

下肢筋群にみられる部位依存的な筋量の加齢変化

— 生活動作遂行能力との関連性から —

47-106694 小川 まどか

指導教員 石井 直方 教授

The purpose of this study was to characterize sarcopenia in the lower-limb muscles and to learn its relations to the ability to perform activities of daily living, and also to the status of daily physical activities. Experiment 1 compared the volume of each thigh muscle between young and old men with MRI measurements. Quadriceps muscle volume was lower by ~20% ($P < .05$) in the old than in the young men, while the volumes of hamstrings and adductor muscles were similar in both groups. The results suggest that the age-related decrease in thigh muscle volume is muscle specific, i.e., the greater decrease in the quadriceps muscle. Experiment 2 examined the correlation between the muscle thickness (MTH) measured with B-mode ultrasound and the cross-sectional area (CSA) and the volume measured with MRI for the quadriceps, hamstring, and adductor muscles. A strong correlation was observed between MTH and CSA/volume, indicating that ultrasound measurements are useful in the rapid evaluation of thigh muscle size. Experiment 3 investigated the relationship between age-related, quadriceps specific loss of thigh muscle and functional ability and gait performance. There were significant correlations ($P < .05$) between the MTH of anterior thigh and the performances in maximal walking speed, zig-zag walk, sit-to-stand test, while no significant correlations were found between the MTH of posterior thigh and these performance measures. The age-related loss of quadriceps muscle was lower in magnitude in the subjects with comparatively high activities of daily living. Experiment 4 investigated the relationship between age-related, quadriceps-specific loss of thigh muscle and accelerometer-determined daily physical activity. There were significant correlations ($P < .05$) between the MTH of anterior thigh and moderate (3.6-5.2 METs) and vigorous (6.1-8.3 METs) intensity activities. However, no significant correlations were demonstrated between the MTH of posterior thigh and activities with all intensities categorized (low, moderate and vigorous). These results suggest that the age-related, quadriceps-specific loss of thigh muscle is associated with the amount of moderate and vigorous physical activity. In conclusion, the greater loss in the quadriceps muscle was characterized in sarcopenia and was related to the lower ability to perform activities of daily living. Its prevention needs activities with, at least, moderate intensity.

Key Words: aging, sarcopenia, muscle mass, activities of daily living

1 緒言

加齢にともなって骨格筋のサイズおよび発揮筋力が低下すること(サルコペニア)は多くの研究によって報告されている¹⁻⁴⁾。しかし、加齢にともなう骨格筋量の減少が日常生活における各種動作の遂行能力とどのような関係にあるのか、あるいは、主要な生活習慣病の危険因子とどのような関係にあるのかは、現在でも十分に解明されていない。これまで骨格筋量の加齢変化を観察した多くの研究では、四肢の筋横断面積(Cross-sectional area; CSA)や除脂肪組織量などが測定され、上腕部や大腿部など部位ごとの筋サイズはわかっても、伸展筋や屈曲筋、内外転筋などそれぞれの筋群および個々の筋における量的な変化を観察することは極めてまれであった。しかも、加齢に伴う筋群別にサイズの比較を行った研究の多くは、超音波Bモード法を用いた筋組織厚(筋厚)であり^{5,6)}、実際の骨格筋量の加齢変化を筋群別に比較した研究はみられない。さらに先行研究では、中高齢者の下肢の使用頻度の低下が下肢筋群の筋量減少をもたらす可能性が指摘されており^{6,7)}、下肢筋力の低下が生活動作遂行能力の低下を引き起

こす要因とされていることから⁸⁾、骨格筋量の減少の部位差が日常生活における動作遂行能力の低下に関与している可能性も考えられる。

2 目的

本研究では、まず大腿部を構成する大腿四頭筋、ハムストリングスおよび内転筋群の筋体積の加齢に伴う変化に差が認められるか否かを明らかにすることを目的とした(実験I)。さらに、より簡便に筋サイズを評価可能な超音波Bモード法を用いて大腿部の主要な3つの筋群の筋サイズを適切に評価出来るかを確認し(実験II)。この方法を用いて、筋群毎の筋萎縮の程度が、生活動作遂行能力へ及ぼす影響(実験III)と、筋群毎の筋萎縮の程度と身体活動量の関連性について検討した(実験IV)。

3 方法 (実験I)

3.1 被験者

過去3年間筋力トレーニングを行っていない健常男性若齢群(YM)15名(年齢:20-28歳)
中高齢群(OM)13名(年齢:60-78歳)

3.2 測定方法

(a) 筋体積および平均筋横断面積 (平均 CSA)

大転子を起点 (0%), 膝蓋骨を終点 (100%) と定め、磁気共鳴映像装置にて、スライス幅 10mm・1.5T で大腿部の連続横断画像を撮影した (Fig.1).

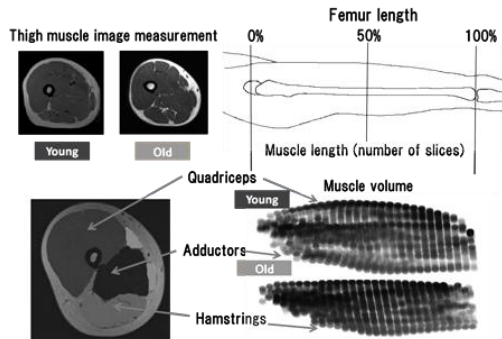


Fig.1 Representative magnetic resonance images of old and young subjects.

得られた MRI 画像は画像解析ソフトを用いて、大腿四頭筋、ハムストリングス、内転筋群ごとに CSA を求め、3つの筋群の CSA を合算した値を大腿部全筋の CSA (縫工筋・薄筋を除く) とした (Fig.1). 筋体積は、各筋群の全スライスの CSA とスライス幅 10mm の積を起点から終点まで合算することにより求めた。また平均 CSA は筋体積を筋長で除した値とした。

(b) 等尺性最大筋力の測定

膝関節伸展 (Knee extension; KE) および屈曲 (Knee flexion; KF) の等尺性最大随意筋力を 股関節 90°, 膝関節 75° で Biodex System-3 dynamometer にて測定した。

(c) 固有筋力 (筋サイズあたりの筋力) の算出

KE を大腿四頭筋の平均 CSA で除した値 (KE/大腿四頭筋), KF をハムストリングスの平均 CSA で除した値 (KF/ハムストリングス) をそれぞれの固有筋力とした。

3.3 統計処理

測定値はすべて平均値 ± 標準偏差で示した。若齢者と中高齢群間の比較は Student's t test を行い、有意水準 5% 未満とした。

4 結果および考察 (実験 I)

筋体積および平均 CSA において大腿四頭筋で差が見られ、中高齢群が若齢群よりも有意に低い値を示した。一方、ハムストリングスおよび内転筋群では両群間に差は見られなかった (Fig.2)。このことから、加齢に伴う大腿部筋萎縮の程度には部位による違いがあり、大腿四頭筋で顕著な筋サイズ減少が起きることが示された。中高齢群の KE および KF は若年者よりそれぞれ 32%, 19% 低い値であった (Table 1)。KE/大腿四頭筋には両群間に有意な差はなかったが、KF/ハムストリングスにおいて、中高齢者は若年者より 14% 有意に低値を示した。これまで加齢に伴う固有筋力の変化は見られないという報告²⁾と変化が見

られたという報告⁹⁾があるが、本研究の結果は、加齢に伴い拮抗筋活動の増加⁴⁾や、筋線維組成、筋の構造的変化¹⁰⁾、筋線維の筋張力の低下¹¹⁾などが生じ、固有筋力に影響を及ぼすことを示唆する。

Table 1 Femur and muscle length and isometric strength.

	Young group (n=15)	Old group (n=13)
Mid-thigh muscle CSA (cm²)		
Total thigh	136.0 ± 13.	127.0 ± 19.0*
Quadriceps	572.3 ± 7.1	55.1 ± 9.1*
Hamstrings	25.8 ± 5.7	23.3 ± 2.8
Adductors	38.8 ± 5.7	41.5 ± 7.8
Average cross-sectional area (cm²)		
Quadriceps	46.0 ± 4.3	38.7 ± 5.7†
Hamstrings	21.7 ± 3.1	21.6 ± 2.3
Adductors	30.9 ± 4.0	29.7 ± 4.3
Maximal voluntary isometric strength (Nm)		
Extension	167.3 ± 20.9	72.6 ± 14.5†
Flexion	246.1 ± 55.0	89.7 ± 20.8*

Values are means ± SD. *P<0.05, †P<0.01 vs. young group.

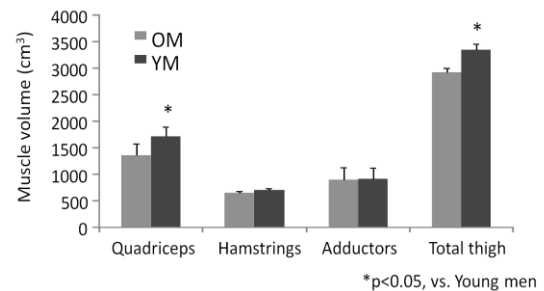


Fig.2 Volumes of major thigh muscles.

3 方法 (実験 II)

3.1 被験者

若齢男性 10 名, 若齢女性 10 名

3.2 測定方法

(a) 筋体積および筋横断面積 (CSA) の測定

実験 I と同様の方法を用いて大腿四頭筋、ハムストリングス、内転筋群の CSA および筋体積を求めた。

(b) 筋厚 (Muscle thickness; MTH) の測定

超音波 B モード法 (SSD-500, Aloka) にて、大腿部 5 箇所 (大腿前面起始より 30% 位置, 50% および 70% 位置, 大腿後面起始より 50% および 70% 位置) の MTH を測定した。

3.3 統計処理

測定結果はいずれも平均値 ± 標準偏差で示し、各筋群別に筋体積および CSA と MTH との間の単相関係数を求めた。有意水準は 5% 未満とした。

4 結果および考察 (実験 II)

大腿前面の 30% 位置における MTH は内転筋群の筋腹である大腿 30% 位置の CSA 間と男女ともに強い相関を示した (Table 2)。内転筋群の筋体積と MTH との間にも強い相関関係が観察された (Table 2)。この結果は、大腿前面 30% 位置での MTH が、内転筋群の筋サイズ (CSA と

筋体積)を反映していることを示唆する。また、大腿前面30%および50%位置のMTHと大腿四頭筋CSA/筋体積の間、大腿後面50%位置のMTHとハムストリングスのCSA/筋体積の間にも高い相関関係が観察され、超音波Bモード法で大腿前面・後面のMTHを測定することによって、大腿部を構成する3つの筋群の筋サイズを評価できる可能性が確認された。

Table 2 Pearson correlation coefficients between adductor muscle cross-sectional area, volume and muscle thickness.

	Adductor Muscle CSA		Adductor Muscle Volume
	30%	50%	
Anterior MTH			
30%	0.922 [€]	0.480*	0.841 [€]
50%	0.729 [€]	0.375	0.670 [†]
70%	0.543*	0.634 [†]	0.548*
Posterior MTH			
50%	0.509*	0.302	0.590 [†]
70%	0.214	0.104	0.307

* P<.05, † P<.01, € P<.001

3 方法 (実験Ⅲ)

3.1 被験者

男性 57 名 (若齢 17 名, 中齢 11 名, 高齢 29 名)
女性 65 名 (若齢 12 名, 中齢 21 名, 高齢 32 名)

3.2 測定方法

(a) 筋厚 (MTH) の測定

超音波 B モード法にて、大腿部 3 箇所 (大腿前面 30・50%位置, 大腿後面 50%位置) の MTH 測定を行った。測定した MTH を大腿長で除した値を MTH/L とした。

(b) 等尺性最大筋力の測定

KE (股関節 90°, 膝関節 80°) および KF (股関節 90°, 膝関節 40°) の等尺性最大随意筋力を Biodex System-3 dynamometer にて測定した。

(c) 動作パフォーマンスの測定

・椅子の座り立ちテスト

出来るだけ早く椅子に座り, そこから立ち上がる動作を 10 回連続で繰り返すように指示し, 要した時間をストップウォッチにて測定した。

・通常歩行速度

通常速度で 24m の歩行を行い, 測定区間 20m の歩行時間を測定した。

・最大歩行速度

出来るだけ早く歩くように指示し, 通常歩行速度同様の方法で歩行時間を測定した。

・方向変換歩行テスト

マーカーで指定したジグザグのコースを出来るだけ早く歩くよう指示し, スタートからゴールまでの時間をストップウォッチにて測定した。

・通常階段昇り

通常速度で階段を 10 段昇った。スタートからゴールま

での時間を測定した。

3.3 統計処理

測定結果は平均値±標準偏差で示した。各群間の比較は一元配置分散分析を行った。年齢と MTH/L, 筋力, 動作パフォーマンスの関係性の検討と, MTH/L および筋力と動作パフォーマンス間の関係性を検討するため, それぞれのピアソンの単相関係数を求めた。有意水準は 5%未満とした。

4 結果および考察 (実験Ⅲ)

大腿前面 (大腿四頭筋) の筋サイズと年齢の間には有意な相関関係が認められ, 後面 (ハムストリングス) と年齢間には相関関係は観察されず, 本研究の被験者集団でも, 実験 I と同様の大腿部筋群に不均一な筋サイズ減少が認められた。また大腿前面 (大腿四頭筋) の筋サイズと強度の高い生活動作 (椅子の座り立ちテスト, 最大歩行速度, 方向変換歩行) の間には相関関係が認められ, 大腿後面 (ハムストリングス) の筋サイズと生活動作の間に相関関係は認められなかった (Table 3)。これらの結果は, 強度の高い生活動作の遂行能力を維持するために, ハムストリングスよりも大腿四頭筋の筋サイズが重要な役割を果たすことを示している。一方で, 通常歩行速度および通常階段昇り時間と筋サイズの間には相関関係は認められなかった。これらの結果は, 通常歩行速度と筋力との間に明らかな相関関係はみられないという報告と一致していた¹²⁾。通常歩行および通常階段昇りでは, 最大筋力発揮時の 10~30%程度の筋活動水準であり¹³⁾、速筋線維の動員は少なく, 加齢に伴う筋サイズ減少の要因とされている速筋線維の選択的萎縮¹⁴⁾の影響が少ないためと考えられる。

Table 3 Pearson correlation coefficients between performance and thigh anterior/posterior MTH/L.

Performance test	Thigh anterior MTH/L			Thigh posterior MTH/L		
	Men	Women	Overall	Men	Women	Overall
Sit to stand test (s)	-0.31*	-0.37 [†]	-0.34 [†]	-0.27*	-0.03	-0.11
Normal walking speed (m/s)	0.09	-0.23	-0.05	-0.17	-0.04	-0.11
Maximal walking speed (m/s)	0.42 [†]	0.38 [†]	0.42 [†]	0.24	0.10	0.12
Zig-Zag walking (s)	-0.40 [†]	-0.47 [†]	-0.47 [†]	-0.26 [†]	0.10	-0.08
Climbing stairs (s)	-0.20	-0.09	-0.05	-0.10	-0.01	-0.04

* P<.05, † P<.01

3 方法 (実験Ⅳ)

3.1 被験者

実験Ⅲの被験者のうちから, 下記についてデータを収集した:

男性 52 名 (若齢 14 名, 中齢 10 名, 高齢 28 名)

女性 64 名 (若齢 12 名, 中齢 20 名, 高齢 32 名)

3.2 測定方法

(a) 筋厚 (MTH) の測定

実験Ⅲで得た大腿部 2 箇所 (大腿前面 50%位置, 大腿後面 50%位置) の MTH/L を用いた。

(b) 等尺性最大筋力の測定

実験Ⅲで得た KE および KF を用いた。

(c) 身体活動量の測定

被験者には、入浴および睡眠時を除いた 30 日間の一軸加速度計（ライフコーダ EX, スズケン社製）の着用を指示した。得られた歩数および活動時間を着用日数で除した値をそれぞれ平均歩数、強度 1-3 (1.8-2.9METs) の活動を『低強度』、強度 4-6 (3.6-5.2METs) の活動を『中等度』、強度 7-9 (6.1-8.3METs) の活動を『高強度』とし、それぞれのカテゴリの活動時間およびそれらの合計(合計活動時間)を求めた。

3.3 統計処理

測定結果は平均値±標準偏差で示した。各群間の比較は一元配置分散分析を行った。年齢と身体活動量の関係性の検討と MTH/L および筋力と身体活動量の間関係性を検討するため、それぞれ単相関係数を求めた。有意水準は 5%未満とした。

4 結果および考察 (実験Ⅳ)

大腿前面の筋サイズと中等度以上の活動時間の間に有意な相関関係が認められた (Table 4)。一方で大腿後面の筋サイズと身体活動量の間相関関係は認められなかったことから、中高齢期における中・高強度 (4METs 程度以上) の身体活動時間の減少が大腿四頭筋の顕著な筋萎縮に関与している可能性が示唆された。

Table 4 Pearson correlation coefficients between duration of physical activity and thigh anterior/posterior MTH .

Duration of Physical Activity (min/day)	Thigh anterior 50% MTH/L			Thigh posterior 50% MTH/L		
	Men	Women	Overall	Men	Women	Overall
Light	0.07	0.12	0.01	-0.09	-0.14	-0.01
Moderate	0.30*	0.51†	0.30 †	-0.05	-0.14	-0.03
Vigorous	0.07	0.56†	0.29 †	0.00	0.07	0.11
M & V	0.33*	0.45†	0.41 †	-0.05	-0.12	-0.04
Total	0.10	0.17	0.24 †	-0.09	-0.20	-0.08

* P<.05, † P<.01

男女別にみると、女性でのみ筋力と 1 日当たりの歩数および中等度以上の活動時間の間に相関関係が認められ、男性では相関関係は認められなかった。男女差を検討する為に、筋力 (KE/KF) を従属変数、中等度、高強度活動時間を独立変数とし、重回帰分析にて主効果および交互作用を調べた。その結果、筋力と性別、中等度、高強度活動時間の間に主効果は認められず、KE について性別と高強度活動時間には交互作用の傾向 (P=0.11) が認められ、KF については、性別と高強度活動時間には有意な交互作用が認められた。このことから、高強度活動時間が筋力へ与える影響に男女差がある可能性が示唆された。女性は男性よりも生活動作における筋活動水準が高く¹³⁾、生活動作そのものの強度が男性よりも女性において高いことが、大き

く影響している可能性がある。また筋の活動水準は筋力と相関関係があり¹⁵⁾、女性および 75 歳以上の男性では、1 日あたりの歩数および 3METs 以上の活動時間と下肢筋量の間相関関係が見られた報告¹⁶⁾ から、実施者の筋力および筋サイズによって、強度別活動時間が筋へ与える影響の程度は異なることが考えられる。

5 まとめ

本研究では、以下の結果が得られた。

- ・加齢に伴う大腿部筋萎縮の程度は部位によって異なり、大腿四頭筋で顕著な筋体積の減少が起きる (実験Ⅰ)
- ・大腿四頭筋、内転筋群、およびハムストリングスの筋サイズを評価する方法として、超音波 B モード法による筋厚測定は有効である (実験Ⅱ)
- ・加齢に伴う大腿四頭筋の顕著な萎縮は、比較的強度の高い生活動作の遂行能力を低下させる (実験Ⅲ)
- ・中高齢期における中・高強度 (4METs 程度以上) の身体活動時間の減少が不均一な筋量減少 (大腿四頭筋の顕著な筋萎縮) に関与している (実験Ⅳ)

これらの結果から、加齢に伴う大腿四頭筋の筋サイズの顕著な減少は中高齢期における生活動作遂行能力低下を招く要因であり、それらを予防するためには、中高齢者への比較的高強度 (4METs 程度以上) の身体活動時間を増やす運動指導が必要であることが示唆された。

文献

- 1) Overend TJ et al. *Clin Physiol.* 1992a;12(6):629-640.
- 2) Overend TJ et al. *J Gerontol.* 1992b;47(6):M204-210.
- 3) Janssen I et al. *J Appl Physiol.* 2000;89(1):81-88.
- 4) Akima H et al. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(2):220-6.
- 5) Miyatani M et al. *Int J Sport Health Sci.* 2003;1(1), 34-40.
- 6) Abe T et al. *J Sports Sci Med.* 2011;10(1):145-150.
- 7) Klitgaard H et al. *Acta Physiol Scand.* 1990;140(1):41-54.
- 8) Brown M et al. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995;50:55-9.
- 9) Macaluso A et al. *Muscle Nerve.* 2002;25(6):858-863.
- 10) Klein CS et al. *J Appl Physiol.* 2001;91:1341-1349. 2001
- 11) Frontera WR et al. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2000;279(3):C611-C618.
- 12) Buchner DM et al. *Age Ageing.* 1996;25(5):386-91.
- 13) 沢井史穂ら. 体力科学. 2006 55(2), 247-257.
- 14) Lexell J et al. *J Neurol Sci.* 1988;84(2-3):275-94.
- 15) Landers et al. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2001;56(10):B443-8.
- 16) Park et al. *Eur J Appl Physiol.* 2010;109 (5) :953-61.