

高齢者の筋量と身体活動の強度・量・質の関係を明らかにする  
- sarcopenia 予防のための運動基準作成に向けての基礎的研究 -

福岡大学 山田陽介  
(共同研究者) 同 飛奈卓郎  
京都府立大学 木村みさか  
京都大学 小田伸午  
同 中村榮太郎

**Relationship Between Muscle Mass and the Intensity, Volume, and Type of  
Daily Physical Activity in the Elderly  
- Basic Study for Developing Exercise and  
Physical Activity Reference for Prevention Sarcopenia -**

by

Yousuke Yamada, Takuro Hina  
*Faculty of Sports and Health Science,  
Fukuoka University*

Misaka Kimura  
*Laboratory of Applied Health Science, Faculty of Medicine,  
Kyoto Prefectural University of Medicine*

Shingo Oda, Eitaro Nakamura  
*Center for the promotion of excellence in higher education,  
Kyoto University*

ABSTRACT

Sarcopenia, age related skeletal muscle decline, is a primary factor of physical dysfunction and mobility disability. The relative expansion of extra-cellular water (ECW) is observed during aging, and thus, sarcopenia must be assessed by body cell

mass or intra-cellular water (ICW). The aims of the present study were 1) to validate the newly developed segmental multi-frequency bioelectrical impedance analysis (S-MFBIA) to estimate ICW compared with chemical dilution techniques, 2) to clarify the relationship between segmental ICW and muscle strength in the elderly, 3) to examine the age related change of ICW and calculate the cutoff of sarcopenia, and 4) to examine the relationship between daily physical activity and sarcopenia. S-MFBIA was highly correlated with ICW measured by chemical dilution methods and muscle strength. The ICW estimated by S-MFBIA was significantly decreased with aging in a total of 592 Japanese adults and the cut-off values of sarcopenia were established using those data. The daily physical activity and steps recorded by tri-axial accelerometers were strongly and significantly related to sarcopenia. The results suggest that S-MFBIA is useful to assess age related skeletal muscle loss and the daily physical activity, especially the activity of 3 METs or more intensity may be important to prevent sarcopenia.

## 要 旨

老化に伴う筋萎縮 (sarcopenia) は身体機能低下や歩行機能障害の主因子である。老化に伴って細胞外液 (ECW) の相対的な増加が観察されるため, sarcopenia は体細胞量や細胞内液量 (ICW) で評価する必要がある。本研究は, 1) 多周波部位別生体電気インピーダンス法 (S-MFBIA) による ICW 推定の精度を検証する, 2) ICW と筋力の関係を調べる, 3) ICW の日本人の加齢変化の特徴を明らかにして sarcopenia の基準値を作成する, 4) 日常生活下の身体活動と sarcopenia との関連を明らかにすることを目的として研究を行った。化学的希釈法による ICW の測定に対し S-MFBIA は非常に高い妥当性を有し, 筋力との相関も非常に高い値を示した。592 名の日本人男女を調べたところ ICW は加齢に伴って大きく低下していることが明らかになり, このデータセットから sarcopenia の基準を求めた。3 軸加速度計内蔵型活動量計によって日常の身体活動量と歩数を計測したところ, 身体活動量や歩数は強

く sarcopenia と関連していた。S-MFBIA が加齢に伴う筋量低下を評価するのに有効であること, ならびに sarcopenia 予防には日常の身体活動 (特に 3METs 以上の活動) が重要である可能性が示唆された。

## 緒 言

老化に伴う筋萎縮 (sarcopenia) は高齢者における筋力低下の主因子と考えられており<sup>6)</sup>, いくつかの研究では筋量が将来の身体能力制限や死亡率を予測する因子であることが報告されている<sup>7,20)</sup>。しかし一方で, MRI や CT などの画像法による筋体積や DXA による筋量と身体機能や将来の死亡率との関係は弱いと報告している研究もある<sup>10,13,19)</sup>。

生体中の筋組織は大量の H<sub>2</sub>O を含有している。H<sub>2</sub>O は細胞内外区画に分布しており, それぞれは細胞内液 (ICW), 細胞外液 (ECW) と呼ばれる。このうち, ECW は筋の収縮要素ではないため, 筋力と直接関連しないと考えられる<sup>2)</sup> が, MRI, CT, 超音波などによる画像法や DXA では,

筋細胞と ECW の両方を含んだ区画を筋組織として判定してしまう。組織中の ECW の占める割合は老化とともに相対的に増加していく<sup>24)</sup> ため、MRI、CT、超音波、DXA などの方法では筋細胞量の加齢変化を過小評価してしまうことになる。実際、過去の先行研究をレビューすると、尿中クレアチニン法や<sup>40</sup>K 法による方法で求めた筋量や体細胞量の加齢変化に比べて、MRI、CT、DXA 法などによる筋量の加齢変化が小さい<sup>22)</sup>。つまり、sarcopenia を評価するためには、組織体積ではなく細胞量に注目した方法が必要である。

生体電気インピーダンス法 (BIA) は、その簡便性から現在では身体組成を推定する方法として、市販され多くの機種が出回っている。しかし、市販されている装置のほとんどは、性や年齢、体重などを身体組成の予測変数として重回帰式上で用いることで精度を高めているという問題点がある。BIA の問題点としては、電気抵抗値が細い区間の影響を強く受けてしまうため、手首足首近辺の水分情報の影響を強く受けるという点、ならびに ECW の影響を強く受けるため、細胞内外液比が変化する場合に正確な測定ができない点が挙げられる。しかし、近年、これらの諸問題を解決する方法として、部位別多周波生体電気インピーダンス法 (S-MFBIA) が開発され、性や年齢、体重などを身体組成の予測変数として用いることなく、理論的導出から ICW の推定が可能になってきた<sup>23,24)</sup>。そこで、本研究では、性や年齢、体重に依存しない S-MFBIA 法による ICW 推定の精度検証を化学的希釈法による ICW 測定を用いて行うことを第一の目的とした。

近年、高齢者人口の急激な増加により、介護を必要とする者が急増し、社会医療経済上の大きな問題となっている。介護サービスにかかる費用 (年間 214 万円) に対し、介護予防に必要な費用は 47 万円ほどであるため、sarcopenia を評価し、対象者に対して介護予防介入をするこ

とで、大幅な医療費・介護保険料削減効果が見込まれる。そのためには、sarcopenia の基準づくりが必要である。Janssen ら (2002) が若齢者の値を基準として -2SD 未満を sarcopenia と定義する方法を報告しており、本研究では、この方法を用いて日本人の体細胞量の加齢変化の特徴から、sarcopenia の基準値を求めることを第三の目的とした。

高齢期でも適切な運動によって筋量を維持・増加させることが可能である。しかし、従来の研究では運動介入を用いて実験が行われており、日常生活環境下で実施された身体活動全体には着目されていない。高齢者の筋量維持に必要な身体活動の強度・量・質を明らかにすることは、「sarcopenia 予防のための運動基準」を作成する上で重要だと考える。非拘束条件下の身体活動量の測定方法としてもっとも正確な方法に二重標識水 (DLW) 法がある<sup>17)</sup>。これを用いれば、日常の 1 週間の身体活動エネルギー消費 (AEE) で測定することができる。近年、AEE が高い人ほど死亡率が低い<sup>12)</sup> が、AEE はその後の除脂肪体重減少を予測する指標ではないことが明らかにされた<sup>11)</sup>。従って、筋量維持のためには、身体活動の総量だけでなく、強度にも注目して身体活動を評価する必要がある。近年我々は、3 軸加速度計内蔵型活動量計を用いれば高齢者でも正確に身体活動を評価できることを明らかにした<sup>25)</sup>。そこで本研究の第 4 の目的として、3 軸加速度計内蔵型活動量計を用いて高齢者の sarcopenia 予防に必要な身体活動の強度・量・質を明らかにするための予備検討を行うこととした。

## 1. 方法

研究 1: 一般成人 17 名 (男性 13 名, 女性 4 名) を対象とし、重水素 (D) と重酸素 (<sup>18</sup>O) と臭化ナトリウム (NaBr) を経口投与し、投与

前および投与後 3-4 時間で静脈を各 8ml 採血した。遠心分離により血漿を分離し、血漿を冷凍保存した。TBW 測定には、安定同位対比質量分析計 (Europa Scientific ANCA-G and Hydra 20-20 IRMS for  $^{18}\text{O}$ ; Europa Scientific ANCA-GSL and GEO 20-20 IRMS for  $^2\text{H}$ ; Europa Scientific, Crewe, UK) を用いた。 $^{18}\text{O}$  の分析には  $\text{CO}_2$  を平衡ガスとして用い、 $^2\text{H}$  の分析には  $\text{H}_2$  を平衡ガスとして用い、 $^2\text{H}$  の平衡には白金触媒を用いた。 $^{18}\text{O}$  と  $^2\text{H}$  の希釈容積 ( $N_{\text{O}}$  および  $N_{\text{D}}$ ) を求め、体水分量 (TBW) を  $N_{\text{D}}/1.041$  と  $N_{\text{O}}/1.007$  の平均値によって求めた<sup>15)</sup>。ECW 測定には、血漿を 1v/v% の硝酸で 400 倍に希釈して、高周波誘導結合質量分析装置 (ICP 質量分析装置 ThermoFisher SCIENTIFIC 製 Finnigan ELEMENT2) を用いた。分析に先立ち、 $^{81}\text{Br}$  の測定と  $^{79}\text{Br}$  の測定の両者を比較したところ、 $\text{ICC}_{[3,1]}=1.000$  であり、両者に有意差はみられなかった ( $P=0.422$ )。ちなみに  $^{81}\text{Br}$  の測定では質量分解能を 10,000 まであげており、シグナル強度は  $^{79}\text{Br}$  の 1/3 程度となるため、 $^{79}\text{Br}$  のほうが理論的に高精度測定が可能である。そのため本研究では  $^{79}\text{Br}$  を分析ターゲットとした。得られた結果より、臭化物イオンの希釈容積を算出し、この希釈容積に対して、ギブス・ドナン補正と細胞内補正係数を乗じて ECW を算出した<sup>21)</sup>。TBW から ECW を引いた値を ICW とした。

部位別多周波生体電気インピーダンス法は、8ch 式のバッテリー式インピーダンス装置 (Muscle- $\alpha$ , Art Haven 9, Kyoto, Japan) を回路切り替えによって 3 種類の周波数の定格交流電流が流れるように改良したものを用いた。測定姿勢、測定手順は前章と同じ条件で安静仰臥位にて行った。測定前には、10, 100, 1000  $\Omega$  の抵抗値に対して較正を行い、製品内部に付置された正確抵抗にてその精度検証を行った。全てのエラーは 1% 未満であった。ジェルが塗布されたタブ付

きの心電図用電極 (Red Dot, 3M) を、電流印可電極として両手両足の第 2MP 関節の近位側背部に貼付し、遠位電圧検出電極として左右手首の橈骨茎突点と尺骨茎突点を結ぶ線分の中央、左右足首の外果点と内果点を結ぶ線分の中央に貼付し、近位電極検出電極として左右橈骨点および左右足脛骨部に貼付した<sup>23)</sup>。低周波電流の電気抵抗値は細胞外液成分を、高周波電流の電気抵抗値は細胞内液と外液両方成分を反映していると考えられている。そのため、5kHz の電気抵抗値 ( $Z_5$ ) と、250kHz の電気抵抗値から 5kHz の電気抵抗値を引いた値 ( $Z_{250-5}$ ) を、MFSBIA からの変数として採用した。

研究 2: 64 - 93 歳までの日本人高齢男女 43 名を対象に、大腿部の多周波生体電気インピーダンス法による細胞内液成分の電気抵抗値と超音波画像装置による大腿部前面の筋厚を計測し、等尺性膝関節伸展力との関係を求めた。我々の研究室における超音波画像による筋厚測定の詳細は先行文献に記している<sup>18)</sup>。本研究では、SonoSite 180Plus (SonoSite Inc., Bothell, WA, USA) に線型プローブ (SonoSite L38/10-5) を用いて B モード法で筋厚を計測した。大腿部の細胞内液成分の電気抵抗値は、研究 1 の方法に従って計測した。

研究 3: 18 - 93 歳の日本人男女 592 名を対象に研究 1 で確立した S-MFBIA による体細胞量推定を実施し、その加齢変化を男女別に評価した。さらに Janssen ら (2002) が提唱した、18 - 40 歳の値を基準としたときの平均値 -2SD 未満を sarcopenia と定義する方法から、sarcopenia の基準値を求めた。

研究 4: 日本人高齢男女 122 名 ( $72.6 \pm 6.4$  歳) を対象とし、3 軸加速度計内蔵型活動量計 (Actimarker, Panasonic, Osaka, Japan) による 2 週間の身体活動量調査と研究 1 で確立した S-MFBIA による体細胞量推定を実施した。Actimarker は 3 成分の合成加速度のノルムの標

準偏差 ( $K_m$ ) を一分ごとに記録する装置である。2週間の間、入浴・プール・睡眠中を除き、第2腰椎と同じ高さの腰部に Actimarker を装着し生活してもらった。 $K_m$  は 40 to 160  $m \cdot min^{-1}$  までの7段階の走歩行および7種類の日常生活活動(立位での整容, 着替え, 料理, 食事を食べるまね, 皿洗い, 洗濯, 掃除)中の酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) と非常に高い相関があることが報告されている ( $R^2 = 0.86$ )<sup>25)</sup>。 $K_m$  を説明変数とした単回帰分析にて身体活動のメッツ (MET) 強度が推定され、3METs 以上の活動を記録した時間について、METs × 従事時間の24時間積分値より1日あたりのエクササイズ ( $Ex := METs \cdot 時$ ) を算出し、測定期間中の平均を用いて、1週間の  $Ex$  を求めた。また活動量計に記録された1日あたりの歩数を解析に用いた。

## 2. 結果

研究1の結果、S-MFBIA から求めた細胞内液成分のインピーダンスインデックス ( $L^2/Z_{(250-5)}$ : 長さの2乗/電気抵抗値) は、ICW と非常に高い相関関係を示し、 $L^2/Z_{(250-5)}$  から、ICW を予測することが可能であることが示された (図1)。また、研究2の結果、大腿部の  $L^2/Z_{(250-5)}$  は、超音波画像法で推定した大腿部の筋量よりも等

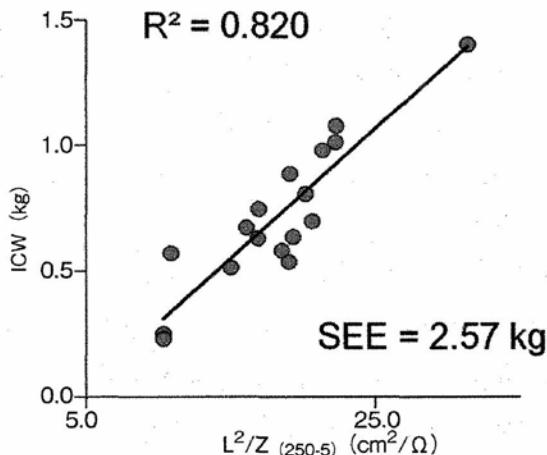


図1 S-MFBIA法によるインピーダンスインデックスと化学的希釈法によるICWとの関係

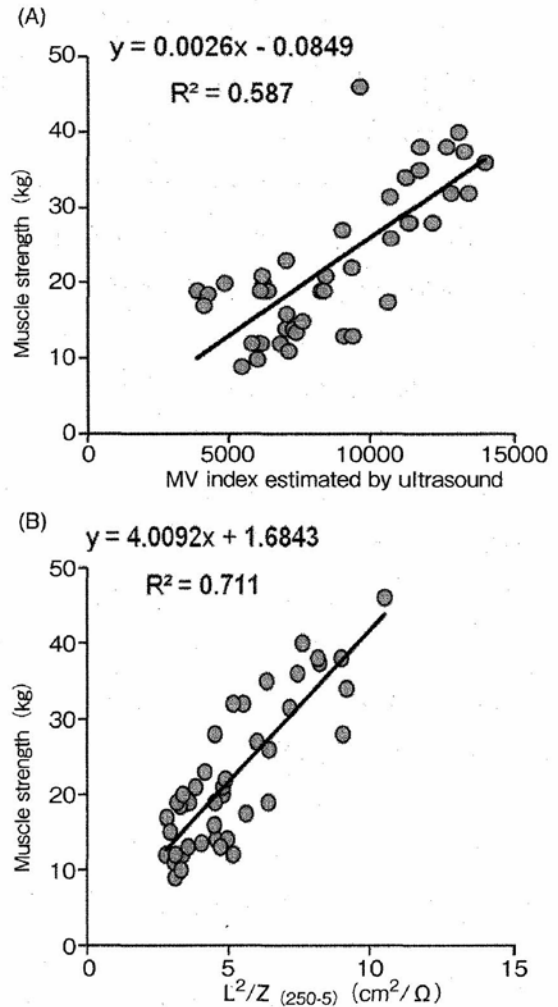


図2 等尺性膝関節伸展筋力と超音波画像法による筋体積インデックス (A) およびS-MFBIA法によるインピーダンスインデックス (B) との関係

尺性膝関節伸展力と高い相関関係があることが明らかになった (図2)。図2は、超音波画像法による筋厚に大腿長を乗じた値での結果を示しているが、大腿長の2乗を乗じた場合でも、高齢者では、S-MFBIAによる細胞内液成分の推定が等尺性膝関節伸展力と強い関係を示した。

図3に18 - 93歳の日本人男女592名におけるS-MFBIAによる体細胞量推定の結果を示した。体細胞量・および体重当たりの体細胞量はともに加齢に伴って低下する傾向を示した。そこで、体重当たりのICWについて、18 - 40歳の値を基準としたときの平均値 -2SDの値を男女別に算出した (図中の横線部)。

Actimarkerで身体活動量を計測した日本人高齢男女122名について、 $Ex$  および歩数の記録値

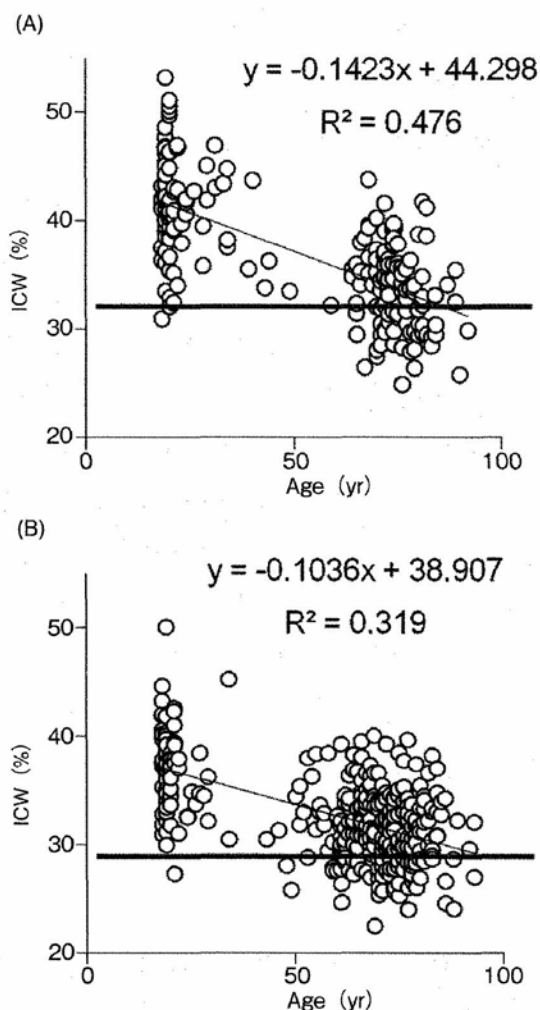


図3 男性 (A) および女性 (B) における体重あたりの ICW の加齢変化

の四分位から4群に分け、各群ごとに、研究3で得られた sarcopenia 基準値を下回る人の割合をそれぞれ求めた。Ex および歩数がもっとも少ない群と比較した際に、その他の群の sarcopenia 基準を下回る人の割合に関する相対リスク比を求め、図4に示した。Ex も歩数も高い群では、sarcopenia 基準を下回る人の割合が有意に減少し、特に Ex が最も低いグループでは、Ex が最も高いグループと比較して、ハザード比は50.1 (95% 信頼区間: 5.97-420.4) であった。歩数よりも Ex のほうが、sarcopenia 基準を下回る人の割合と強く関係していた。

### 3. 考察

加齢に伴って、身体組成が変化するが、同時

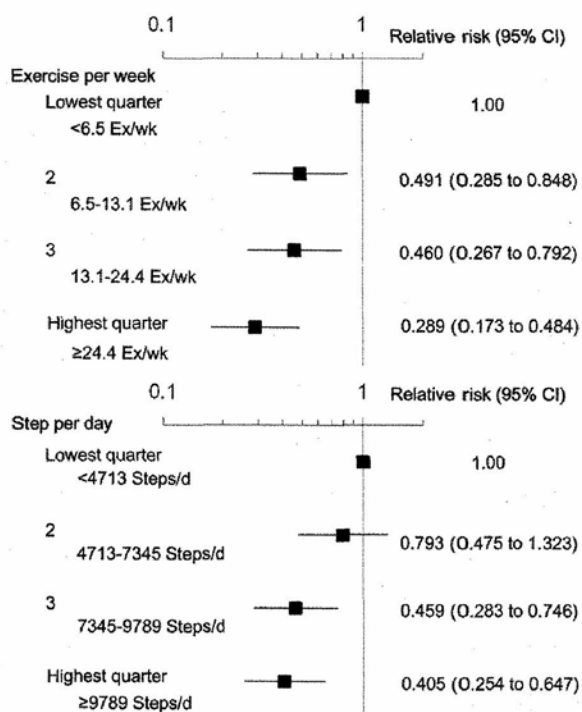


図4 sarcopenia に分類される割合に関する身体活動量、歩数でグループ分けした相対リスク

に除脂肪組織の組成も大きく変化する。MRI や CT などの画像では筋断面積や体積を正確に求めることができるとされているが、実際には、これら画像法で算出する筋体積には ECW が含まれており、ECW の含有割合は老化に伴って相対的に増加する。ECW は筋力と関係しない部分（非収縮要素）であるため、sarcopenia の評価には、ECW を取り除いた細胞量で評価する必要がある。細胞量の評価には、<sup>40</sup>K 法と化学的希釈法が用いられるがどちらも煩雑で多数の被験者に対する測定は極めて難しい。そのため本研究では、S-MFBIA 法を用いた ICW 評価法の確立とその妥当性検証、それを用いた sarcopenia の評価基準づくり、ならびに sarcopenia と身体活動量の関係を明らかにした。

研究1では、ICW 推定のゴールドスタンダードである化学的希釈法を用いて、S-MFBIA 法の妥当性を検証した。市販されている BIA 法は性や年齢、体重などの予測変数を推定法に用いる<sup>9)</sup>が、本法では BIA 法を理論的に再構築すること

で ICW をインピーダンスインデックス（電極間距離の 2 乗 / 電気抵抗値）から推定することが可能になった。ICW 推定はゴールドスタンダード法でも誤差が存在するため両者の相関は低くなりがちである<sup>4)</sup>が、先行研究と比べても ICW 推定の精度は良好であるといえる。

研究 2 では、その筋細胞量の推定精度を検証するために、等尺性膝関節伸展力と大腿部の S-MFBIA 法との関係を求めた。大腿部の S-MFBIA 法は屈筋群と伸筋群を弁別することができずその両者の成分が含まれているにも関わらず、超音波画像法と比較して伸展力と高い相関を示した。このことは画像法では評価できない ECW の相対的な増加を正確に評価できる S-MFBIA 法の大きなメリットといえるだろう。

研究 3 では、研究 1 で確立した推定法を用いて 18 - 93 歳の日本人男女 592 名の ICW 推定を行い、加齢変化の特徴を明らかにした。中年層のデータが少ない点が研究の限界であるが、それでも明確な加齢変化が確認された。女性に比べて男性のほうが体重あたりの ICW の値が大きかったが、加齢に伴う低下率は女性よりも男性で大きいという結果は先行研究とも一致する<sup>26)</sup>。このデータから暫定的ではあるが 18-40 歳までのデータを用いて、sarcopenia の基準値を算出することができる（図 3 の横線）。sarcopenia と判定される人の割合が老化に伴って増加することが明らかになった。

研究 4 では、協力の得られた日本人高齢男女 122 名に対して 2 週間 Actimarker を腰部に装着してもらい日常生活下での身体活動量と歩数を調査し、sarcopenia との関連を横断的に調査した。すると、歩数や Ex が少ない群と比べて多い群では sarcopenia に分類される人の割合が有意に少ない結果となった。特に、Ex が最も少ない群では 63.3% が sarcopenia と分類されたのに対し、Ex が最も多い群では 3.3% であった。より詳細に運

動強度や活動内容との比較を行うと、日常生活下での特に 3METs 以上の身体活動・運動の量が sarcopenia と関連している可能性が示唆された。

#### 4. 結 論

本研究の結果、新しく開発した S-MFBIA 法を用いることで簡便かつ正確に ICW を推定できるとともに体細胞量の加齢変化を捉えることができることが明らかになった。さらに 500 名を超える日本人男女のデータから sarcopenia の基準値を作成し、日常生活下での身体活動との関係を横断的に調べたところ、特に 3METs 以上の身体活動の総量（強度 × 量）が sarcopenia に関連しており、日常の身体活動の量を効果的に増加させることで、筋量の維持につながる可能性が示唆された。

#### 謝 辞

本研究に対して助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) Cha K., Chertow G.M., Gonzalez J., Lazarus J.M., Wilmore D.W., Multifrequency bioelectrical impedance estimates the distribution of body water. *J. Appl. Physiol.*, 79: 1316-1319(1995)
- 2) Chamney P.W., Wabel P., Moissl U.M., Muller M.J., Bosy-Westphal A., Korth O., Fuller N.J., A whole-body model to distinguish excess fluid from the hydration of major body tissues. *Am. J. Clin. Nutr.*, 85: 80-89(2007)
- 3) De Lorenzo A., Andreoli A., Segmental bioelectrical impedance analysis. *Current Opinion in Clinical Nutrition, and Metabolic Care*, 6: 551-555(2003)
- 4) De Lorenzo A., Andreoli A., Matthie J., Withers P., Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *J. Appl. Physiol.*, 96: 161-166(1997)
- 5) Ellis K.J., Bell S.J., Chertow G.M., Chumlea W.C.,

- Knox T.A., Kotler D.P., Lukaski H.C., Schoeller D.A., Bioelectrical impedance methods in clinical research: a follow-up to the NIH Technology Assessment Conference. *Nutrition*, 15: 874-880 (1999)
- 6) Frontera W.R., Hughes V.A., Fielding R.A., Fiatarone M.A., Evans W.J., Roubenoff R., Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *J. Appl. Physiol.*, 88: 1321-1326 (2000)
  - 7) Janssen I., Influence of Sarcopenia on the Development of Physical Disability: The Cardiovascular Health Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 54: 56-62 (2006)
  - 8) Kaysen G.A., Zhu F., Sarkar S., Heymsfield S.B., Wong J., Kaitwatcharachai C., Kuhlmann M.K., Levin N.W., Estimation of total-body and limb muscle mass in hemodialysis patients by using multifrequency bioimpedance spectroscopy. *Am. J. Clin. Nutr.*, 82: 988-995 (2005)
  - 9) Kyle U.G., Bosaeus I., De Lorenzo A.D., Deurenberg P., Elia M., Gomez J.M., Heitmann B.L., Kent-Smith L., Melchior J.C., Pirlich M., Scharfetter H., Schols A.M., Pichard C., Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clin. Nutr.*, 23: 1226-1243 (2004)
  - 10) Lauretani F., Russo C.R., Bandinelli S., Bartali B., Cavazzini C., Di Iorio A., Corsi A.M., Rantanen T., Guralnik J.M., Ferrucci L., Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J. Appl. Physiol.*, 95: 1851-1860 (2003)
  - 11) Manini T.M., Everhart J.E., Anton S.D., Schoeller D.A., Cummings S.R., Mackey D.C., Delmonico M.J., Bauer D.C., Simonsick E.M., Colbert L.H., Visser M., Tylavsky F., Newman A.B., Harris T.B., Activity energy expenditure and change in body composition in late life. *Am. J. Clin. Nutr.*, 90: 1336-1342 (2009)
  - 12) Manini T.M., Everhart J.E., Patel K.V., Schoeller D.A., Colbert L.H., Visser M., Tylavsky F., Bauer D.C., Goodpaster B.H., Harris T.B., Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. *JAMA*, 296: 171-179 (2006)
  - 13) Newman A.B., Kupelian V., Visser M., Simonsick E.M., Goodpaster B.H., Kritchevsky S.B., Tylavsky F.A., Rubin S.M., Harris T.B., Aging and Body composition Study Investigators. Strength, But Not Muscle Mass, Is Associated With Mortality in the Health, Aging and Body Composition Study Cohort. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, 61: 72-77 (2006)
  - 14) Ohta M., Masuo Y., Kanehisa H., Kawakami Y., Fukunaga T., Study on the application of bioelectrical impedance method for estimating tendon elongation. *International Journal of Sport and Health Science*, 3: 296-303 (2005)
  - 15) Racette S.B., Schoeller D.A., Luke A.H., Shay K., Hnilicka J., Kushner R.F., Relative dilution spaces of 2H- and 18O-labeled water in humans. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 267: E585-590 (1994)
  - 16) Schoeller D.A., Hydrometry. In: Human body composition second edition, edited by Heymsfield S.B. Champaign, IL: Human Kinetics (2005)
  - 17) Schoeller D.A., van Santen E., Measurement of energy-expenditure in humans by doubly labeled water method. *J. Appl. Physiol.*, 53: 955-959 (1982)
  - 18) Tanaka T., Yosuke Y., Ohata K., Yabe K., Assessment of sites-related differences in fat and muscle thickness in adults with cervical spinal cord injury. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 13: 25-30 (2007)
  - 19) Visser M., Deeg D.J., Lips P., Harris T.B., Bouter L.M., Skeletal muscle mass and muscle strength in relation to lower-extremity performance in older men and women. *J. Am. Geriatr. Soc.*, 48: 381-386 (2000)
  - 20) Volpato S., Romagnoni F., Soattin L., Ble A., Leoci V., Bollini C., Fellin R., Zuliani G., Body Mass Index, Body Cell Mass, and 4-Year All-Cause Mortality Risk in Older Nursing Home Residents. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52: 886-891 (2004)
  - 21) Wang Z., Heshka S., Heymsfield S.B., Shen W., Gallagher D., A cellular-level approach to predicting resting energy expenditure across the adult years. *Am. J. Clin. Nutr.*, 81: 799-806 (2005)
  - 22) Yamada Y., The assessment of muscle atrophy and sarcopenia: a cellular-level approach is required to measure actual skeletal muscle volume. In: *Research Advances in Gerontology*, edited by Mohan R.M. Kerala, India: Grobal Research Network (2010)
  - 23) Yamada Y., Masuo Y., Yokoyama K., Hashii Y., Ando S., Okayama Y., Morimoto T., Kimura M., Oda S., Proximal electrode placement improves the estimation of body composition in obese and lean



- elderly during segmental bioelectrical impedance analysis. *Eur J. Appl. Physiol.*, 107: 135-144 (2009)
- 24) Yamada Y., Schoeller D.A., Nakamura E., Morimoto T., Kimura M., Oda S., Extracellular water may mask actual muscle atrophy during aging. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 65A: 510-516 (2010)
- 25) Yamada Y., Yokoyama K., Noriyasu R., Osaki T., Adachi T., Itoi A., Naito Y., Morimoto T., Kimura M., Oda S., Light-intensity activities are important for estimating physical activity energy expenditure using uniaxial and triaxial accelerometers. *Eur J. Appl. Physiol.*, 105: 141-152 (2009)
- 26) 山田陽介, 木村みさか, 中村榮太郎, 増尾善久, 小田伸午. 15～97歳日本人男女 1006名における体筋筋量と筋量分布. *体力科学* 56: 461-472 (2007)
- 27) 田中喜代次, 金憲経, 中西とも子, 天貝均. 多周波数インピーダンス法による日本成人の身体組成の評価. *日本運動生理学雑誌* 6: 37-45 (1999)