

## 地域在住高齢者の日常の歩数と下肢骨格筋の量および 質, 運動機能との関連

渡邊 裕也<sup>1,2</sup>, 山田 陽介<sup>2,3,5</sup>, 吉田 司<sup>3,5</sup>, 横山 慶一<sup>2,4,5</sup>, 山縣 恵美<sup>6</sup>,  
吉中 康子<sup>4,7</sup>, 岡山 寧子<sup>6</sup>, 木村 みさか<sup>2,4,5</sup>

### Relationship between daily number of steps and lower-limb muscle quantity and quality, and physical function in community-dwelling older adults

Yuya Watanabe<sup>1,2</sup>, Yosuke Yamada<sup>2,3,5</sup>, Tsukasa Yoshida<sup>3,5</sup>, Keiichi Yokoyama<sup>2,4,5</sup>,  
Emi Yamagata<sup>6</sup>, Yasuko Yoshinaka<sup>4,7</sup>, Yasuko Okayama<sup>6</sup>, Misaka Kimura<sup>2,4,5</sup>

The purpose of this study was to examine the relationship between daily number of steps and lower-limb muscle quantity and quality, and physical function in community-dwelling older adults. The participants were 282 older adults (118 men, 164 women, 74.6 ± 5.2 years).

The total number of step counts per day was evaluated using a triaxial accelerometer. We used the mean steps of 14 days for the analysis. The days with step counts ≤ 300 were excluded from the data. The lower-limb muscle quantity and quality were evaluated by ultrasound method. 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. Five physical functions, isometric knee extension torque, vertical jump height, 30-s chair standing, functional reach, and timed up-and-go (TUG), were measured.

The mean steps per day was 6041 ± 3379 steps (men 7021 ± 3820 steps, women 5336 ± 2831 steps). The front-thigh MT was 41.8 ± 5.9 mm (men 44.1 ± 5.8 mm, women 40.3 ± 5.4 mm), and EI was 21.7 ± 5.4 (men 18.7 ± 4.1, women 23.8 ± 5.2). The mean steps showed a significant positive weak correlation with MT ( $r=0.210$ ,  $P<0.001$ ) and a significant negative weak correlation with EI ( $r=-0.281$ ,  $P<0.001$ ). Furthermore, the mean steps had a significant weak correlation with isometric knee extension torque, vertical jump height, 30-s chair standing, functional reach, and TUG ( $r=-0.261$  to  $0.350$ ,  $P<0.001$ ).

This study found that daily physical activity in community-dwelling older adults was related to lower-limb muscle quantity and quality, and physical functions.

**[Key words]** Physical activity, Echo intensity, Muscle composition, Sarcopenia, Frailty

本研究は高齢者の日常の歩数と下肢骨格筋の量および質, 運動機能との関連を検討した。対象者は地域在住高齢者 282 名 (男性 118 名, 女性 164 名, 74.6 ± 5.2 歳) であった。

1 日の総歩数は 3 軸加速度計内蔵活動量計を用いて評価した。本研究では, 14 日間の平均歩数を分析に用いた。なお, 300 歩以下の日はデータから除外した。下肢骨格筋の量および質は超音波法で評価した。大腿前部の超音波 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, 得られた画像から筋輝度を算出した。身体機能として, 等尺性膝伸展トルク, 垂直跳び高, 30 秒椅子立ち上がり回数, ファンクショナルリーチ, Timed up-and-go (TUG) の 5 項目を測定した。

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

2 京都府立医科大学 応用健康科学研究室 (Laboratory of Applied Health Sciences, Kyoto Prefectural University of Medicine)

3 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所 国立健康・栄養研究所 健康長寿研究室 (Section of Healthy Longevity Research, National Institute of Health and Nutrition, National Institutes of Biomedical Innovation, Health and Nutrition)

4 NPO 法人元気アップ AGE プロジェクト (Non-profit Organization Genki-up AGE Project)

5 京都先端科学大学 アクティブ支援機構 (Organization for Supporting Active Health, Kyoto University of Advanced Science)

6 同志社女子大学 看護学部 (Doshisha Women's College of Liberal Arts, Faculty of Nursing)

7 京都先端科学大学 教育開発センター (Center for Faculty Development, Kyoto University of Advanced Science)

対象者の一日当たりの平均歩数は 6041 ± 3379 歩 (男性 7021 ± 3820 歩, 女性 5336 ± 2831 歩) であった。また, 大腿前部の筋組織厚は 41.8 ± 5.9mm (男性 44.1 ± 5.8mm, 女性 40.3 ± 5.4mm), 筋輝度は 21.7 ± 5.4 (男性 18.7 ± 4.1, 女性 23.8 ± 5.2) であった。平均歩数と筋組織厚との間に有意な正の弱い相関関係が ( $r = 0.210, P < 0.001$ ), 筋輝度との間に有意な負の弱い相関関係 ( $r = -0.281, P < 0.001$ ) が観察された。さらに, 平均歩数は等尺性膝伸展トルク, 垂直跳び高, 30 秒椅子立ち上がり回数, ファンクショナルリーチ, TUG と弱いながらも有意な相関関係を持つことが明らかになった ( $r = -0.261 \sim 0.350, P < 0.001$ )。

本研究により, 地域在住高齢者の日常の身体活動量が下肢骨格筋の量的, 質的要素および各種運動機能に関連することが示された。

【キーワード】 身体活動量, 筋輝度, 筋内組成, サルコペニア, フレイル

## I. 緒言

身体機能の低下につながる骨格筋の加齢変化として, 筋の萎縮が広く知られている。幅広い年代 (15 ~ 83 歳) 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, 外側広筋のサイズが 50 歳ほどまで, 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)。しかしながら, 骨格筋に生じる加齢変化は量的な減少だけではない。先行研究では, 加齢とともに筋線維数の減少, 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ことが報告されている (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, とりわけ筋内脂肪の蓄積といった筋内組成の変化は運動機能の低下やインスリン抵抗性と関連することが指摘されており (Addison et al. 2014), 高齢者の健康維持, 増進において重要と考えられる。

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が, 簡便かつ非侵襲的な方法として骨格筋超音波画像から算出する筋輝度が注目されている。なお, 筋輝度と CT や MRI を用いた従来の筋内組成評価法との比較は複数の研究グループにより行われており (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, 筋輝度が筋組織厚 (量的要素) と独立した筋力の説明変数であること (Fukumoto et al. 2012, Watanabe et al. 2013) や筋輝度が垂直跳びにおけるピークパワーや椅子立ち上がり能力などの身体機能とも関連していることが報告されている (Rech et al. 2014, Wilhelm et al. 2014)。また, 筋輝度は運動介入により改善することが知られている (Sipilä and Suominen 1995, Fukumoto et al. 2014, Yoshiko et al. 2017)。

近年, 活発な身体活動が人々の健康維持や増進に寄与する重要な取り組みであることが指摘されている。その根拠として, 複数のコホート研究が, 日常の歩数が多い場合, 総死亡率が低いことを報告している (Dwyer et al. 2015, Yamamoto et al. 2018, Jefferis et al. 2019, Lee et al. 2019)。また, 歩数の増加は糖尿病 (Kraus et al. 2018), 心血管疾患 (Yates et al. 2014, Harris et al. 2019), 骨折 (Harris et al. 2019) のリスク軽減と関連することが示されている。以上のことから, 日常の歩数の増加は疾患リスクを減ずる最も合理的で費用対効果の高い方法と考えられる。実際に日本では, 活発な身体活動を 1 日 10 分追加する「プラス 10」(厚生労働省 2013, Miyachi et al. 2015, Murakami et al. 2015) が広く推奨されている。このように高い身体活動レベルが健康指標にポジティブに作用することに疑いの余地はないが, 日常生活の身体活動量が骨格筋の量的指標や質的指標, さらに身体機能にどのような影響を及ぼしているかはあまりわかっていない。そこで本研究では, 地域在住高齢者の日常の歩数と下肢骨格筋の量および質, 運動機能との関連を探索することを目的とした。先行研究の情報を総合的に勘案すると, 骨格筋の質, つまり筋内組成は骨格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身体機能に影響を及ぼしていると予想される。したがって, 高齢者の日常における身体活動量が下肢骨格筋の量とともに質にも関与している可能性は十分考えられる。

## II. 方法

### 1. 対象者

我々は身体機能測定会の案内を地域在住高齢者に郵送して参加者を募集した。測定会は平成 25 年 10 月から 11 月に京都府亀岡市内の 11 会場で実施され, 545 名の高齢者が参加した。このうち身体機能データと身体活動量データが連結可能な 282 名 (男性 118 名, 女性 164 名) を本研究の対象者とした。

本研究は、京都府立医科大学医学倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号：RBMR-E-372）。身体機能測定会では、測定実施前に研究概要、手順、リスク等を説明し、すべての対象者から自署署名付きの同意書を得た。

## 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<sup>2</sup>で除して Body mass index (BMI) を算出した。

## 3. 身体活動量の評価

身体活動の客観的な指標として、日常の歩数を3軸加速度計内蔵活動量計（EW-NK52, パナソニック社, 日本）を用いて評価した。活動量計は事前に配布され、睡眠、入浴、水泳を除き、起床時から就寝時まで腰の位置に装着するよう説明、依頼した。

本研究では、身体機能測定日前の14日間の平均歩数を分析に用いた。なお、先行研究の手法に則って、300歩以下の日は除外したうえで、4日以上歩数データを有する者を対象とした（Ikenaga et al. 2014, Watanabe et al. 2018）。

## 4. 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、筋の量的指標である筋組織厚、脂肪量の指標である皮下脂肪厚、筋の質的指標である筋輝度を評価した。測定手法は先行研究（Watanabe et al. 2013, 2018）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。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（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。我々の研究グループの筋組織厚測定における級内相関係数（ICC）および変動係数（CV）はそれぞれ0.991、1.0%で、皮下脂肪厚測定のICCおよびCVはそれぞれ0.987、3.6%であった（Watanabe et al. 2018）。

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）。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、我々の研究グループの筋輝度評価にお

けるICCおよびCVはそれぞれ0.869、5.4%であった（Watanabe et al. 2018）。

## 5. 運動機能の評価

### 1) 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（TKK5715, 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, Watanabe et al. 2013, 2018, 2020）。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。なお、トルクの計算の際、1kgを9.8Nに換算した。

### 2) 垂直跳び高

垂直跳び高はジャンプメーター（TKK5406, 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, 2013, Watanabe et al. 2019, 2020）。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) 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, Watanabe et al. 2020）。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。

### 4) 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（TKK5802, 竹井機器工業社, 日本）を用いて測定した（Duncan et al. 1990, Kimura et al. 2012, Watanabe et al. 2020）。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、バランスを崩すことなく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。測定は短い休憩を挟んで2回実施し、高値を測定値として採用した。

### 5) Timed Up & Go (TUG) テスト

総合的な歩行能力の指標として TUG テストを実施した。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, Watanabe et al. 2020)。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。

## 6. 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、取得データの男女比較には対応のない t 検定を用いた。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一覧を示した。対象者の一日当たりの平均歩数は  $6041 \pm 3379$  歩 (男性  $7021 \pm 3820$  歩, 女性  $5336 \pm 2831$  歩) であった。なお、有効な歩数データを取得できた平均日数は  $13.2 \pm 1.8$  日であった。大腿前部筋組織厚は  $41.8 \pm 5.9$ mm (男性  $44.1 \pm 5.8$ mm, 女性  $40.3 \pm 5.4$ mm), 筋輝度は  $21.7 \pm 5.4$  (男性  $18.7 \pm 4.1$ , 女性  $23.8 \pm 5.2$ ) であった。男女のデータを比較したところ、年齢、身長、体重は男性で有意に高値であったが、BMI に有意な差は認められなかった。超音波指標では、筋組織厚が男性で有意に高値

を、皮下脂肪厚および筋輝度が女性で有意に高値を示した。また、身体機能においては、等尺性膝伸展トルク、垂直跳び高、ファンクショナルリーチが男性で有意に高値を認めた。一方、30 秒椅子立ち上がり回数ならびに TUG に有意な男女差は認められなかった。

図 1 に平均歩数と筋組織厚ならびに筋輝度との関係を示した。平均歩数と筋組織厚との間に有意な正の弱い相関関係が ( $r = 0.210$ ,  $P < 0.001$ ), 筋輝度との間に有意な負の弱い相関関係 ( $r = -0.281$ ,  $P < 0.001$ ) が観察された。なお、男女別に平均歩数と超音波指標の関係を確認したところ異なる結果が得られた。男性では、平均歩数と筋輝度との間に有意な負の相関関係が認められたが、筋組織厚との関係に有意性は認められなかった (筋組織厚  $r = 0.109$ ,  $P = 0.242$ ; 筋輝度  $r = -0.337$ ,  $P < 0.001$ )。反対に女性では、筋組織厚との間に有意な正の相関関係が認められ、筋輝度とは有意な関係が観察されなかった (筋組織厚  $r = 0.180$ ,  $P = 0.021$ ; 筋輝度  $r = -0.100$ ,  $P = 0.208$ )。

表 2 に平均歩数と各種身体機能における二変数間の相関係数を示した。平均歩数は等尺性膝伸展トルク、垂直跳び高、30 秒椅子立ち上がり回数、ファンクショナルリーチ、TUG と弱いながらも有意な相関関係を持つことが明らかになった ( $r = -0.261 \sim 0.350$ ,  $P < 0.001$ )。なお、男女別に分析しても同様の結果が得られた。

表 1 対象者の身体的特性, 平均歩数, 超音波法による評価項目および身体機能

Variables	All (n = 282)	Men (n = 118)	Women (n = 164)	P-value
Age (year)	74.6 ± 5.2	75.3 ± 5.4	74.1 ± 4.9	0.046
Height (cm)	156.3 ± 8.6	164.0 ± 6.0	150.8 ± 5.1	< 0.001
Weight (kg)	55.4 ± 9.4	61.2 ± 8.3	51.3 ± 7.8	< 0.001
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	22.6 ± 3.0	22.7 ± 2.6	22.6 ± 3.3	0.729
Daily number of steps (step/day)	6041 ± 3379	7021 ± 3820	5336 ± 2831	< 0.001
Muscle thickness (mm)	41.8 ± 5.9	44.1 ± 5.8	40.3 ± 5.4	< 0.001
Subcutaneous fat thickness (mm)	10.7 ± 4.6	7.8 ± 2.4	12.8 ± 4.7	< 0.001
Echo intensity	21.7 ± 5.4	18.7 ± 4.1	23.8 ± 5.2	< 0.001
Knee extension torque (Nm)	113.5 ± 40.1	142.8 ± 40.3	91.5 ± 21.6	< 0.001
Vertical jump height (cm)	22.2 ± 7.7	26.0 ± 8.3	19.3 ± 5.7	< 0.001
30-s chair standing (numbers)	23.3 ± 6.2	22.8 ± 6.0	23.6 ± 6.4	0.363
Functional reach (cm)	38.5 ± 7.1	39.8 ± 7.2	37.7 ± 6.8	0.014
Timed up-and-go test (s)	6.8 ± 1.5	6.7 ± 1.7	6.8 ± 1.4	0.393

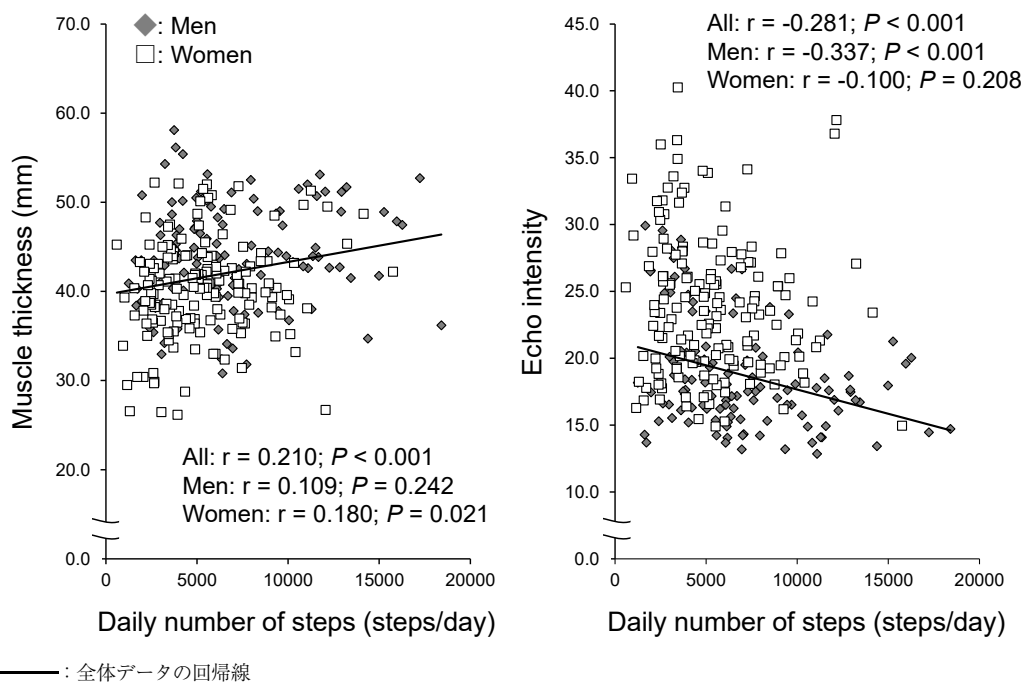


図1 大腿前部の筋組織厚および筋輝度と平均歩数との関係

表2 平均歩数と各種身体機能の相関係数一覧

Variables	Daily number of steps		
	All	Men	Women
Knee extension torque	0.350***	0.286**	0.205*
Vertical jump height	0.291***	0.198*	0.232**
30-s chair standing	0.232***	0.276**	0.245**
Functional reach	0.232***	0.194*	0.217**
Timed up-and-go test	-0.261***	-0.298**	-0.209**

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

#### IV. 考察

本研究は，地域在住高齢者における日常の歩数を3軸加速度計内蔵活動量計で測定し，超音波法で評価した下肢骨格筋の量的要素（筋組織厚）および質的要素（筋輝度）との関連ならびに各種身体機能との関連を探ることを目的とした。分析の結果，日常生活における歩数は筋組織厚と有意な正の相関関係を，筋輝度と有意な負の相関関係を有することが示された。しかしながら，男女別に分析すると男性では筋輝度との間にも，女性では筋組織厚との間にのみ有意な関係性が観察された。加えて，日常の歩数と等尺性膝伸展トルクなど各種身体機能の間には有意な相関関係が認められた。なお，歩数と身体機能については男女とも同

様の結果であった。これらの結果は，高齢者では日常の身体活動量が下肢の骨格筋の量，質，機能に影響を及ぼすことを意味している。ただし，得られた相関係数は総じて低値であり，歩数をもたらす作用は決して大きなものではない。

先行研究では，高齢者への運動介入が骨格筋量や身体機能の改善に加え，骨格筋内組成を反映する筋輝度にもポジティブな変化をもたらすことが示されている（Sipilä and Suominen 1995, Yoshiko et al. 2017）。このことから，我々は高齢者の日常における身体活動量が下肢骨格筋の状態に何らかの関連を持つという仮説を立てたが，それを支持する結果が得られた。また，Osawa et al. (2017) は，108名（男性52名，女性56

名、 $90.3 \pm 1.4$  歳)の後期高齢者の活動量と大腿前部の筋組織厚および筋輝度の関係を報告している。この報告では、筋組織厚ではなく筋輝度が中等度以上の身体活動と有意に関連することが示されている (Osawa et al. 2017)。本研究では、筋組織厚も歩数と有意な関連を有するという結果が得られているが、相関係数の絶対値は筋輝度に比べやや小さい(筋組織厚  $r = 0.210$ , 筋輝度  $r = -0.281$ )。したがって、筋組織厚に比べ筋輝度の方が日常の歩数とやや強く関連するという観点から、結果の方向性は同様であると解釈できる。活動量と筋組織厚の関係性に一致した結果が得られなかった要因は対象者の年齢かもしれない(本研究  $74.6 \pm 5.2$  歳, Osawa et al. の報告  $90.3 \pm 1.4$  歳)。一方、上述のとおり、日常における歩数と大腿前部の筋組織厚および筋輝度との関連性は男女で異なっており(図1)、身体活動量が下肢骨格筋の状態に及ぼす影響には性差あることが示唆された。Fukumoto et al. (2014)は、変形性股関節症患者 ( $53.4 \pm 9.8$  歳)を対象とした介入研究により、高速度で行うレジスタンストレーニングが筋輝度の有意な改善をもたらすことを報告している。この知見を高齢者に当てはめることにやや無理はあるが、日常における高強度の身体活動の程度が下肢骨格筋の筋内組成に何らかの影響を及ぼしているのかもしれない。本研究で用いた活動量計は運動の強度を分類することができないため推測にとどまるが、日常生活における歩行動態が本研究で観察された性差と関連している可能性がある。また、本研究では下肢の筋力や筋パワー、生活機能を反映する5項目の身体機能指標を測定したが、日常の歩数はすべての項目と有意な相関関係を認めた。

Caspersen et al. (1985)は、身体活動を、エネルギー消費を伴う骨格筋によって生み出されるあらゆる身体的な動作と定義している。なお、世界保健機関(World Health Organization: WHO)も同様の定義を提示している(WHO 2009)。身体活動量計測のゴールドスタンダードは二重標識水法で、自由生活条件下における総エネルギー消費量を求めることができる(Westerterp et al. 2013)。Yamada et al. (2018)は、高齢者を対象に、歩数が二重標識水法で求めた身体活動レベルと有意な正の相関関係を有することを報告している。そのため、歩数は身体活動の量および強度のすべてを反映するものではないものの、高齢者の日常生活下の身体活動量を反映する有効な指標の1つと考えられる。以上のことから、本研究の結果は、活発な身体活動が高齢者の下肢骨格筋の量や質、各種身体機能につながる基盤であることを示唆するものといえる。

日本では、健康維持、増進に向けて活発な身体活動を1日10分追加する「プラス10」(厚生労働省2013,

Miyachi et al. 2015, Murakami et al. 2015)が広く推奨されている。このような身体活動量の増加は高齢者におけるフレイル予防にも有効と考えられる。フレイル高齢者の特徴は、座位で過ごす時間が長いことや活発な身体活動が乏しいことである(Blodgett et al. 2015)。Yamada et al. (2012)は、活動量計を用いた6カ月のウォーキング介入により、高齢者の歩数が大幅に増加するとともに下肢骨格筋量および歩行能力が有意に改善することを示した。また、Watanabe et al. (2020)は、活動量計を用いた日常の歩数増加の働きかけを含めた複合プログラムの大規模介入により、地域在住高齢者の下肢骨格筋量および身体機能が有意に改善することを報告した。これらの報告は活動量の増加を促すアプローチの有効性を示すものである。本研究により得られた知見はこれらの介入研究の報告(Yamada et al. 2012, Watanabe et al. 2020)とともに、高齢者の健康支援策としての身体活動量の増加の重要性を裏付けるものである。ただし、活動量の増加に伴う骨格筋の量や質、身体機能の改善効果は決して大きくないことを理解するべきである。十分な筋肥大や筋力増強効果を求める場合は、標的の筋に直接的に強めの刺激を加えるレジスタンストレーニングや適切な栄養サポートがより有効となる。したがって、活発な身体活動量の推奨はフレイルやサルコペニアの予防的措置ととらえるのが妥当と考えられる。

## V. 結論

本研究により、地域在住高齢者の日常の歩数が下肢骨格筋の量的、質的要素および各種運動機能に関連することが示された。また、身体活動量が筋の量的要素および質的要素が及ぼす作用は男女で異なる可能性が示唆された。

介護予防や健康維持、増進に向けて活発な身体活動を行うことが推奨されているが、本研究の結果は高齢者を対象とした身体活動量増加の有効性を支持するものである。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費15K16531(若手研究B)および公益財団法人明治安田厚生事業団(第32回若手研究者のための健康科学研究助成)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、測定に多大な協力をいただいた亀岡市職員の皆様、市民サポーターの皆様に深く感謝いたします。

## 参考文献

- Addison O, Marcus RL, Lastayo PC, Ryan AS. Intermuscular fat: a review of the consequences and causes. *Int J Endocrinol*. 2014; 2014: 309570-11.
- 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.
- Blodgett J, Theou O, Kirkland S, Andreou P, Rockwood K. The association between sedentary behaviour, moderate-vigorous physical activity and frailty in NHANES cohorts. *Maturitas* 2015; 80: 187-191.
- Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*. 1985 Mar-Apr; 100(2): 126-131.
- Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S. Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol*. 1990 Nov; 45(6): M192-197.
- Dwyer T, Pezic A, Sun C, Cochrane J, Venn A, Srikanth V, Jones G, Shook RP, Sui X, Ortaglia A, Blair S, Ponsonby AL. Objectively measured daily steps and subsequent long term all-cause mortality: The Tasped Prospective Cohort Study. *PLoS One*. 2015 Nov 4; 10(11): e0141274.
- 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.
- 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.
- Harris T1 Limb ES, Hosking F, Carey I, DeWilde S, Furness C, Wahlich C, Ahmad S, Kerry S, Whincup P, Victor C, Ussher M, Iliffe S, Ekelund U, Fox-Rushby J, Ibison J, Cook DG. Effect of pedometer-based walking interventions on long-term health outcomes: Prospective 4-year follow-up of two randomised controlled trials using routine primary care data. *PLoS Med*. 2019 Jun 25; 16(6): e1002836.
- Ikenaga M, Yamada Y, Takeda N, Kimura M, Higaki Y, Tanaka H, Kiyonaga A, Nakagawa Study Group. Dynapenia, gait speed and daily physical activity measured using triaxial accelerometer in older Japanese men. *Jpn J Phys Fitness Sports Med*. 2014; 3: 147-154.
- Jefferis BJ, Parsons TJ, Sartini C, Lucy SA, Lennon LT, Papacosta O, Morris RW, Wannamethee SG, Lee IM, Whincup PH. Objectively measured physical activity, sedentary behaviour and all-cause mortality in older men: does volume of activity matter more than pattern of accumulation? *Br J Sports Med*. 2019; 53: 1013-1020.
- 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. アクティブガイド —健康づくりのための身体活動指針—. 2013. <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpr1.pdf> (2020年3月17日閲覧)
- Kraus WE, Yates T, Tuomilehto J, Sun JL, Thomas L, McMurray JJV, Bethel MA, Holman RR. Relationship between baseline physical activity assessed by pedometer count and new-onset diabetes in the NAVIGATOR trial. *BMJ Open Diabetes Res Care*. 2018 Jul 19; 6(1): e000523.
- Lee IM, Shiroma EJ, Kamada M, Bassett DR, Matthews CE, Buring JE. Association of step volume and intensity with all-cause mortality in older women. *JAMA Intern Med* 2019; 179: 1105-1112.
- 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.
- Miyachi M, Tripette J, Kawakami R, Murakami H. "+10 min of physical activity per day": Japan is looking for efficient but feasible recommendations for its population. *J Nutr Sci Vitaminol*. 2015; 61(Suppl): S7-S9.
- Murakami H, Tripette J, Kawakami R, Miyachi M. "Add 10 min for your health": the new Japanese recommendation for physical activity based on dose-response analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2015; 65(11): 1153-1154.
- Osawa Y, Arai Y, Oguma Y, Hirata T, Abe Y, Azuma K, Takayama M, Hirose N. Relationships of muscle echo intensity with walking ability and physical activity in the very old population. *J Aging Phys Act*. 2017 Apr; 25(2): 189-195.
- Overend TJ, Cunningham DA, Paterson DH, Lefcoe MS. Thigh 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.
- 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.
- 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*. 2019 Jun; 33(6): 1580-1588.
- Watanabe Y, Yamada Y, Yoshida T, Yokoyama K, Miyake M, Yamagata E, Yamada M, Yoshinaka Y, Kimura M; for Kyoto-Kameoka Study Group. Comprehensive geriatric intervention in community-dwelling older adults: a cluster-randomized controlled trial. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2020 Feb; 11(1):26-37.
- Westertep KR. Physical activity and physical activity induced energy expenditure in humans: measurement, determinants, and effects. *Front Physiol*. 2013; 4: 90.
- World Health Organization. Global Recommendations on Physical Activity for Health, 2009. <https://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/en/> (2020年3月17日閲覧)
- 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 M, Mori S, Nishiguchi S, Kajiwara Y, Yoshimura K, Sonoda T, Nagai K, Arai H, Aoyama T. Pedometer-based behavioral change program can improve dependency in sedentary older adults: a randomized controlled trial. *J Frailty Aging*. 2012;1(1): 39-44.
- 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.
- Yamada Y, Hashii-Arishima Y, Yokoyama K, Itoi A, Adachi T, Kimura M. Validity of a triaxial accelerometer and simplified physical activity record in older adults aged 64-96 years: a doubly labeled water study. *Eur J Appl Physiol*. 2018 Oct; 118 (10): 2133-2146.
- Yamamoto N, Miyazaki H, Shimada M, Nakagawa N, Sawada SS, Nishimuta M, Kimura Y, Kawakami R, Nagayama H, Asai H, Lee IM, Blair SN, Yoshitake Y. Daily step count and all-cause mortality in a sample of Japanese elderly people: a cohort study. *BMC Public Health*. 2018 Apr 23; 18(1): 540.
- Yates T, Haffner SM, Schulte PJ, Thomas L, Huffman KM, Bales CW, Califf RM, Holman RR, McMurray JJ, Bethel MA, Tuomilehto J, Davies MJ, Kraus WE. Association between change in daily ambulatory activity and cardiovascular events in people with impaired glucose tolerance (NAVIGATOR trial): a cohort analysis. *Lancet*. 2014 Mar 22; 383(9922): 1059-1066.
- 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.