

若年女性における Phase angle と体力の関係

Association of bioelectrical phase angle with physical fitness in young females

渡辺圭佑^{*1} 丹野久美子^{*2} 青木拓巳^{*3} 西田理絵^{*3} 田中一裕^{*1}
Keisuke WATANABE Kumiko TANNO Takumi AOKI Rie NISHIDA Kazuhiro TANAKA

Purpose: This study aimed to elucidate the association between phase angle based on bioelectrical impedance analysis (BIA) and physical fitness in young females.

Methods: A total of 766 female students from Miyagi Gakuin Women's University participated in this study (age: 18.2 ± 1.3 years, height: 1.58 ± 0.05 m, body weight: 52.4 ± 8.9 kg, body mass index (BMI): 21.1 ± 3.2 kg/m²). Skeletal muscle index (SMI) fat mass, body fat percentage and phase angle were obtained using an eight-electrode standing BIA. Physical fitness was assessed muscle strength (handgrip strength and sit up), muscle power (standing long jump), agility (repetitive lateral jump), flexibility (long sitting trunk flexion), and aerobic capacity (20 m shuttle run).

Results: Phase angle was significantly correlated with BMI, SMI and fat mass (BMI, SMI: $p < 0.001$, fat mass: $p < 0.01$). Furthermore, phase angle was significantly correlated with handgrip strength, sit up, standing long jump, repetitive lateral jump, and 20 m shuttle run ($p < 0.001$). However, phase angle showed no correlation between body fat percentage and long sitting trunk flexion.

Conclusion: Our results indicate that phase angle reflects skeletal muscle mass, associated with muscle strength, muscle power, agility, and aerobic capacity in young females.

Key words: muscle quality, young females, physical fitness
筋質、若年女性、体力

1. 緒言

我が国は女性のスポーツ実施率の低さに加え、運動不足や極端な痩せに伴う骨粗鬆症や妊娠中・産後の心身の健康課題が顕在化している¹⁾。我々の研究においても、本学学生は一部の体力について全国平均値よりも低値を示した²⁾。また、丹野ら(2016)の報告によれば、痩せた若年女性の多くは、筋量低下によるものである³⁾。さらに、痩せた若年女性が、筋量が少ないことで糖尿病になるリスクが高いことが最近の研究で明らかとなった⁴⁾。これらのことから、高齢者が筋力や筋量不足で発症するサルコペニアを、日本の若年女性が発症する可能性も十分考えられる。したがって、日本人若年女性の現状を十分に考慮した、健康維持・増進に関連するエビデンスを集めることは、急務であろう。

近年、筋量および筋力と同様に、骨格筋の質(筋質)を評価することが注目されている。2018年に報告された国際的なサルコペニア診断基準(EWGOP2)においては、筋量および筋力に加えて、筋質を評価する重要性が示された⁵⁾。筋質の評価には、従来、磁気共鳴画像、コンピュータ断層撮影および超音波診断装置などの高額な医

療機器が用いられてきた。これらに並んで、生体電気インピーダンス(Bioelectrical impedance analysis: 以下、BIA)法によるPhase angleが、筋質の評価指標として近年用いられている。BIA法は経済的にも時間的にも低コスト且つ、非侵襲的、簡易的にPhase angleを測ることができる。したがって、栄養状態の評価や運動効果の可視化、生活習慣病といった疾患に対する予防医療などを主な目的として、医療やスポーツ等の幅広い現場で活用されている。

BIA法を利用して算出されるPhase angleは、細胞膜の抵抗値を直接測定して算出した角度であり、体液過剰の影響を直接受けずに、細胞の健全度や栄養状態を把握することが可能である⁶⁾。Phase angleは筋力と相関関係を示すことや、高齢者においてPhase angleと身体活動量や体力テストとの関連が明らかとなっている^{7,8)}。これらのことから、若年女性においてもPhase angleは各種体力要素と関連があると予想できる。しかしながら、若年女性を対象としてPhase angleと体力の関係について、具体的な見解は明らかとなっていない。

筋力や筋量のみならず、筋質としてPhase angleを測

^{*1}宮城学院女子大学 一般教育部

^{*2}宮城学院女子大学 生活科学部

^{*3}宮城学院女子大学 教育学部

[†]2022年12月20日受付, 2023年2月6日受理

定・評価することで、対象者の日々の生活習慣や栄養状態、運動習慣が数値として反映される。このことは、運動実施率の低い若年女性が運動を実践する動機づけになるだろう。また、Phase angle がどの体力要素と関係するのかを明らかにすることは、エビデンスに基づいた運動処方を検討する上で有益な知見となる。さらに、若年女性の知見を基準とすることで、様々なライフステージで生活する女性に対して応用することもできるであろう。そこで本研究では、若年女性を対象に Phase angle と体力の関係を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

本測定は、本学に所属する学生 766 名を対象として、2022 年 4 月から 5 月にかけて実施された。対象者の身体的特性は、以下の通りである：年齢 18.2 ± 1.3 歳、身長 1.58 ± 0.05 m、体重 52.4 ± 8.9 kg、Body Mass Index (以下、BMI) 21.1 ± 3.2 kg/m² (表 1)。

対象者には、測定および研究の目的、対象者の権利保護、研究以外のデータ不使用、個人情報の保護、辞退した場合に不利益が無いことを口頭および書面で説明し、口頭で研究協力の同意を得ている。また、得られた個人情報については、個人が特定できないように匿名 ID 化し、解析を行った。

2. 身体組成の測定

身体組成の測定には、マルチ周波数 8 電極体組成計 (タニタ、MC780A-N) を用いた。本機器は、生体に微弱な電流を流すことで、電気抵抗値を測定する BIA 装置であり、電流の周波数は、5 kHz、50 kHz、250 kHz の 3 種類である。対象者は、測定時につま先と踵の位置を電極に合わせて裸足で台座に立ち、ハンドグリップを握り、腕を降ろして静止するように指示を受けた (図 1)。体組成計により算出された、四肢骨格筋指数 Skeletal muscle index (以下、SMI)、右半身および左半身の Phase angle を分析に用いた。BIA で測定されるインピーダンスは、レジスタンスとリアクタンスに大きく分けることができる。Phase angle は、これらの抵抗成分の位相差を分析し、細胞膜の抵抗を角度で表す手法である。具体的には、Phase angle は reactance を resistance で割った値であり、以下の式から算出した。

Phase angle (degree)

$$= \text{Arctangent} (\text{reactance/resistance}) \times (180/\pi)$$

なお、Phase angle の算出には、リアクタンスが最も大きく計測される周波数帯域である 50 kHz における reactance と resistance を用いた。また、右半身および左半身の Phase angle の値を平均し、分析を行った。

3. 体力測定

体力評価は、本学大学体育館において、下記の 6 項目について測定を行った。なお、いずれの測定項目においても、令和 2 年度体力・運動能力調査報告書⁹⁾に記載されている方法に基づいて実施した。対象者は、事前にウォーミングアップを行い、各測定を実施する前に、練習を行った。疲労の影響を考慮し、測定の試技間には十分な休息を設け、測定する順番はランダムとした。

3-1. 握力

握力の測定は、上記要項に記載されている方法で実施し、デジタル握力計 (T.K.K.5401、竹井機器工業株式会社) を用いた。対象者は、左右交互に 2 回ずつ、いずれも全力で試技を行った。測定の際、対象者は直立姿勢で



図 1 身体組成の測定風景

表 1 対象者の年齢、身長、体重および BMI

	年齢 (歳)	身長 (m)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)
平均値	18.2	1.58	52.4	21.1
標準偏差	1.3	0.05	8.9	3.2

両足を左右に自然に開き腕を下げ、握力計を身体や衣服に触れないようにした。分析には、左右の各最高値を平均した値を用いた。

3-2. 上体起こし

上体起こしの測定は、上記要項に記載されている方法で実施した。測定の際、対象者はマット上で仰臥位姿勢をとり、両手を軽く握り、両腕を組み、両膝の角度を約90度に保つよう指示を受けた。試技は1回とし、対象者は30秒間でできるだけ多く上体起こしを繰り返した。なお、測定時に対象者同士で二人一組になり、補助者が対象者の両膝を押さえながら、上体起こしの回数を数えた。

3-3. 立ち幅とび

立ち幅とびの測定は、上記要項に記載されている方法で実施した。体育館にマットを敷き、ラインテープを引いて踏み切り線とした。対象者は、両足を軽く開き、つま先が踏み切り線の前端にそろうように立ち、両足で同時に全力へ踏み切って前方へ跳躍を行った。試技は2回とし、分析には最高値を用いた。

3-4. 反復横とび

反復横とびの測定は、上記要項に記載されている方法で実施した。対象者は、1m間隔で引かれた3本のラインの中央に立つよう指示を受けた。また、スタートの合図で左右どちらかのラインを越すか、または踏むまでサイドステップを行い、次に中央ラインにもどり、さらに反対側のラインを越すかまたは触れるまでサイドステップを行った。測定時間は20秒間とし、試技は2回とした。事前に対象者同士で二人一組となり、補助者が回数を記録した。なお、分析には2回の試技のうち最高値を用いた。

3-5. 長座体前屈

長座体前屈の測定は、上記要項に記載されている方法で実施し、デジタル長座体前屈計（T.K.K.5112、竹井機器工業株式会社）を用いた。測定する前に、対象者は両脚を測定器の間に入れ、長座姿勢をとった。その際、壁に背および尻が接触するよう指示を受けた。次に、対象者は肩幅の広さで両手のひらを下にして、手のひらの中央付近が測定器の手前端にかかるように置き、胸を張って両肘を伸ばし、両手で測定器を十分ひきつけ、背筋を伸ばし、初期姿勢をとった。初期姿勢時の測定器の位置を開始地点とし、対象者は両手を測定器から離さずゆっくりと前屈を行った。前屈を行いながら、長座体前屈計を両手で前方へ移動させた。その際、膝が曲がらないよう指示を受けた。初期姿勢時から最大前屈時の移動距離が長座体前屈計上に表示され、その記録を採用した。試

技は2回とし、分析には最高値を用いた。

3-6. 20 m シャトルラン

20 m シャトルランの測定は、上記要項に記載されている方法で実施した。体育館内に20 mの距離をおいて2本の平行線を引き、その線上にコーンをいくつか立てた。本測定には、文部科学省のテストプログラムが録音されたCDを用いて行った。対象者は、スタートから次の電子音までにスタート地点に戻って折返し、20 m 区間の往復走を繰り返し行った。走速度は、時速8.5 kmからスタートし、約1分毎に時速0.5 kmずつ漸増し、対象者が設定された速度で走行できなくなるまで試技を行った。なお、次の電子音までに反対側の20 m ラインに到達できない試行が1回の場合は試技を継続し、2回連続で到達できない場合は、試技を終了させた。事前に対象者同士で二人一組となり、片道20 mの走行を1回として、補助者が対象者の反復総回数を記録した。その値を分析に用いた。

4. 統計解析

測定値は、すべて平均値±標準偏差（SD）で示した。分布の正規性は、Shapiro-Wilk 検定で確認した。Phase angle と各変数の関係性は、Pearson または Spearman の相関係数を用いて検討した。いずれの分析においても、有意水準は $p<0.05$ とした。なお、統計処理にはJASP（Version 0.16.4）を用いた。

III. 結果

各測定項目について、平均値を表2に示した。対象者のSMI、体脂肪量、体脂肪率およびPhase angleの平均値とSDはそれぞれ、 $6.4\pm0.5\text{ kg/m}^2$ 、 $16.1\pm6.4\text{ kg}$ 、 $29.8\pm6.1\%$ 、 5.3 ± 0.5 度であった。また、対象者の握力、上体起こし、立ち幅とび、反復横とび、長座体前屈、20 m シャトルランの平均値とSDはそれぞれ、 $25.0\pm4.3\text{ kg}$ 、 22.2 ± 5.9 回、 $166.7\pm22.0\text{ cm}$ 、 45.9 ± 5.8 回、 $46.2\pm9.9\text{ cm}$ 、 46.1 ± 17.4 回であった。

Phase angle とBMI、SMI、体脂肪量および体脂肪率の関係を図2に示した。Phase angle と、BMI、SMIおよび体脂肪量との間に有意な正の相関関係が認められた（BMI： $r=0.330$ ， $p<0.001$ 、SMI： $r=0.636$ ， $p<0.001$ 、体脂肪量： $r=0.116$ ， $p<0.01$ ）。一方、Phase angle と体脂肪率の間には有意な関係は認められなかった（ $r=0.043$ ， $p=0.234$ ）。

Phase angle と握力、上体起こし、立ち幅とび、反復横とび、長座体前屈および20 m シャトルランの関係を図3に示した。Phase angle と長座体前屈との間に有意な関係は認められず（ $r=0.047$ ， $p=0.191$ ）、それ以外の5つの項目との間には有意な正の相関関係が認められた（握力： $r=0.245$ 、上体起こし： $r=0.314$ 、立ち幅とび： r

表2 各測定項目の平均値一覧

	標本数	平均値	標準偏差
SMI (kg/m ²)	766	6.4	0.5
体脂肪量 (kg)	766	16.1	6.4
体脂肪率 (%)	766	29.8	6.1
Phase Angle (degree)	766	5.3	0.5
握力 (kg)	764	25.0	4.3
上体起こし (回)	766	22.2	5.9
立ち幅とび (cm)	765	166.7	22.0
反復横とび (回)	763	45.9	5.8
長座体前屈 (cm)	766	46.2	9.9
20mシャトルラン (回)	725	46.1	17.4

SMIはSkeletal Muscle Index (四肢骨格筋量の指標) をあらわす。

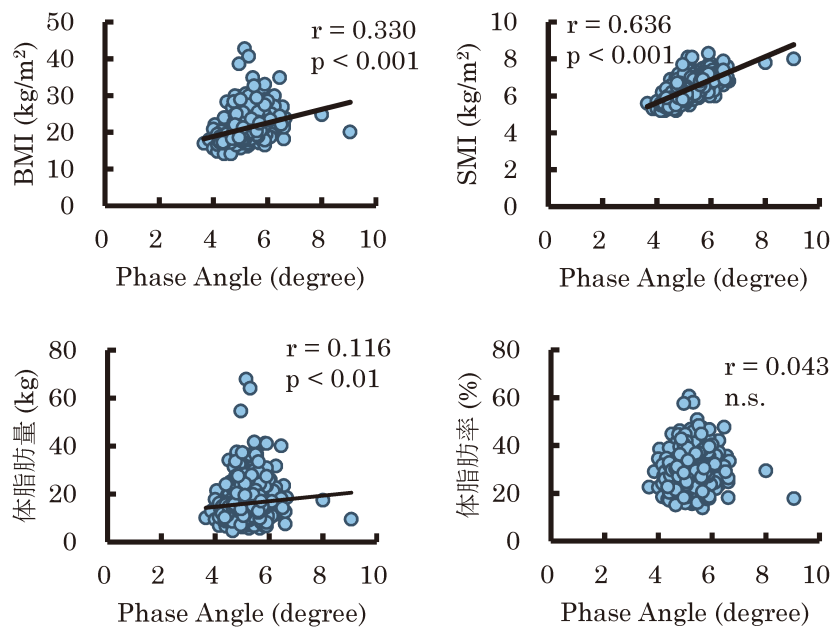


図2 Phase angle と BMI、SMI、体脂肪量および体脂肪率の関係

BMIはBody Mass Index (体格指標)、SMIはSkeletal Muscle Index (四肢骨格筋量の指標) をあらわす。また、グラフ内の n.s. は Not significant (無相関)、黒線は回帰直線である。

=0.322、反復横とび： $r=0.287$ 、20 m シャトルラン： $r=0.286$ 、いずれも $p<0.001$ 。

IV. 考察

本研究では、若年女性を対象に Phase angle が BMI や SMI などの体格と関連することを明らかにした。また、Phase angle が筋力、瞬発力、敏捷性および有酸素能力といった様々な体力要素と関連していることを明らかにした。若年女性における Phase angle と体力の関係について明らかにした研究は、我々の知る限り本研究が初めてである。

Phase angle は性別や年齢による違いが存在する¹⁰⁾。性

別や年齢による体格差は、除脂肪量の違いから、体細胞量を反映していると吉田ら (2019) は述べている⁶⁾。除脂肪量には主に骨、筋、内臓および血液が含まれ、その構成は筋量や骨量が大きく占める。また、体細胞量は骨格筋や内臓といった無脂肪細胞部分の総量を指す。中でも骨格筋量は一般的には加齢によって低下し、性差が大きい。本研究で用いた BIA 法により算出される Phase angle は、四肢骨格筋に含まれる細胞膜の抵抗を表した角度である。したがって、Phase angle は除脂肪量に影響を受けるため、体格差によって異なるといえる。Phase angle は体細胞量と直接的に比例関係にあることから、本研究の結果において BMI や SMI といった体格

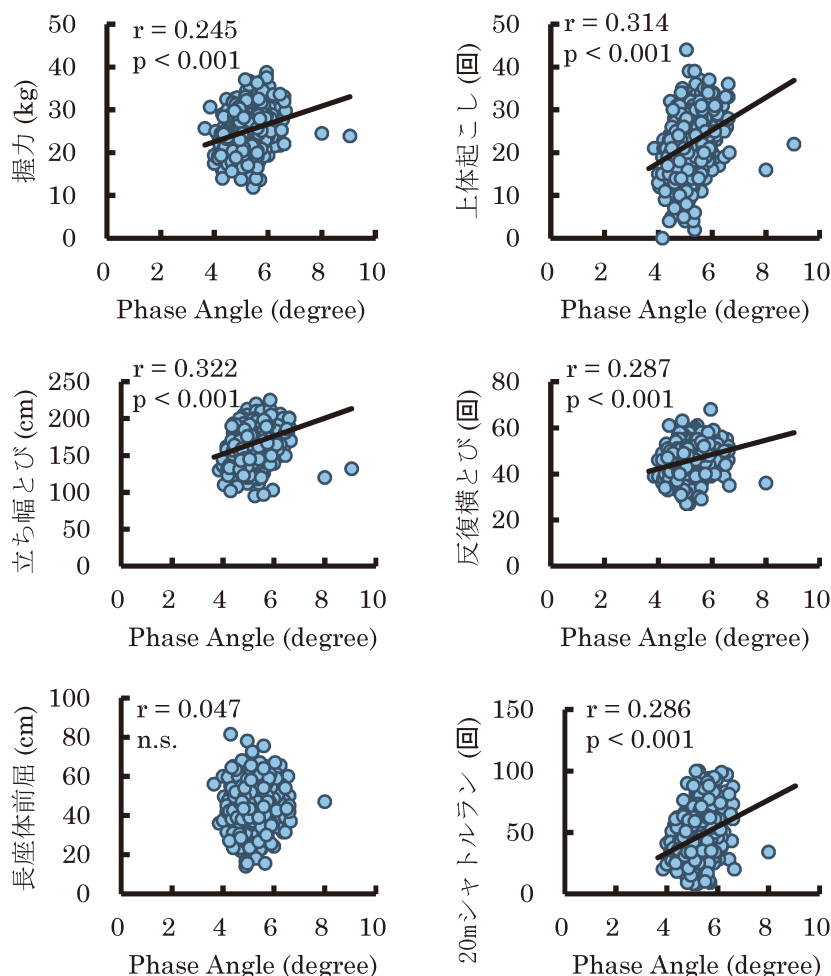


図3 Phase angle と握力、上体起こし、立ち幅とび、反復横とび、長座体前屈および20 m シャトルランの関係
グラフ内の n.s. は Not significant (無相関)、黒線は回帰直線である。

および骨格筋量の指標との間に、有意な関係があったといえる。特に SMI は、四肢の骨格筋量の指標である。したがって、脂肪量を含む BMI と比較して、SMI が Phase angle と正の相関が認められた (表3)。また、体脂肪量が多い者は必然的に筋量も多くなるため、Phase angle と体脂肪量との間に、有意な関係が認められたと考えられる。ただし、その関係性は Phase angle と SMI および BMI との関係と比較すると弱かった (表3)。一方、Phase angle と体脂肪率の間には、有意な関係性はみられなかった。体脂肪率は筋量と脂肪量の構成比となる。つまり、筋量が多く脂肪量が多い者も、筋量が少なく脂肪量が少ない者も、その構成比は大差がなくなる。Phase angle が筋量と強く関係することから、体脂肪率との間には関係性が無いといえる。Phase angle は栄養状態を評価する指標として知られているものの⁶⁾、本研究の結果からは、肥満などのマーカーとして活用することは難しいと考えられる。

Phase angle と各体力測定項目との間には、長座体前屈を除く5つの項目で、有意な正の相関関係が認められ

た ($r=0.245\sim0.322$, いずれも $p<0.001$)。このことから、若年女性において Phase angle は筋力、瞬発力、敏捷性および有酸素能力と関連し、柔軟性とは関連しないことが示唆できる。我々の研究においても、下肢の Phase angle と垂直跳び跳躍高との間に、有意な正の相関関係が認められ、高い Phase angle を有する者は、跳躍高が高値を示した¹¹⁾。また、中高齢者においては、握力や下肢の筋力および瞬発力と Phase angle は相関関係があることが示されている⁷⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。また、Yamada ら (2021) の研究によると、高齢者において Phase angle が有酸素能力と関連していることを明らかにしており、本研究の結果と同様の傾向であった⁸⁾。健康者やアスリートなどの構造的完成度の高い細胞膜をもった正常細胞では、細胞膜が電荷を蓄える優れたコンデンサーとして働き、電流の流れに遅れを生じさせるため、Phase angle が高値を示すことが分かっている⁶⁾。一方、Phase angle が低いことは、筋細胞の萎縮や衰え形状異常もしくは筋細胞膜の完全性低下機能の低下を反映し、高齢者において前向き転倒をする可能性が高いことを示している¹¹⁾。

表3 Phase angle と各変数の相関係数

	相関係数
BMI	0.330 ***
SMI	0.636 ***
体脂肪量	0.116 **
体脂肪率	0.043
握力	0.245 ***
上体起こし	0.314 ***
立ち幅とび	0.322 ***
反復横とび	0.287 ***
長座体前屈	0.047
20mシャトルラン	0.286 ***

*** ... $p < 0.001$ ** ... $p < 0.01$

BMI は Body Mass Index (体格指標)、
SMI は Skeletal Muscle Index (四肢
骨格筋量の指標) をあらわす。

先行研究を踏まえると、本研究の結果から、若年女性において低い Phase angle を有するものは、多くの体力要素で低値を示すため、将来的に健康障害を引き起こす可能性が示唆される。

本研究で用いた Phase angle は、両腕および両脚の値を平均したため、全身の値として用いられている。先行研究では下肢や上肢の Phase angle についても言及しており、部位によって身体機能との関係性が異なることも明らかにされている⁸⁾。今後は全身に加えて部位ごとに Phase angle を分析することで、若年女性における筋質と各種体力要素の関係について、より詳細な特徴が見つかるかもしれない。また、本研究は横断的な研究であるため、若年女性における Phase angle と体力の因果関係は明らかとなっていない。今後は縦断的な調査や、トレーニング等による介入研究を行うことで、Phase angle と体力の関係をより明確にすることが可能となる。筋質を簡易的に評価する Phase angle に関する知見を集めることで、特に低体重な若年女性の筋量・筋力に並ぶ新たなバイオマーカーとして、活用が広がることが期待できるだろう。

V. 結論

本研究では、若年女性における Phase angle と体格および身体機能の関係を検証した。その結果、Phase angle と特に SMI との間に有意な正の相関が認められた。また、Phase angle と握力、上体起こし、立ち幅とび、反復横とびおよび 20 m シャトルランとの間に有意な関係が認められた。これらの結果から、若年女性において、Phase angle は骨格筋量を主に反映することと、筋力、瞬発力、敏捷性および有酸素性能力といった体力要素と関連することが明らかになった。

VI. 謝辞

本研究に協力いただいた学生の皆様、本学スポーツサイエンスラボスポーツ振興専門員水間奈津紀氏および水野有紀氏に感謝申し上げます。本研究はミヤガク体力向上委員会の研究成果の一部である（業績番号3）。

VII. 文献一覧

- 1) 文部科学省 (2022). “第3期スポーツ基本計画, 第3章 今後5年間に総合的かつ計画的に取り組む施策”. P33
- 2) 西田理絵, 渡辺圭佑, 青木拓巳, 丹野久美子, 水間奈津紀, 水野有紀, 田中一裕 (2022). “本学新入生の体力に関する調査報告.” 宮城学院女子大学発達科学研究 22: 6.
- 3) 丹野久美子, 境 道子, 鎌田由香, 佐々木ルリ子, 平本福子 (2016). “女子学生の BMI および身体組成と食物摂取との関連.” 生活環境科学研究所研究報告 48: 19.
- 4) Someya, Y., Y. Tamura, R. Suzuki, H. Kaga, S. Kadowaki, D. Sugimoto, S. Kakehi, T. Funayama, Y. Furukawa, K. Takeno, J. Sato, A. Kanazawa, R. Kawamori and H. Watada (2018). “Characteristics of Glucose Metabolism in Underweight Japanese Women.” J Endocr Soc 2(3): 279.
- 5) Cruz-Jentoft, A. J., G. Bahat, J. Bauer, Y. Boirie, O. Bruyère, T. Cederholm, C. Cooper, F. Landi, Y. Rolland, A. A. Sayer, S. M. Schneider, C. C. Sieber, E. Topinkova, M. Vandewoude, M. Visser, M. Zamboni, Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2 (2019). “Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis.” Age and Ageing 48: 16-31
- 6) 吉田 索, 浅桐公男, 朝川貴博, 田中宏明, 倉八朋宏 (2019). “Phase angle の意義と有用性.” 外科と代謝・栄養 53(4): 7.
- 7) 上村一貴, 山田 実, 佐保賢志, 岡本 啓 (2019). “生体電気インピーダンス法による Phase angle と高齢者の身体活動レベルの関連.” 理学療法学 46(3): 9.
- 8) Yamada, Y., A. Itoi, T. Yoshida, T. Nakagata, K. Yokoyama, H. Fujita, M. Kimura and M. Miyachi (2021). “Association of bioelectrical phase angle with aerobic capacity, complex gait ability and total fitness score in older adults.” Exp Gerontol 150: 111350.
- 9) スポーツ庁 (2021) “令和2年度体力・運動能力調査報告書.”

- 10) Barbosa-Silva, M. C., A. J. Barros, J. Wang, S. B. Heymsfield and R. N. Pierson, Jr. (2005). "Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex." *Am J Clin Nutr* 82(1): 49.
- 11) 渡辺圭佑, 青木拓巳 (2022). "本学女子学生における Phase angle と跳躍高の関係." 宮城学院女子大学研究論文集 (文化学会) 134: 77.
- 12) Wada, O., N. Kurita, M. Yamada and K. Mizuno (2020). "Structural severity, phase angle, and quadriceps strength among patients with knee osteoarthritis: the SPSS-OK study." *Clin Rheumatol* 39(10): 3049.
- 13) Yamada, M., Y. Kimura, D. Ishiyama, N. Nishio, Y. Otobe, T. Tanaka, S. Ohji, S. Koyama, A. Sato, M. Suzuki, H. Ogawa, T. Ichikawa, D. Ito and H. Arai (2019). "Synergistic effect of bodyweight resistance exercise and protein supplementation on skeletal muscle in sarcopenic or dynapenic older adults." *Geriatr Gerontol Int* 19(5): 429.
- 14) Yamada, Y., B. Buehring, D. Krueger, R. M. Anderson, D. A. Schoeller and N. Binkley (2017). "Electrical Properties Assessed by Bioelectrical Impedance Spectroscopy as Biomarkers of Age-related Loss of Skeletal Muscle Quantity and Quality." *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 72 (9): 1180.
- 15) Yoshida, T., Y. Yamada, F. Tanaka, T. Yamagishi, S. Shibata and Y. Kawakami (2018). "Intracellular-to-total water ratio explains the variability of muscle strength dependence on the size of the lower leg in the elderly." *Exp Gerontol* 113: 120.