

高齢者の筋組成と身体機能および身体組成との関係

Relationship between muscle composition and functional ability or body composition in elderly individuals

秋 間 広*	**	吉 子 彰 人***	富 田 彩**
安 藤 良 介**	****	小 川 まどか*	近 藤 翔 平**
山 田 紀 子*****		田 中 憲 子*, **	
Hiroshi AKIMA *, **		Akito YOSHIKO ***	Aya TOMITA **
Ryosuke ANDO **, ****		Madoka OGAWA *	Shouhei KONDO **
Noriko YAMADA *****		Noriko TANAKA *, **	

The purpose of this study was to assess the relationship between echo intensity of the thigh muscles, which is an index of adipose tissue infiltration in muscle, and functional ability or body composition in elderly individuals. Thirty-six healthy elderly men and women (72.2 ± 4.4 year-old) engaged in this study. Muscle mass, fat mass, body weight, and percent body fat was measured using bioelectrical impedance device. Subcutaneous fat thickness and muscle thickness at the anterior and lateral thigh was measured using B-mode ultrasonography. Echo intensity of rectus femoris and vastus lateralis was also calculated from ultrasonographic images based on grey scale level. Supine up time was measured as functional ability of the subjects. Echo intensity of rectus femoris and vastus lateralis was significantly correlated with anterior and lateral muscle thicknesses ($r = -0.471$ to -0.594 , $P < 0.01$ to 0.001). Stepwise linear regression analysis was performed as a dependent variable of echo intensity of rectus femoris or that of vastus lateralis and as independent variables of parameters in body composition, muscle thickness, and supine up. Anterior muscle thickness and supine up was extracted to predict echo intensity of rectus femoris, and lateral muscle thickness was extracted to predict echo intensity of vastus lateralis. These results suggest that combination of muscle thickness and supine up or muscle thickness alone might predict metabolic abnormality such as insulin resistance based on assessment of echo intensity.

1 緒言

加齢に伴い骨格筋では萎縮が生じるが、これは“サルコペニア”として一般的によく知られており、多くの研究者に注目されている研究テーマの一つである (Marcus et al. 2012; Song et al. 2001)。一方、加齢はサルコペニアに加えて脂肪が筋の内部に霜降り状に蓄積する (以下、

筋内脂肪) ことも報告されている (Addison et al. 2014)。サルコペニアと比較してこの現象についてはあまり注目されておらず、また、その重要性についても十分に認識されていない (Marcus et al. 2012; Ryan and Nicklas 1999)。高齢者だけでなく、下肢骨格筋に筋萎縮が引き起こされる脊髄損傷患者などにおいても筋内脂肪の割合が相対的に多い人は、インスリン抵抗性を示すこと

* 名古屋大学総合保健体育科学センター
 ** 名古屋大学大学院教育発達科学研究科
 *** 名古屋大学大学院医学系研究科
 **** 日本学術振興会特別研究員
 ***** 岐阜市立女子短期大学食物栄養学科
 * Research Center of Health, Physical Fitness & Sports, Nagoya University
 ** Graduate School of Education & Human Development, Nagoya University
 *** Graduate School of Medicine, Nagoya University
 **** Japan Society for the Promotion of Science
 ***** Department of Food and Nutrition, Gifu City Women's College

が報告されていることから (Boettcher et al. 2009; Elder et al. 2004; Goodpaster et al. 2000)、霜降り状の筋を持つ人は将来的に糖尿病などの生活習慣病発症リスクが高いことが示唆されている。さらに筋内脂肪の割合が相対的に多い人は、様々な動作における筋機能が低いこと (Marcus et al. 2012; Wilhelm et al. 2014) および筋力発揮時の中枢神経の活動レベルが低いことも示されていることから (Yoshida et al. 2012)、筋内脂肪の蓄積は予想以上に身体にとって悪影響を及ぼすと判断できる。

このような筋組成の評価については、古くから超音波断層装置が測定手段の一つとして用いられてきた。例えば、Sipilä と Suominen (1991) は高齢競技者では筋内脂肪が一般高齢者と比較して少ないことを超音波画像により明らかにしている。また、超音波画像より空間的分解能の高いコンピュータ断層法や磁気共鳴映像法 (MRI) も頻繁に用いられる研究手法である。著者らは、若年者および高齢者の MRI による大腿部横断像において筋内脂肪の割合を算出した (Akima et al. 2015)。その結果、筋内脂肪は高齢者が若齢者と比べて、約 2 倍高値を示した。さらに、筋内脂肪に影響する因子を調べるためステップワイズ重回帰分析を用いて検討した結果、高齢者群と若齢者群ともに身体特性や血液性状などの様々なパラメータの中から収縮組織を反映する筋組織断面積のみが抽出され、両者に負の相関関係が示された。すなわち、この結果は筋内脂肪の割合が相対的に多い人は筋組織量が少ないことを意味している。したがって、高齢者および若齢者の筋内脂肪の割合は、筋組織量と関係することを明確に示した結果であり、これは筋内脂肪が筋機能にも影響を及ぼすことを示唆した結果である。実際、筋内脂肪が増加する病態を示す筋ジストロフィー患者において、仰臥位の状態から直立するまでの時間 (床立ち上がり時間) と大腿部の筋内脂肪の割合と高い相関関係があることが確認されている (Akima et al. 2012)。さらにこの床立ち上がりの能力は他の身体機能と密接な相関関係にあることから、この簡単な測定で筋内脂肪の割合を大まかに評価することができる可能性が示されている (富田ら 2014)。しかしながら、この関係が加齢によって筋内脂肪が増加した高齢者においても当てはまるのか否かについては明らかにされていない。

本研究では超音波画像のエコー強度を元にして算出した大腿部の筋内脂肪指標と日常生活機能および様々な身体の形態的パラメータとの関係について検討することを目的とする。エコー強度は筋量を反映する指標と日常生活機能と負の相関関係があるという仮説を設定した。

2 方法

2.1 被検者

対象は2015年10月から2016年1月に実施された「なごや健康カレッジ」の参加者36名 (男性18名、年齢 72.7 ± 4.0 歳、身長 165.4 ± 5.2 cm、体重 64.3 ± 7.7 kg、BMI 23.5 ± 2.8 kg/m²；女性18名、年齢 71.8 ± 4.7 歳、身長 153.2 ± 4.9 cm、体重 48.9 ± 7.9 kg、BMI 20.8 ± 3.0 kg/m²)であった。全ての参加者は、運動実施に問題のない健康状態であると自身で判断した者であった。実験の前には測定の実施内容について十分に説明し、書面により同意の得られた者のみが被検者として参加した。実験中の安全を確保するため、測定内容によっては2～3名の検者が被検者をサポートした。本研究は、名古屋大学総合保健体育科学センターの「ヒトを対象とする研究審査」の承認を得て実施された。

2.2 測定手順

被検者の体調や健康状態を確認するため、実験場所を訪れた被検者の最初の測定は血圧測定であった。5分程度の安静を保った後、市販の血圧計 (HEM-7132、オムロン社製) を用いて、収縮期血圧および拡張期血圧と安静時の脈拍の測定を行った。被検者の多くは普段から血圧を測定する習慣があり、本人の安静時血圧を把握していた。その値と比較して大きく異なる場合は再度の測定を行った。その後、運動による体液シフトや血流変動の影響を避けるため、超音波画像の撮影およびインピーダンス式体組成の測定を行った。これら2つの測定が終わった被検者は、身体機能および日常生活機能の測定を行った。なお、本論文では筋機能および日常生活機能の測定のうち、床立ち上がりと握力について報告する。

2.3 超音波画像

超音波断層装置 (Logiq e, GE Healthcare 社製) を用いて、右大腿中央・前面部と外側部における B モード超音波横断画像をそれぞれ 3 枚ずつ撮影した。筋厚の分析については、先行研究と同様な方法を用いた (日置ら 2012)。すなわち、得られた画像の最上部から筋の最上部までを皮下脂肪厚、筋の最上部から大腿骨最上部までを筋厚とした。また、大腿中央・前面部の画像において表層部にある大腿直筋と大腿中央・外側部の画像において表層部にある外側広筋を対象として、エコー強度を先行研究と同様な方法と用いて測定した (Akima et al. 2016)。分析に際し、それぞれの筋の関心領域はできるだけ広く設定した。分析には画像分析ソフト (ImageJ, National Institute of Health) を用いた。筋厚とエコー強度

については、各測定部位において3枚ずつ撮影された画像の平均値を後の分析に利用した。

2.4 身体組成

身体組成の測定はインピーダンス式の体組成計（ITO-InBody370、伊藤超短波社製）を用いた。測定前にはウエットティッシュにより足底部を拭くことにより皮膚表面の水分量を調節した。体組成計の測定手順に従って測定を行った。この機種は手掌と足底の2ヶ所から体内に微弱電流を通電させるタイプであり、測定の際には直立姿勢を保持し、肘関節や膝関節は十分に伸展させるように留意した。

測定項目は、体重、筋量（絶対値と相対値）、体脂肪量（絶対値と相対値）であった。

2.5 床立ち上がり

床立ち上がりの測定は、先行研究（Akima et al. 2012; 富田ら 2014）と同様な方法を用いた。被検者はマットが敷かれた床に仰臥位となり、合図とともに素早く立ち上がり、直立姿勢となるまでに要する時間をストップウォッチにより計測した。測定は2回行い、良い方の記録を後の分析に用いた。測定開始時の仰臥位の姿勢では、上肢と下肢を完全伸展させた状態とし、床から立ち上がる際の動作に特に規定は設けなかった。直立時の転倒等の防止のため、1～2名の検者が被検者を両側からサポートした。

2.6 握力測定

握力の測定は握力計（T.K.K.5401、竹井機器社製）を

用いた。被検者は立位となり、合図とともに最大努力で約3秒間の筋力発揮を行った。測定は左右交互に2回ずつ測定し、それら4回の測定の平均値を握力の代表値とした。握り幅の調整は行わず、全ての被検者に対して中間の目盛り3に設定した。

2.7 エネルギー摂取量と身体活動レベル

アンケート式の調査より、食事等によるエネルギー摂取と日常生活および運動による身体活動量の推定を専用のソフトウェア（エクセル栄養君、建帛社）を用いて算出した。評価項目はエネルギー摂取量と身体活動レベルであった。

2.8 統計処理

全ての値は平均と標準偏差で示した。各測定項目間の関係性についてはピアソンの積率相関係数を用いて検討した。大腿中央前面部と外側部のエコー強度を従属変数として、体重、体脂肪率、筋肉率、皮下脂肪厚、大腿前面部筋厚あるいは大腿外側部筋厚、床立ち上がり時間、握力を独立変数としたステップワイズ重回帰分析を行った。

3 結果

表1には被検者の身体特性、エネルギー摂取量、体組成、身体機能特性およびエコー強度について示した。

表2には大腿直筋および外側広筋のエコー強度と身体特性、形態的特性および機能的特性との相関係数について示した。大腿直筋および外側広筋のエコー強度

Table 1 Physical characteristics, energy intake, body composition, functional abilities, and echo intensity.

	Mean \pm SD	Range
Age (yrs)	72.0 \pm 4.5	65.0 – 81.0
Height (cm)	159.4 \pm 8.1	145.3 – 176.6
Weight (kg)	56.1 \pm 9.9	34.2 – 76.7
Energy intake (kcal)	1797 \pm 384	1006 – 2604
Body mass index (kg/m ²)	22.0 \pm 2.7	16.0 – 27.0
Percent body fat (%)	27.6 \pm 6.5	13.5 – 40.2
Muscle mass (kg)	56.1 \pm 9.9	13.4 – 31.8
Energy intake (kcal)	1797 \pm 384	1006 – 2604
Physical activity level (a.u.)	2.2 \pm 0.8	1 – 3
Subcutaneous fat thickness at anterior thigh (cm)	0.8 \pm 0.2	0.4 – 1.3
Subcutaneous fat thickness at lateral thigh (cm)	0.6 \pm 0.2	0.3 – 1.1
Muscle thickness at anterior thigh (cm)	2.8 \pm 0.7	1.7 – 4.2
Muscle thickness at lateral thigh (cm)	2.8 \pm 0.5	1.8 – 3.8
Supine up (sec)	3.2 \pm 0.7	2.0 – 5.3
Hand grip strength (kg)	27.0 \pm 7.7	14.8 – 44.5
Rectus femoris echo intensity (a.u.)	76.1 \pm 9.3	49.4 – 97.3
Vastus lateralis echo intensity (a.u.)	63.7 \pm 7.5	51.2 – 81.6

Values are means and SD. Physical activity level is expressed from 1 (low) to 3 (high).

Table 2 Correlation coefficients between echo intensity of rectus femoris and vastus lateralis and various parameters

	Echo intensity	
	Rectus femoris	Vastus lateralis
Weight	-0.302	-0.346
Percent body fat	0.033	-0.147
Muscle mass	-0.134	0.043
Energy intake	-0.136	-0.165
Physical activity level	0.093	-0.209
Subcutaneous fat thickness at anterior thigh	0.102	-0.020
Subcutaneous fat thickness at lateral thigh	0.282	0.086
Muscle thickness at anterior thigh	-0.579 **	-0.500 **
Muscle thickness at lateral thigh	-0.471 **	-0.594 #
Supine up	0.320	0.096
Hand grip strength	-0.302	-0.202

** $P < 0.01$, # $P < 0.001$

は大腿前面部および外側部の筋厚とそれぞれ有意な負の相関関係（大腿直筋エコー強度と大腿前面部筋厚、 $r = -0.579$, $P < 0.01$; 大腿直筋エコー強度と大腿外側部筋厚、 $r = -0.471$, $P < 0.01$; 外側広筋エコー強度と大腿前面部筋厚、 $r = -0.500$, $P < 0.01$; 外側広筋エコー強度と大腿外側部筋厚、 $r = -0.594$, $P < 0.001$ ）が認められた。

表3には大腿直筋および外側広筋のエコー強度をそれぞれ従属変数として、7項目の身体特性、形態的特性および機能的特性を独立変数とした際のステップワイズ重回帰分析の結果について示した。その結果、大腿直筋のエコー強度は大腿前面部の筋厚と床立ち上がりによって予測することができ（ $R^2 = 0.415$ ）、外側広筋のエコー強度は大腿外側部の筋厚によって予測すること（ $R^2 = 0.330$ ）ができることが示された。

4 考察

本研究では高齢者の下肢骨格筋内に霜降り状に分布する筋内脂肪に関係する因子と他の測定パラメータとの関係について検討した。その結果、大腿直筋と外側広筋のエコー強度は、前者では大腿前面部の筋厚と床立ち上がり、後者では大腿外側部の筋厚を用いて予想できる可能性が示された。これは筋内脂肪が筋量と関係し、また身体機能にも影響を及ぼすことを統計的に示した結果である。

加齢に伴い筋内脂肪は増加し、増加した筋内脂肪はインスリン抵抗性と関係することが示されている（Boettcher et al. 2009; Goodpaster et al. 2000）。また、筋内脂肪の蓄積パターンには人種差や性差があるものの、基本的には内臓脂肪と比例して増加することから（Gallagher et al. 2005）、筋内脂肪は内臓脂肪と類似した危険因子をもつ脂肪であると考えられている（Addison et al. 2014）。最近、著者らは若齢者と高齢者において大腿部の筋内脂肪の割合が、大腿部の筋組織断面積と負の相関関係があることを重回帰分析から明らかにした（Akima et al. 2015）。すなわち、筋内脂肪の割合が高い人は筋組織量が少ないことを意味している。さらに、超音波画像や磁気共鳴映像法のような医用画像から求めた筋内脂肪の割合は、筋細胞外に蓄積されている脂質を主に反映しており、筋細胞内にある脂質を反映していないことをプロトン磁気共鳴分光法から明らかにした（Akima et al. 2016）。本研究においても超音波画像を用いているため、本研究で測定したエコー強度は主に筋細胞外にある脂質を反映したものであると考えることができ、このことは筋内脂肪の代謝経路や筋内脂肪の増減の原因等を考える際に重要な情報となるものと考えている。

本研究では、大腿直筋と外側広筋のエコー強度がそれぞれの筋の筋厚と有意な負の関係にあることが示された（表2）。筋内脂肪の相対的な割合が高い被検者の

Table 3 Stepwise linear regression analysis with dependent variable of rectus femoris and vastus lateralis echo intensity.

Dependent variable	Independent variables	Regression coefficient	SE	Standardized regression coefficients	P	R	Adjusted R ²
Rectus femoris echo intensity	Muscle thickness at anterior	-8.482	1.999	-0.593	0.001	0.674	0.415
	Supine up	4.285	1.739	0.344	0.020		
Vastus lateralis echo intensity	Muscle thickness at lateral	-8.239	2.073	-0.594	0.001	0.594	0.330

SE, standard error.

筋のエコー強度は増加するため（超音波画像では白く見える）、そのような被検者の筋厚は低値であることを示している。つまり、この結果は著者らが先に示した筋内脂肪の割合と筋組織量との間には負の相関関係があるとする結果と一致している（Akima et al. 2015）。類似した結果は、他の研究者においても示されている（日置ら 2012; Rossi et al. 2010）。例えば、日置ら（2012）は、中高齢者における大腿部の筋のエコー強度と筋厚との間に有意な相関関係があることを示している。本研究結果はそれらの先行研究を支持するものであった。

大腿直筋と外側広筋のエコー強度を従属変数にして、形態的・機能的パラメータなどの7つの独立変数としたステップワイズ重回帰分析の結果では、大腿直筋では大腿前面部の筋厚と床立ち上がりが選ばれ、外側広筋では大腿外側部の筋厚が選ばれた。外側広筋エコー強度と大腿前面部の筋厚の結果は、表2の相関関係で見られた結果と同様な結果であった。一方、大腿直筋エコー強度での結果は、表2では有意な関係が認められなかった床立ち上がりが選択された。富田ら（2014）は、床立ち上がりが様々な身体機能テストとの間に有意な相関関係があることから、日常生活において簡易的に身体機能を把握する測定する指標として優れていることを報告した。さらに、本研究では床立ち上がりに要する時間が筋内脂肪を説明し得る因子として挙げられたことから、より重要な意味を持つ因子と考えることができる。すなわち、この測定結果を利用することで、超音波画像などの医用画像装置を用いることなく筋内脂肪の推定を行うことができるかも知れない。また、筋内脂肪の割合が多いことは筋機能に負の影響を示すこと（Goodpaster et al. 2001; Tuttle et al. 2012; Visser et al. 2002）、あるいは力発揮時の中枢神経系の活性を低下させる可能性があること（Yoshida et al. 2012）も示されている。これらは腫瘍壊死因子（TNF- α ）やインターロイキン-6（IL-6）などの炎症に関与するアディポカインの影響が示唆されているが（Visser et al. 2002; Zoico et al. 2010）、今後の詳細な研究が望まれるところである。

本研究の限界として、皮下脂肪厚の違い（例えば、肥満者と非肥満者の比較）がエコー強度に影響する可能性が考えられる。すなわち、皮下脂肪厚が高値を示す被検者においては、照射されたエコーが深部に届く間に減衰する可能性が考えられる。そこで、偏相関分析によって皮下脂肪の影響を除去して検討したところ、表2で認められた大腿直筋エコー強度と大腿前面部の筋厚との相関関係は $r = -0.629$ ($P < 0.001$)、外側広筋エコー強度と大腿側面部の筋厚との相関関係は $r = -0.592$ ($P < 0.001$)となり、表2で示した相関係数と比較して相関係数が向上した。しかしながら、いずれの場合でも同様な結果が

認められているので、皮下脂肪厚の影響は得られた結果の解釈を変えるほどの影響はないと判断した。

5 結論

高齢者36名の身体機能、身体組成およびエコー強度を含む筋組成を測定し、大腿部のエコー強度がどのような因子と関係しているのかについて検討した。大腿直筋エコー強度は大腿前面部の筋厚と床立ち上がりと関係し、外側広筋エコー強度は大腿外側部の筋厚と関係していることが明らかとなった。以上の結果より、エコー強度は筋内に霜降り状に分布する脂肪を反映する因子であることから、筋量が多い人は筋内脂肪が少ないことを示しており、さらに大腿直筋のエコー強度は床立ち上がりの記録から予想することもできる可能性を示している。エコー強度を元にした筋内脂肪の指標は、メタボリックシンドロームの診断基準の一つである内臓脂肪と密接に関係することが示されているので、高齢者が健康で自立した生活を送るための一つの指標として有用であり、他のパラメータから簡易的に推定する方法などの開発が望まれる。

6 謝辞

本研究にご協力頂いた「なごや健康カレッジ」の参加者の皆様、名古屋市健康増進課の皆様へ深謝致します。

参考文献

- Addison O, Marcus RL, LaStayo P, Ryan AS. Intermuscular fat: a review of the consequences and causes. *Int J Endocrinol* (2014) 2014: 309570.
- Akima H, Hioki M, Yoshiko A, Koike T, Sakakibara H, Takahashi H, Oshida Y. Intramuscular adipose tissue by T1-weighted MRI at 3T primarily reflects extramyocellular lipids. *Magn Reson Imaging* (2016) 34: 397-403.
- Akima H, Lott D, Senesac C, Deol J, Gemain S, Arpan I, Bendixen R, Sweeney HL, Walter G, Vandenborne K. Relationships of thigh muscle contractile and non-contractile tissue with function, strength, and age in boys with Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord* (2012) 22: 16-25.
- Akima H, Yoshiko A, Hioki M, Kanehira N, Shimaoka K, Koike T, Sakakibara H, Oshida Y. Skeletal muscle size is a major predictor of intramuscular fat content regardless of age. *Eur J Appl Physiol* (2015) 115: 1627-1635.
- Boettcher M, Machann J, Stefan N, Thamer C, Haring H-U, Claussen CD, Fritsche A, Schick F. Intermuscular adipose tissue (IMAT): Association with other adipose tissue compartments and insulin sensitivity. *J Magn Reson Imaging* (2009) 29: 1340-1345.

- Elder CP, Apple DF, Bickel SC, Meyer RA, Dudley GA. Intramuscular fat and glucose tolerance after spinal cord injury - a cross-sectional study. *Spinal Cord* (2004) 42: 711-716.
- Gallagher D, Kuznia P, Heshka S, Aibu H, Heymsfield SB, Goodpaster B, Visse M, Harris TB. Adipose tissue in muscle: a novel depot similar in size to visceral adipose tissue. *Am J Clin Nutr* (2005) 81: 903-910.
- Goodpaster BH, Carlson C, Visser M, Kelley DE, Scherzinger A, Harris TB, Stamm E, Newman AB. Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Halth ABC Study. *J Appl Physiol* (2001) 90: 2157-2165.
- Goodpaster BH, Kelly DE, Thaete FL, He J, Ross R. Skeletal muscle attenuation by computed tomography is associated with skeletal muscle lipid content. *J Appl Physiol* (2000) 89: 101-110.
- Goodpaster BH, Thaete FL, Kelley DE. Thigh adipose tissue distribution is associated with insulin resistance in obesity and in type 2 diabetes mellitus. *Am J Clin Nutr* (2000) 71: 885-892.
- 日置麻也, 島岡清, 柴田優子, 秋間広. 中高年齢女性における筋内脂肪指標と筋機能および筋形態との関係. *トレーニング科学* (2012) 24: 261-269.
- Marcus RL, Addison O, Dibble LE, Foreman KB, Morrell G, LaStayo P. Intramuscular adipose tissue, sarcopenia, and mobility function in older individuals. *J Aging Res* (2012) 2012: 1-6.
- Rossi A, Zoico E, Goodpaster B, Sepe A, Di Francesco V, Fantin F, Pizzini F, Corzato F, Vitali A, Micciolo R, Harris TB, Cinti S, Zamboni M. Quantification of intermuscular adipose tissue in the erector spinae muscle by MRI: agreement with histology evaluation. *Obesity* (2010) 18: 2379-2384.
- Ryan AS, Nicklas BJ. Age-related changes in fat deposition in mid-thigh muscle in women: relationships with metabolic cardiovascular disease risk factors. *Int J Obes* (1999) 23: 126-132.
- Sipilä S, Suominen H. Ultrasound imaging of the quadriceps muscle in elderly athletes and untrained men. *Muscle Nerve* (1991) 14: 527-533.
- Song MY, Ruts E, Kim J, Janumala I, Heymsfield S, Gallagher D. Sarcopenia and increased adipose tissue infiltration of muscle in elderly African American women. *Am J Clin Nutr* (2001) 79: 874-880.
- 富田彩, 齋藤輝, 安藤良介, 吉子彰人, 日置麻也, 秋間広. 在宅での短期間レジスタンストレーニングが高齢者の身体機能と形態に及ぼす影響. *総合保健体育科学* (2014) 37: 23-28.
- Tuttle LJ, Sinacore DR, Mueller MJ. Intermuscular adipose tissue is muscle specific and associated with poor functional performance. *J Aging Res* (2012) 2012: 1-7.
- Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Newman AB, Nevitt M, Stamm E, Harris TB. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc* (2002) 50: 897-904.
- Visser M, Pahor M, Taaffe DR, Goodpaster B, Simonsick EM, Newman AB, Nevitt M, Harris TB. Relationship of interleukin-6 and tumor necrosis factor- α with muscle mass and muscle strength in elderly men and women: The health ABC study. *J Gerontol A Bio Sci Med Sci* (2002) 57A: M326-M332.
- 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: 9625.
- Yoshida Y, Marcus RL, Lastayo PC. Intramuscular adipose tissue and central activation in older adults. *Muscle Nerve* (2012) 46: 813-816.
- Zoico E, Rossi A, Di Francesco V, Sepe A, Olivoso D, Pizzini F, Fantin F, Bosello O, Cominacini L, Harris TB, Zamboni M. Adipose tissue infiltration in skeletal muscle of healthy elderly men: relationships with body composition, insulin resistance, and inflammation at the systemic and tissue level. *J Gerontol A Bio Sci Med Sci* (2010) 65A: 295-299.