツ健康科学部の行場聖悟氏, 堤惇平氏, 福原崇史氏, 原大希氏, 鎌田恭明氏に深く感謝いたします.

参考文献

- Akima H, Hioki M, Yoshiko A, Koike T, Sakakibara H, Takahashi H, Oshida Y. Intramuscular adipose tissue determined by T1-weighted MRI at 3T primarily reflects extramyocellular lipids. *Magn Reson Imaging*. 2016; 34(4): 397-403.
- Cadore EL, Izquierdo M, Conceição M, Radaelli R, Pinto RS, Baroni BM, Vaz MA, Alberton CL, Pinto SS, Cunha G, Bottaro M, Kruel LF. Echo intensity is associated with skeletal muscle power and cardiovascular performance in elderly men. *Exp Gerontol*. 2012; 47(6): 473-478.
- Fukumoto Y, Ikezoe T, Yamada Y, Tsukagoshi R, Nakamura M, Mori N, Kimura M, Ichihashi N. Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. *Eur J Appl Physiol*. 2012; 112(4): 1519-1525.
- 福元喜啓, 池添冬芽, 山田陽介, 市橋則明. 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(1): 65-7.
- Fukumoto Y, Tateuchi H, Ikezoe T, Tsukagoshi R, Akiyama H, So K, Kuroda Y, Ichihashi N. Effects of high-velocity resistance training on muscle function, muscle properties, and physical performance in individuals with hip osteoarthritis:

- a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2014 Jan; 28(1): 48-58.
- Goodpaster BH, Carlson CL, Visser M, Kelley DE, Scherzinger A, Harris TB, Stamm E, Newman AB. Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study. *J Appl Physiol.* 2001; 90 (6):2157-2165.
- Kent-Braun JA, Ng AV, Young K. Skeletal muscle contractile and noncontractile components in young and older women and men. *J Appl Physiol.* 2000; 88(2): 662-668.
- Kimura M, Mizuta C, Yamada Y, Okayama Y, Nakamura E. Constructing an index of physical fitness age for Japanese elderly based on 7-year longitudinal data: sex differences in estimated physical fitness age. *Age (Dordr).* 2012; 34: 203-214.
- 厚生労働省. 平成 28 年国民生活基礎調査の概況. 2017. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa16/dl/16.pdf> (2018 年 11 月 30 日閲覧)
- Lexell J, Taylor CC, Sjöström M. 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(2-3): 275-294.
- Lexell J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995; 50: 11-16.
- 内閣府. 平成 30 年度高齢社会白書. 2018. https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/zenbun/30pdf_index.html (2018 年 11 月 30 日閲覧)
- Overend TJ, Cunningham DA, Paterson DH, Lefcoe MS. High composition in young and elderly men determined by computed tomography. *Clin Physiol.* 1992; 12(6): 629-640.
- Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991; 39(2): 142-148.
- Rech A, Radaelli R, Goltz FR, da Rosa LH, Schneider CD, Pinto RS. Echo intensity is negatively associated with functional capacity in older women. *Age (Dordr).* 2014; 36(5): 9708.
- Rice CL, Cunningham DA, Paterson DH, Lefcoe MS. Arm and leg composition determined by computed tomography in young and elderly men. *Clin Physiol.* 1989; 9(3): 207-220.
- Sipilä S, Suominen H. Effects of strength and endurance training on thigh and leg muscle mass and composition in elderly women. *J Appl Physiol.* 1995 Jan; 78(1): 334-340.
- Watanabe Y, Yamada Y, Fukumoto Y, Ishihara T, Yokoyama K, Yoshida T, Miyake M, Yamagata E, Kimura M. Echo intensity obtained from ultrasonography images reflecting muscle strength in elderly men. *Clin Interv Aging.* 2013; 8: 993-998.
- 渡邊裕也, 山田陽介, 吉中康子, 木村みさか. 高齢女性における超音波画像から算出した筋輝度と運動機能との関連性. *京都学園大学経営学部論集.* 2014; 24(1): 95-105.
- Watanabe Y, Yamada Y, Yoshida T, Matsui T, Seo K, Azuma Y, Hiramoto M, Miura Y, Fukushima H, Shimazu A, Eto T, Saotome H, Kida N, Morihara T. Relationship between physical fitness at the end of pre-season and the in-season game performance in Japanese female professional baseball players. *J Strength Cond Res.* 2017 Oct 30. doi: 10.1519/JSC.0000000000002024.
- Watanabe Y, Ikenaga M, Yoshimura E, Yamada Y, Kimura M. Association between echo intensity and attenuation of skeletal muscle in young and older adults: a comparison between ultrasonography and computed tomography. *Clin Interv Aging.* 2018; 13: 1871-1878.
- Wilhelm EN, Rech A, Minozzo F, Radaelli R, Botton CE, Pinto RS. Relationship between quadriceps femoris echo intensity, muscle power, and functional capacity of older men. *Age (Dordr).* 2014; 36(3): 9625.
- Yamada Y, Schoeller DA, Nakamura E, Morimoto T, Kimura M, Oda S. Extracellular water may mask actual muscle atrophy during aging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2010; 65(5): 510-516.
- Yamada Y, Watanabe Y, Ikenaga M, Yokoyama K, Yoshida T, Morimoto T, Kimura M. Comparison of single- or multifrequency bioelectrical impedance analysis and spectroscopy for assessment of appendicular skeletal muscle in the elderly. *J Appl Physiol.* 2013; 115: 812-818.
- Yoshida T, Kimura M, Yamada Y, Yokoyama K, Ishihara T, Yoshinaka Y, Itoi A, Watanabe Y, Kida N, Nomura T. Fitness age score and the risk of long-term care insurance certification—The Kyoto-Kameoka longitudinal study. *Open J Epidemiol.* 2017; 7: 190-200.
- Yoshiko A, Kaji T, Sugiyama H, Koike T, Oshida Y, Akima H. Effect of 12-month resistance and endurance training on quality, quantity, and function of skeletal muscle in older adults requiring long-term care. *Exp Gerontol.* 2017; 98: 230-237.
- Young HJ, Jenkins NT, Zhao Q, McCully KK. Measurement of intramuscular fat by muscle echo intensity. *Muscle Nerve.* 2015; 52(6): 963-971.