

高齢者の骨格筋健康指標と運動機能との関係 — 2年間にわたる縦断的検討 —

名古屋大学 秋間 広
(共同研究者) 同 田中 憲子
中京大学 吉子 彰人
名古屋大学大学院 前田 久
同 前田 知宏

Relationship between Skeletal Muscle Health Index and Motor Function: Longitudinal Evaluation over 2 Years

by

Hiroshi Akima, Noriko Tanaka
*Research Center of Health, Physical Fitness & Sports,
Nagoya University*
Akito Yoshiko
School of International Liberal Studies, Chukyo University
Hisashi Maeda
Graduate School of Medicine, Nagoya University
Kazuhiro Maeda
*Graduate School of Education and Human Development,
Nagoya University*

ABSTRACT

It is well known that muscle atrophy occurs as a result of aging. However, loss of muscle tissue also increases intramuscular adipose and connective tissues, which is known as deterioration of muscle quality. Ultrasound skeletal muscle images based on

echo intensity (EI) are useful for assessing muscle quality. The purpose of this study was to investigate quality and quantity of skeletal muscle and physical performance of elderly individuals longitudinally. G60 and G70 groups consisted of 21 individuals with 65 or higher and 70 or lower and 27 individuals with 70 or higher and 82 or lower, respectively. EI, thicknesses of muscle and subcutaneous adipose tissue of the quadriceps, and 6 functional tests were performed at baseline and after 1 and 2 years. After two years follow-up, the EI of the vastus lateralis (VL) significantly increased in G60 and G70 groups, and muscle thickness of VL significantly decreased in G70. A significantly improvement was found in sit-up, sit-to-stand, and 5-m maximal walk tests in G60 and G70. These results suggested that age-related muscle atrophy over two years does not necessarily lead to functional impairment in older individuals.

要 旨

高齢者の“健康指標”である骨格筋の量・質と運動機能を2年間に渡って縦断的に検討することを目的とした。48名の高齢者が実験に参加し、65歳以上で70歳未満の対象者をG60群(21名, 年齢 67.6 ± 1.2 歳), 70歳以上-82歳以下の対象者をG70群(27名, 年齢 73.3 ± 3.8 歳)に分類した。大腿部の筋エコー強度, 筋厚, 皮下脂肪厚, 握力, 上体起こし, 椅子の座り立ち, 5m最大速度歩行等を測定した。初回の測定から2年後にはG60群とG70群の外側広筋エコー強度, G70群の大腿四頭筋エコー強度は有意に増加した。G70群の外側広筋と外側部(外側広筋+中間広筋)の筋厚が有意に低下した。一方, 運動機能ではG60群またはG70群において上体起こし, 椅子の座り立ち, 5m最大速度歩行が有意に改善した。以上の結果から, 2年間の縦断的検討により外側部で筋萎縮が認められたが, この筋萎縮が必ずしも筋機能の低下に直結するわけではないことが示された。

緒 言

加齢や身体不活動により骨格筋の量が低下することはよく知られている^{1,2)}。我々の先行研究で

は前期高齢者と比較して後期高齢者において, 筋厚が有意に低値を示し, 運動機能では有意に劣っていたことが明らかになっている³⁾。また, 20歳代から80歳代までの男女164名において, 男女ともに年齢が上昇するとともに, 等速性膝伸展・屈曲筋力が有意に低値を示すことが横断的研究から明らかにされている¹⁾。これらの先行研究は, 筋力や筋機能が年齢とともに変化することを示唆しているが, 横断的研究であるため, この結果を解釈する際には注意が必要である。さらに, 加齢や身体不活動により筋量だけでなく, “筋の質”の低下にも注目する必要がある。本研究における筋の質の低下とは, 加齢や身体不活動によって骨格筋の内部で脂肪や結合組織が増加することを意味している。このように“筋の質”が低下した場合, 肥満, インスリン感受性の低下が引き起こされ, ひいては糖尿病に罹患する可能性が高いことが示されている⁴⁻⁹⁾。さらに, 最近の疫学研究によると, 筋内に蓄積する脂肪が多くなるのに伴って, 死亡リスクが8%高くなることが高齢者4824名を対象とした研究で明らかにされている¹⁰⁾。しかしながら, これまで骨格筋の質といった“健康指標”がどのように変化するのか, また筋量との関係について縦断的に調べた研究はほぼ皆無であり, そ

の変化パターンについては十分に明らかになっていない¹¹⁾。

ヒトを研究対象として筋内の脂肪や結合組織を評価する場合には、非侵襲的な手法が用いられている。その中でも超音波断層装置は有用な手法の一つである¹²⁻¹⁵⁾。超音波断層装置から得られた超音波画像を用いて、筋厚を測定することによって筋の量の指標として用いることができる¹²⁾。また、画像の濃淡を定量的に評価することによって、筋の質の評価も可能である¹²⁾。骨格筋内に含まれる脂肪や結合組織が多い場合、画像は白く写る。一方、骨格筋に含まれる脂肪や結合組織の量が少ない場合は、画像は黒く写る。前者では筋の質は低いと判断され、後者では筋の質が高いと判断される。したがって、超音波画像を定量的に評価することにより、筋の量と質の評価が可能である。また、我々はこれまでプロトン磁気共鳴分光法、磁気共鳴映像法、超音波断層装置の3つの非侵襲的な手法を用いて、同一の研究対象者の同一部位における測定を行なった¹⁶⁾。プロトン磁気共鳴分光法からは、筋細胞内脂肪および筋細胞外脂肪を同定し、磁気共鳴映像法からは画像処理を用いて、筋内に霜降り状に分布する脂肪(筋内脂肪)を定量化し、超音波断層装置からは画像処理を用いて筋エコー強度(画像の濃淡)を算出した。その結果、外側広筋および大腿二頭筋における超音波断層装置による筋エコー強度は、プロトン磁気共鳴分光法から求めた筋細胞外脂肪と有意な相関関係が認められたが、筋細胞内脂肪との間には両筋ともに有意な相関関係は認められなかった。この先行研究からは、加齢や運動不足に伴う筋内脂肪の増加は、主に筋細胞外に蓄積している脂肪を反映していることが示唆されてきた。したがって、超音波画像は骨格筋内に蓄積する脂肪や結合組織がどこにどのくらい蓄積するのかを推測するための非常によい手法であると言える。

本研究では65歳から82歳の高齢男女48名を2
デサントスポーツ科学 Vol. 42

年間に渡って骨格筋の質・量、身体組成および運動機能を縦断的に調べた。加齢に伴って骨格筋の質・量および運動機能の低下が認められるという仮説を設定した。

1. 研究方法

1. 1 研究対象者

本研究に参加した研究対象者は65歳以上70歳未満が21名(男性8名、女性13名、年齢 67.6 ± 1.2 歳、身長 158.7 ± 9.7 cm、体重 55.7 ± 10.8 kg)(G60群とする)、70歳以上82歳以下が27名であった(男性15名、女性12名、年齢 73.3 ± 3.8 歳、身長 159.0 ± 6.9 cm、体重 56.2 ± 7.9 kg)(G70群とする)。研究対象者は以下の条件を満たしていた、1) 名古屋市在住の65歳以上の方、2) 脳・心臓疾患の既往がなく、少し息の上がる運動が問題なく行え、3) 腰痛等の腰に不安のない方、1-3) の条件を全て満たした方。研究対象者にはこの実験に参加することによって生じる可能性のある危険性、有用性について書面を用いて説明し、同意の得られた研究対象者が実験に参加した。なお、この研究課題は名古屋大学総合保健体育科学センター・研究倫理審査委員会の承認を得て実施し(承認番号30-07)、研究対象者の取り扱いについてはヘルシンキ条約に則った。

1. 2 身体特性

身長計を用いて身長を測定した。体組成計を用いて、体重、体脂肪率を測定し、身長と体重から体格指数(body mass index: BMI)を算出した。また、メジャーを用いて、臍のレベルにおける腹囲の測定を行なった。

1. 3 超音波画像

Bモード超音波断層装置(LOGIQ e; GEヘルスケア社製)を用いて、仰臥位における大腿中央の前面部および外側部の横断画像を取得した。リニ

プローブの周波数は8-12 MHzでプローブの幅は3.8cmであった。超音波画像は次のような設定で取得した：周波数10MHz, ゲイン70dB, 深度4-8cm, フォーカスポイント1カ所（画像の最上部）。測定に際してプローブの先端には十分なエコーゲルを貼付した。研究対象者は仰臥位の姿勢をとり、前面と外側の横断画像を各測定部位に対して3枚ずつの画像を撮影した。得られた画像データは超音波断層装置内のハードディスクに保存された。

分析においては、超音波断層装置に保存してあった画像データを Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) 形式で取り出し、パーソナルコンピュータに保存した。大腿直筋 (RF), 外側広筋 (VL), 前面部 (VI_ant) および外側部・中間広筋 (VI_lat) の筋厚, 前面部 (SCAT_ant) および外側部 (SCAT_lat) ・皮下脂肪厚は ImageJ (バージョン 1.53, National Institute of Health, アメリカ合衆国) を用いて分析した。

大腿四頭筋の筋厚 (QF MT) および皮下脂肪厚 (QF SCAT) の代表値は以下の式を用いて算出した。

$$QF MT = (RF MT + VI_ant + VL MT + VI_lat) / 4$$

$$QF SCAT = (SCAT_ant + SCAT_lat) / 2$$

MT: 筋厚

筋エコー強度の分析は ImageJ を用いて行なった。最初に RGB で表現されている画像を 16 ビットの 256 階調グレースケールに変換した後、画像全体をスムージング処理した。次に、前面部から得られた画像については大腿直筋の部分に、外側部から得られた画像については外側広筋の部分に関心領域を設定し、関心領域内のグレースケールレベルを筋エコー強度とした^{1,3)}。

大腿四頭筋の筋エコー強度については以下の式から求めた：

$$QF EI = (RF EI + VL EI) / 2$$

EI: エコー強度

1. 4 機能測定

研究対象者は体育館内で以下に示す6つの機能測定を行なった。それらは、握力、上体起こし、床立ち上がり、椅子座り立ち、5m最大速度歩行、6分間歩行距離であった。握力の測定はデジタル握力計（竹井機器工業社製, T.K.K.5401）を用い、文部科学省による新体力テストの握力測定に準じて行なった。なお、加齢の影響を正確に評価するため、研究対象者が行った全ての測定において、グリップ幅は中間位の幅に統一した。上体起こしテストは仰臥位で膝関節角度を90度に立てた状態に設定し、補助者が足首を固定した。30秒間に反復できる上体起こし（腹筋運動）の回数を記録した。床立ち上がりテストは仰臥位の状態から直立するまでの時間を計測した。立ち上がる際の方法は特に制限を設けなかった。椅子座り立ちテストは両足を肩幅程度開いて直立し、両腕を胸の前で組み、臀部が座面に触れたらすぐに立ち上がるように指示した。10回の椅子の立ち座りに要する時間を計測し、記録とした。5m最大速度歩行テストは、スタート（0m）、1m、6mおよび7mの距離にテープを貼り、最大努力で0mから7mまでを歩行するように指示した。その際1mから6m地点を通過する際に要した時間をストップウォッチを用いて計測した。6分間歩行距離テストは、1周450mの周回コースを体育館に設置、6分間で歩行できた距離を計測した。

1. 5 統計処理

全てのデータは平均値と標準偏差で示した。全ての参加者はベースライン（0年）、1年後、2年後の3回の測定を終えた。G60およびG70とも0年からの変化について比較した。最初に繰り返しのある二元配置分散分析（時間x群）を用いて、差の検定を行なった。主効果あるいは交互作用が

認められた場合は、群毎に繰り返しのある一元配置分散分析を行い、時間の経過に伴って平均値に差があるか検定を行なった。平均値に有意な差があった場合は、Tukeyの多重比較検定を用いて、0年との差の比較を行なった。有意水準は5%未満とした。全ての統計処理には、IBM SPSS Statistics (バージョン26.0, IBM, Tokyo, Japan) を用いた。

2. 結果

G60群およびG70群ともに2年間のフォローアップによる身体特性の有意な変化は認められなかった(表1)。

図1には筋エコー強度の関心領域と筋厚の評価方法について示した。G60群とG70群では1年後および2年後のフォローアップにおいて、外側部で有意な筋エコー強度の増加が認められた。大腿四頭筋のエコー強度においてもG60群が2年後に有意な増加が認められた(図2)。

表2に筋厚および皮下脂肪厚の変化について示した。筋厚については、G70群の2年後の外側広筋および外側広筋+中間広筋の筋厚が、ベースラインと比較して有意に低値を示した。また、皮下脂肪厚についてはG60群の前部と大腿四頭筋全体がベースラインと比較して有意に低値を示した。

表3には身体機能の変化について示した。上

体起こしについては、G60群の1年後と2年後に、またG70群の2年後において有意な記録の向上が認められた。椅子座り立ちにおいてはG60群の1

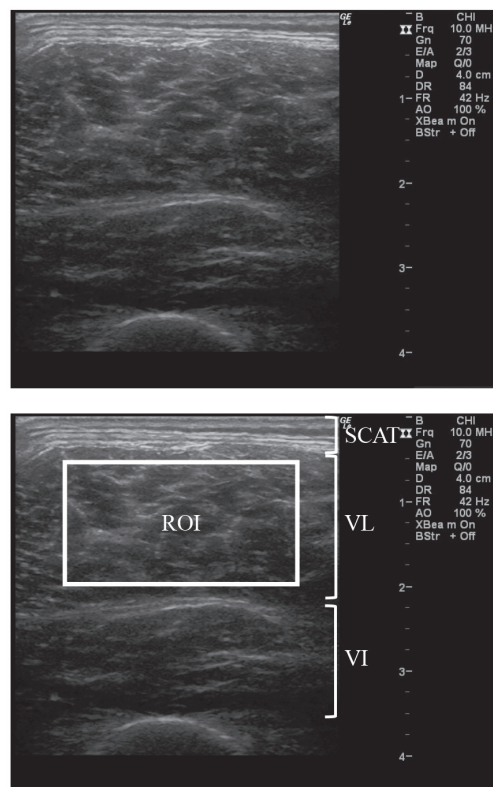


図1 Representative B-mode ultrasound images of right-thigh of 75 year-old man taken from lateral side of the quadriceps femoris (upper) and images with description ROI: region of interest, SCAT: subcutaneous adipose tissue thickness, VL: vastus lateralis, VI: vastus intermedius. scale = cm

表1 Changes in physical characteristics over 2 years follow-up

	Group	Baseline	After 1year	After 2years
Age (years)	G60	67.6 ± 1.2	-	-
	G70	73.3 ± 3.8	-	-
Height (cm)	G60	158.7 ± 9.7	158.9 ± 10.2	158.6 ± 10.0
	G70	159.0 ± 6.9	158.8 ± 6.8	158.8 ± 7.0
Body weight (kg)	G60	55.7 ± 10.5	55.7 ± 10.8	55.5 ± 10.8
	G70	56.2 ± 7.9	56.6 ± 8.0	56.7 ± 8.0
BMI (kg/m ²)	G60	22.0 ± 2.6	21.9 ± 2.6	21.9 ± 2.5
	G70	22.2 ± 2.0	22.3 ± 1.9	22.4 ± 1.9
Body fat (%)	G60	27.5 ± 6.4	27.1 ± 6.0	27.6 ± 5.4
	G70	27.6 ± 5.4	28.1 ± 5.5	28.4 ± 5.2
Abdominal girth (cm)	G60	84.0 ± 7.4	84.2 ± 7.1	84.5 ± 6.3
	G70	85.5 ± 6.5	86.1 ± 5.9	86.8 ± 5.7

Values are means and SD.

BMI: body mass index.

表2 Changes in thickness of muscle and subcutaneous adipose tissue over 2 years follow-up

		Group	Baseline	After 1year	After 2years
Muscle thickness					
RF (cm)		G60	13.9±3.2	14.3±2.4	14.7±3.2
		G70	12.8±2.3	13.2±2.6	13.6±2.7
VI-anterior (cm)		G60	13.5±4.2	12.7±3.4	13.8±3.7
		G70	12.8±3.2	12.9±3.1	13.4±3.0
Anterior (RF&VI-anterior) (cm)		G60	27.4±6.5	27.0±5.1	28.5±6.0
		G70	25.6±5.0	26.1±5.1	27.0±5.3
VL (cm)		G60	15.9±2.7	15.3±2.7	15.1±3.1
		G70	16.7±3.6	15.8±3.3	14.8±3.2*
VI-lateral (cm)		G60	11.7±4.0	11.4±3.9	11.4±4.3
		G70	10.7±3.5	11.3±3.7	10.8±4.3
Lateral (VL&VI-lateral) (cm)		G60	27.7±5.7	26.5±5.7	26.4±6.7
		G70	27.4±5.6	27.0±5.9	25.7±6.7*
QF (cm)		G60	27.6±4.9	26.7±4.8	27.5±5.2
		G70	26.5±4.7	26.6±4.9	26.3±5.7
SCAT thickness					
Anterior (cm)		G60	8.0±2.5	7.7±2.6	7.2±1.9**
		G70	8.0±1.8	7.9±2.0	7.7±1.6
Lateral (cm)		G60	6.1±2.2	5.4±2.0	5.4±1.9
		G70	5.6±1.8	5.6±2.1	5.6±2.0
QF (cm)		G60	7.0±2.2	6.4±2.3*	6.3±1.8**
		G70	6.8±1.8	6.7±2.0	6.7±1.7

Values are means and SD.

* P < 0.05, ** P < 0.01 vs. Baseline. RF, rectus femoris; VL, vastus lateralis; QF, quadriceps femoris; SCAT, subcutaneous adipose tissue thickness; VI, vastus intermedius. G60, participants with 60s; G70, participants with 60s or higher.

表3 Changes in functional abilities over 2 years follow-up

		Group	Baseline	After 1year	After 2years
Hand grip strength (kg)		G60	26.9±6.8	26.9±7.0	26.7±5.7
		G70	29.7±8.1	28.8±7.8	28.8±7.4
Sit-up (reps)		G60	11.7±6.9	13.6±6.3*	14.6±6.1*
		G70	9.0±6.7	10.3±6.3	11.4±6.2**
Supine up (s)		G60	2.6±0.5	2.6±0.5	2.5±0.6
		G70	3.0±0.8	3.0±0.7	2.8±0.6
Sit-to-stand (s)		G60	12.3±2.6	11.0±2.6*	10.4±2.6†
		G70	12.5±4.4	12.2±3.3	11.2±2.7
5-m maximal walk (s)		G60	2.2±0.2	2.1±0.3*	2.1±0.3*
		G70	2.3±0.3	2.2±0.3**	2.1±0.3**
6-min walk (m)		G60	640.4±38.9	656.4±51.0	655.0±44.1
		G70	617.2±50.3	626.7±46.5	629.0±45.5

Values are means and SD.

* P < 0.05, ** P < 0.01, † P < 0.001 vs. Baseline. G60, participants with 60s; G70, participants with 60s or higher.

年後と2年後に有意な記録の向上が認められた。5m最大速度歩行についてはG60群とG70群ともに1年後と2年後に有意な記録の向上が認められた。

3. 考 察

本研究は65歳から82歳の男女48名の高齢者における骨格筋の質・量、身体機能を2年間に渡って縦断的に検討した。その結果、大腿部では2年

後の外側部の筋エコー強度が有意に増加した。この結果と呼応するように外側広筋および大腿外側部・筋厚において有意な加齢による低下が認められた。一方、身体機能特性については特にG60群の上体起こし、椅子座り立ちおよび5m最大速度歩行において、G70群の5m最大速度歩行で有意な記録の改善が認められた。

高齢者の骨格筋の質・量といった“健康指標”を2年間に渡って縦断的に検討した結果、これま

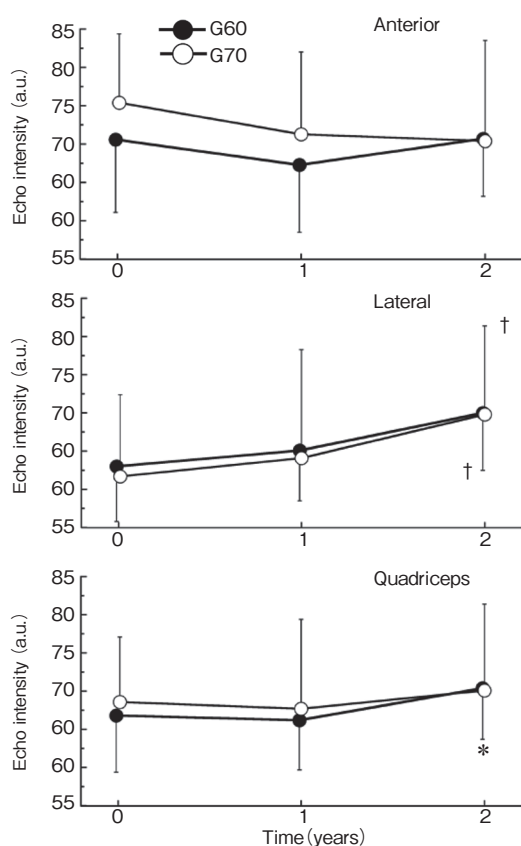


図 2 Two-year longitudinal change of muscle echo intensities of anterior (upper), lateral (middle), and mean of quadriceps femoris (lower)

*, $P < 0.05$, †, $P < 0.001$

G60, participants with 60s; G70, participants with 60s or higher

での横断的な検討によって観察された結果を支持した点と支持していない点が見受けられた。まず、一致した点としては、骨格筋内にある脂肪や結合組織を反映すると考えられている筋エコー強度および筋厚が2年間の縦断的な観察によって横断的な研究結果と一致する傾向が見られた点である。我々はこれまでに筋エコー強度は筋厚と反比例の関係にあることを複数の横断研究で報告してきた^{3,17)}。つまり、筋エコー強度が高い人は筋厚が低値を示すということを意味している。しかしながら、この結果は横断的な研究から得られたものであって、実際に加齢や身体不活動等で筋厚が減少した場合、同時に筋エコー強度が高値を示す

か否かについては明らかになっていなかった。本研究では2年間の縦断的な検討によって、G70の高齢者群において有意な筋厚の低下と有意な筋エコー強度の増加が2年間のフォローアップにおいて認められた。このことは筋萎縮が生じ、それが筋厚の低下を招き、さらに筋の細胞外に脂肪や結合組織が蓄積したことを示唆している¹⁶⁾。

もう一点興味深い結果として、測定する部位によって加齢に伴う筋厚の変化が異なっていた。すなわち、大腿前面部ではG60群とG70群ではいずれも有意な筋厚の変化は認められなかったが、外側部では2年後に筋厚の有意な低下が認められた。このことは加齢に伴う筋厚の変化が部位によって異なる可能性があること、大腿部の前面部ではなく、外側部において変化が大きいことを示唆している。また、測定の再現性に起因する可能性も考えられる。実際、20日間の身体不活動に伴う筋体積の減少において、大腿直筋では筋体積の有意な低下は認められなかったが、外側広筋においては有意な低下が認められている²⁾。本研究はそれらの結果を支持するものである。

本研究の研究対象者においては、6種目の運動機能の測定項目のうち上体起こし、椅子の座り立ちおよび5m最大速度歩行において有意な向上が1年後以降に認められた。これらの測定においてパフォーマンスが改善した影響としては、今回の研究対象者が自身の身体に非常に高い関心を持っていることが影響していると考えられる。今回の研究対象者は名古屋市が高齢者向けに行う運動教室である“なごや健康カレッジ”に参加した方々から希望者を募り、その後の縦断的研究を報告したものであった。この企画では、2ヶ月半の間、自宅で自重負荷での筋力トレーニングとウォーキングを週3回以上程度行うことを課題とした。そのトレーニング前後において本研究で行なったような身体機能テストを実施し、2ヶ月半のトレーニング効果を検討した。参加者の中には上体起こ

しがトレーニング前には1回もできなかった研究対象者もいたが、2ヶ月半の筋力トレーニングによって複数回できるようになった者もいた^{18,19)}。このような経験を通して、トレーニングを通して身体機能が確実に向上することを熟知していた。これらの知識とその実践によって特定の種目において、2年間で有意な変化が見られるまで改善したものである。

4. まとめ

本研究では65歳以上70歳未満のG60群21名、70歳以上82歳以下のG60群27名が実験に参加し、初回の測定と比較して1年後および2年後の身体特性、骨格筋指標および運動能力について縦断的に検討した。身体特性については2年間のフォローアップで有意な変化は両群において認められなかった。G70群の外側広筋および外側部筋厚で有意な減少が認められた。また、G60群の2年後の大腿前部および大腿部の皮下脂肪厚が有意に減少した。一方、1年後および2年後の身体機能測定においては、床立ち上がり、椅子座り立、5m最大速度歩行においてG60群あるいはG70群で有意な改善が認められた。

以上の高齢者の2年間の縦断的な検討から、大腿部では特に外側部において筋萎縮が先行することが示されたが、筋機能を含む身体機能は必ずしも低下するとは限らないことが示された。また、サルコペニアが進行することは骨格筋内に脂肪が蓄積し、将来的にはインスリン抵抗性等に陥る可能性もあるので、普段より“骨格筋の健康維持”にも十分に注意することが必要であると示唆された。

謝 辞

本研究に対して研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝申し上げます。また、本研究へ参加協力を

快諾していただいた研究対象者の皆様、測定においてサポートをしていただいた大学院生の皆様に深謝いたします。

文 献

- 1) Akima H., Kano Y., Enomoto Y., Ishizu M., Okada M., Oishi Y., Katsuta S., Kuno S., Muscle function in 164 men and women aged 20 to 84 yrs., *Med. Sci. Sports. Exerc.*, **33**:220-226(2001)
- 2) Akima H., Kubo K., Imai M., Kanehisa H., Suzuki Y., Gunji A., Fukunaga T., Inactivity and muscle: effect of resistance training during bed rest on muscle size in the lower limb., *Acta. Physiol. Scand.*, **172**:269-278(2001)
- 3) Akima H., Yoshiko A., Ogawa M., Maeda H., Tomita A., Ando R., Tanaka N.I., Quadriceps echo intensity can be an index of muscle size regardless of age in 65 or more years old., *Exp. Gerontol.*, **138**:111015(2020)
- 4) Addison O., Marcus R.L., Lastayo .PC., Ryan A.S., Intermuscular fat: a review of the consequences and causes., *Int. J. Endocrinol.*, 2014:309570(2014)
- 5) Boettcher M., Machann J., Stefan N., Thamer C., Haring H.-U., Claussen C.D., Fritsche A., Schick F., Intermuscular adipose tissue (IMAT) : Association with other adipose tissue compartments and insulin sensitivity., *J. Magn. Reson. Imaging.*, **29**:1340-1345(2009)
- 6) Elder C.P., Apple D.F., Bickel S.C., Meyer R.A., Dudley G.A., Intramuscular fat and glucose tolerance after spinal cord injury - a cross-sectional study., *Spinal. Cord.*, **42**:711-716(2004)
- 7) Goodpaster B.H., Krishnaswami S., Resnick D.E., Haggerty C., Harris T.B., Schwartz A.V., Kritchevsky S., Newman A.B., Association between regional adipose tissue distribution and both type 2 diabetes and impaired glucose tolerance in elderly men and women., *Diabetes. Care.*, **26**:372-379(2003)
- 8) Goodpaster B.H., Park S.W., Harris T.B., Kritchevsky S.B., Nevitt M., Schwartz A.V., Simonsick E.M., Tylavsky F.A., Visser M., Newman A.B., The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study., *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med.*

- Sci.*, 61:1059-1064(2006)
- 9) Marcus R.L., Addison O., Kidde J.P., Dibble L.E., Lastayo P.C., Skeletal muscle fat infiltration: impact of age, inactivity, and exercise., *J. Nutr. Health Aging.*, 14:362-366(2010)
 - 10) Reinders I., Murphy R.A., Brouwer I.A., Visser M., Launer L., Siggeirsdottir K., Eiriksdottir G., Gudnason V., Jonsson P.V., Lang T.F., Harris T.B., Age GESRS., Muscle quality and myosteatosis: Novel associations with mortality risk: The age, gene/environment susceptibility (AGES) -Reykjavik Study., *Am. J. Epidemiol.*, 183(1) :53-60 (2016)
 - 11) Yoshiko A., Yamauchi K., Kato T., Ishida K., Koike T., Oshida Y., Akima H., Effects of post-fracture non-weight-bearing immobilization on muscle atrophy, intramuscular and intermuscular adipose tissues in the thigh and calf., *Skeletal. Radiol.*, 47:1541-1549(2018)
 - 12) Pillen S., Arts IMP., Zwarts M.J., Muscle ultrasound in neuromuscular disorder., *Muscle Nerve.*, 37:679-693(2008)
 - 13) Pillen S., van Dijk J.P., Weijerts G., Raijmann W., de Korte C.L., Zwarts M.J., Quantitative gray-scale analysis in skeletal muscle ultrasound: a comparison study of two ultrasound devices., *Muscle Nerve.*, 39:781-786(2009)
 - 14) Radaelli R., Botton C.E., Wilhelm E.N., Bottaro M., Brown L.E., Lacerda F., Gaya A., Moraes K., Peruzzolo A., Pinto R.S., Time course of low- and high-volume strength training on neuromuscular adaptations and muscle quality in older women., *Age (Dordr)*, 36(2) :881-892(2014)
 - 15) Rech A., Radaelli R., Goltz F.R., da Rosa L.H., Schneider C.D., Pinto R.S., Echo intensity is negatively associated with functional capacity in older women., *Age (Dordr)*, 36(5) :9708(2014)
 - 16) 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*, 34:397-403(2016)
 - 17) Akima H., Yoshiko A., Tomita A., Ando R., Saito A., Ogawa M., Kondo S., Tanaka N.J., Relationship between quadriceps echo intensity and functional and morphological characteristics in older men and women., *Arch. Gerontol. Geriatr.*, 70:105-111(2017)
 - 18) Yoshiko A., Tomita A., Ando R., Ogawa M., Kondo S., Saito A., Tanaka N.J., Koike T., Oshida Y., Akima H., Effects of 10-week walking and walking with home-based resistance training on muscle quality, muscle size, and physical functional tests in healthy older individuals., *Eur. Rev. Aging Phys. Act.*, 15:13 (2018)
 - 19) 吉子彰人, 齋藤輝, 日置麻也, 安藤良介, 秋間広. 高齢者を対象とした自宅での短期間レジスタンストレーニングが筋機能・形態に及ぼす影響. 総合保健体育科学, 36:1-6(2013)