

<研究ノート>

本学女子学生における Phase angle と跳躍高の関係

渡 辺 圭 佑

青 木 拓 巳

1. 緒言

近年、生体電気インピーダンス (Bioelectrical impedance analysis ; 以下、BIA) 法による体脂肪率や骨格筋量といった体組成の評価が、さまざまな分野で普及している。丹野ら (2016) の研究では、BIA 法を用いて女子学生の身体組成と食物摂取の関連を検証した。また、我々は本学学生を対象とした体力測定において、BIA 法による体脂肪率の測定を行なっている (西田ら 2022)。このように、BIA 法による体組成の測定は、非侵襲的で簡便かつ安価であることから、栄養状態の評価、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現場において用いられている。

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る。身長や体重だけでなく、体液過剰の影響を直接受けにくいことが利点としてあげられている (吉田ら 2019)。Phase angle は、細胞の健全度や全体的な栄養状態を反映することから、各種疾患の予後予測因子や栄養指標になることが、先行研究によって示唆された (吉田ら 2019)。また、高齢者を対象とした研究では、一日あたりの平均歩数および身体活動レベルと Phase angle との間に関連性が見られ、身体活動レベルが高いほど、Phase angle が大きいことが示唆された (上村ら 2019)。これらの先行研究では、Phase angle が栄養や運動習慣を反映する指標として用いられている。それに加え、Phase angle がスポーツにおけるパフォーマンスやトレーニング効果を反映する可能性も考えられている。Marra ら (2009) の先行研究では、低体重なバレエダンサー群と正常体重群を比較した結果、バレエダンサー群が高値を示し、有意差が認められた。これは、バレエダンサーはトレーニングによる骨格筋の増加、すなわち体細胞量の増加を反映していると示唆されている (Marra 2009)。同様に、青年期の柔道アスリート選手においては、利き足の筋力と Phase angle の間に、有意な関係が認められている (Mala et al., 2017)。これらのことから、Phase angle は身体活動のパフォーマンスと関連があることが予想できる。日頃の運動習慣や筋量が Phase angle の数値に影響を及ぼすことから、特に筋力や筋パワーの大きさと Phase angle の関連性が示唆される。そこで我々は、

Phase angle が大きいものほど、下肢の筋パワーが大きいという仮説を立てた。本研究では、本学学生を対象として、Phase angle と垂直跳びの跳躍高の関係を検証することを目的とした。

2. 方法

2-1. 対象者

本測定は本学教育学部に所属する学生 9 名を対象として、2021 年 12 月に実施された。対象者には測定及び研究の目的と内容を口頭と書面で説明し、測定開始前に口頭で研究協力の同意を得ている。対象者の身体的特性は、以下の通りである：年齢 19.8 ± 0.7 歳、身長 1.62 ± 0.07 m、体重 53.4 ± 3.6 kg、Body Mass Index 20.5 ± 2.0 kg/m² (表 1)。なお、本研究にあたり、宮城学院女子大学研究倫理委員会の承認を得た (承認番号：第 2021-7 号)。

表 1 対象者の身体的特徴

	年齢 (歳)	身長 (m)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)
平均値	19.8	1.62	53.4	20.5
標準偏差	0.7	0.07	3.6	2.0

BMI: Body Mass Index

2-2. Phase angle の測定

Phase angle の測定には、マルチ周波数 8 電極体組成計 (タニタ、MC780A) を用いた。対象者は、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された (図 1)。Phase angle は以下の式から算出した (Yamada, 2019)。

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

なお、Phase angle の算出には、50 kHz における reactance と resistance を用いた。また、先行研究に基づき、体組成計により算出された、下肢の Phase angle を分析に用いた (Yamada ら 2021)。

2-3. 垂直跳びの測定

対象者はデジタル垂直とび測定器 (竹井機器、ジャンプ-MD、T.K.K.5406) を腰に装着し (図 2)、以下の 3 種類の垂直跳びを、それぞれ 3 回ずつ最大努力で行った。

- ・ Counter Movement Jump with Arm swing (以下、CMJ-A)：両腕のスイングと下肢の反動を用いた垂直跳び

- Counter Movement Jump (以下、CMJ)：両手を腰に当てて直立した状態から、下肢の反動を用いた垂直跳び
- Squat Jump (以下、SJ)：両手を腰に当て、股関節と膝関節が約90度になるまで屈み込み、下肢の反動を用いない垂直跳び

対象者は、事前にウォーミングアップを行い、各種垂直跳びの練習を行った。疲労の影響を考慮し、試技間には十分な休息を設け、試技の順番はランダムとした。跳躍高は、垂直跳びにおける最高到達時の高さから、立位時の高さを差し引いて求めた。本研究では、各垂直跳びにおいて最大値を記録として用いた。



図1 BIA法によるPhase angleの測定風景

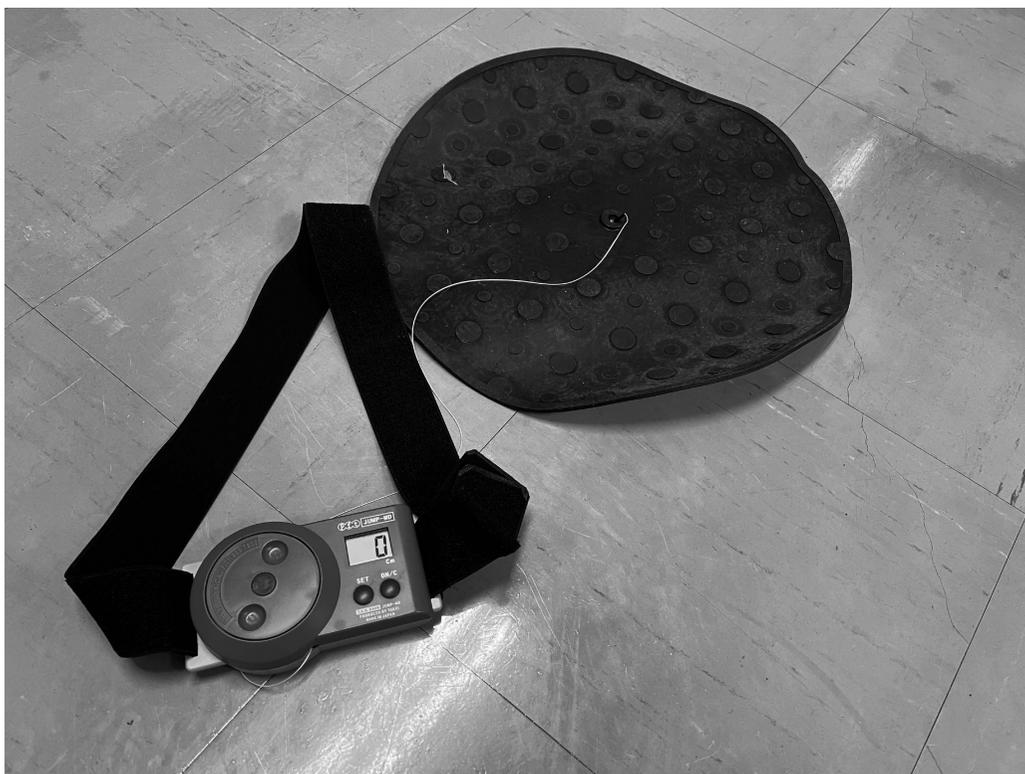


図2 デジタル垂直とび測定器

3. 統計的検定

測定値は、すべて平均値±標準偏差 (SD) で示した。平均値の検定には、一元配置分散分析を用いた。また、Phase angle と垂直跳びの跳躍高の関係性を、Spearman の順位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) を用いた。

4. 結果

各垂直跳びの跳躍高平均値を表 2 に示した。跳躍高の平均値は、それぞれ CMJ-A は 45.8 ± 2.3 cm、CMJ は 37.0 ± 3.4 cm、SJ は 35.0 ± 3.5 cm であった。CMJ-A と CMJ の平均値の間には有意な差が認められ、CMJ-A が高い値を示した ($p < 0.01$)。また、CMJ-A と SJ の平均値の間には有意な差が認められ、CMJ-A が高い値を示した ($p < 0.01$)。一方、CMJ および

表2 各垂直跳びにおける跳躍高の平均値

	CMJ-A	CMJ	SJ
平均値 (cm)	45.8 ^{#b}	37.0	35.0
標準偏差	2.3	3.4	3.5

#…CMJ-A vs CMJ 有意差あり p<0.01
b…CMJ-A vs SJ 有意差あり p<0.01

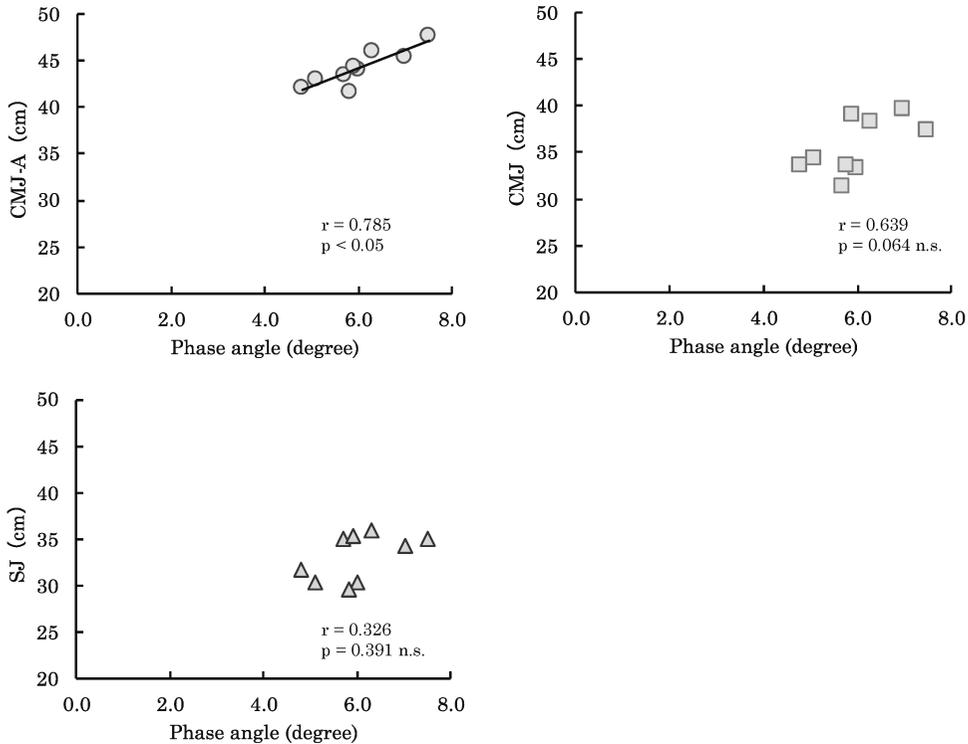


図3 Phase Angleと跳躍高の関係

CMJ-A: Counter Movement Jump with Arm swing (両腕のスイングと下肢の反動を用いた垂直跳び)

CMJ: Counter Movement Jump (両手を腰に当て、下肢の反動を用いた垂直跳び)

SJ: Squat Jump (両手を腰に当て、下肢の反動を用いない垂直跳び)

SJの跳躍高との間には、有意な差が認められなかった。また、Phase angleの平均値は、 6.0 ± 0.9 degreeであった。

Phase angleと各垂直跳びにおける跳躍高の関係を図3に示した。Phase angleは、CMJ-Aの跳躍高との間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.785$, $p < 0.05$)。一方、Phase angleとCMJおよびSJの跳躍高との間には、それぞれ有意な関係は認められなかった (CMJ: $r=0.639$, $p=0.064$, SJ: $r=0.326$, $p=0.391$)。

5. 考察

本研究では、本学女子学生を対象に下肢の Phase angle と垂直跳びの跳躍高の関係を検討した。その結果、Phase angle は CMJ-A の跳躍高との間に有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.785, p < 0.05$)。一方、Phase angle と CMJ および SJ の跳躍高の間には、有意な関係は認められなかった。しかしながら、Phase angle と CMJ の間には、有意では無いものの、正の相関関係の傾向があることが示された ($r = 0.639, p = 0.064$)。つまり、Phase angle が大きい者ほど、下肢筋パワーが高いことを示唆しており、本研究の仮説と一致したといえる。

Phase angle は、一般成人と比較してアスリートのほうが大きいことが先行研究で示されている (Carrasco et al., 2017)。また、上村ら (2019) の研究では、高齢者において Phase angle と一日あたりの平均歩数および身体活動レベルの関係を検証した結果、身体活動レベルが高いほど Phase angle が大きいことが示唆された。他の高齢者を対象とした研究では、下肢の Phase angle が多面的な体力テストの結果とより強い関係性を示したことを報告している (Yamada ら 2021)。これらのことから、普段の運動習慣やトレーニングが Phase angle に影響を及ぼすこと、特に下肢の Phase angle において、その傾向が強いことが予想できる。Phase angle の測定原理として、細胞膜の脂質や膜タンパク質密度が高くなると Phase angle が高くなり、細胞膜の脂質や膜タンパク質の密度が低くなると、Phase angle が低くなると、吉田ら (2019) によって説明されている。この原理から、健常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、Phase angle は高く計測され、老化やがんなどの細胞膜の構造的損傷や細胞密度の低下した障害細胞では、Phase angle が低く計測される (吉田ら 2019)。前述した細胞膜をもった正常細胞は、筋線維の割合が大きい状態にある。細胞内における筋線維の割合が大きいことは、筋力や筋パワーの出力を大きくすることからも、Phase angle が跳躍高と関係があることを説明できるであろう。中高年の男女においては、Phase angle と垂直跳びにおける筋パワー発揮の間に、正の相関関係がある (Yamada ら 2017)。この先行研究の結果に加え、本研究では若年女性においても Phase angle と垂直跳びにおける筋パワーと間に、同様の関係があることが示唆された。しかしながら、本研究では対象者数が 9 名だったこともあり、両者の関係を示すには課題が残る。今後は対象者数を増やすとともに、対象者のパフォーマンスの幅を広げること、運動習慣や競技歴でカテゴリーを分けて比較することで、Phase angle と下肢パワーの関連性をより明確にすることが課題となる。

本研究では、Phase angle が CMJ-A の跳躍高との間には有意な関係が認められたにも関わらず、CMJ と SJ の跳躍高との間には有意な関係は認められなかった。CMJ では、対象者が腕を腰に当てて跳躍するため、CMJ-A と比較して腕の振り込み動作による反動効果が除かれ

る。またSJでは、対象者が腕を腰に当てて膝関節と股関節を屈曲させた状態から跳躍するため、CMJ-Aと比較して腕の振り込み動作に加えて下肢の反動効果も除かれる。したがって、CMJとSJは、CMJ-Aと比較して下肢の筋パワーをより純粹に評価するといえる。一般的に、CMJとSJは主にフィールドテストで実施されているが、その殆どがアスリートを対象としたものである。本研究の対象者は、いずれも一般女子学生であり、専門的に競技スポーツを行っている者や、日頃からトレーニングを行っている者はいない。CMJやSJのように、特殊な垂直跳びを行った経験は少なく、本来のパフォーマンスを発揮できなかった可能性がある。したがって、これらの垂直跳びにおける試技の精度や再現性については、改善の余地があるといえるであろう。このことは、今後一般女性を対象とした測定を行う際、測定項目の選定をする上で有益な情報である。

本研究において垂直跳びの測定に用いた機器は、跳躍中に伸びた糸を計測することで、跳躍高を算出している。この測定機器は安価かつ携帯性に優れ、簡便に計測できることから、学校現場の体力テストや、フィールドテスト等で日常的に用いられている。一方で、対象者が真上に跳躍できず斜めに跳躍しても糸が伸びるため、跳躍高が過大評価される可能性も考えられる。動作分析による跳躍高の算出方法や、マットスイッチを用いて滞空時間から跳躍高を推定する方法など、今後はより精度の高い方法で跳躍高を分析する必要があるだろう。

6. まとめ

本学女子学生を対象として、下肢のPhase angleと垂直跳びにおける跳躍高の関係を検証した。その結果、Phase angleとCMJ-Aの跳躍高の間に有意な関係が認められた。この結果から、若年女性において、Phase angleは筋パワーを反映する可能性が示唆された。

7. 謝辞

本研究に協力いただいた学生の皆様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2）。

参考文献

- Carrasco-Marginet, M., J. Castizo-Olier, L. Rodríguez-Zamora, X. Iglesias, F. A. Rodríguez, D. Chaverri, D. Brotons and A. Iruetia (2017). "Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) for measuring the hydration status in young elite synchronized swimmers." *PLoS One* 12(6): e0178819.
- Marra, M., A. Caldara, C. Montagnese, E. De Filippo, F. Pasanisi, F. Contaldo and L. Scalfi (2009). "Bioelectrical impedance phase angle in constitutionally lean females, ballet dancers and patients

- with anorexia nervosa." *Eur J Clin Nutr* 63(7): 905-908.
- Norman, K., N. Stobäus, M. Pirlich and A. Bosy-Westphal (2012). "Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis--clinical relevance and applicability of impedance parameters." *Clin Nutr* 31(6): 854-861.
- 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): 429-437.
- 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): 1180-1186.
- 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.
- Yamada, Y., M. Nishizawa, T. Uchiyama, Y. Kasahara, M. Shindo, M. Miyachi and S. Tanaka (2017). "Developing and Validating an Age-Independent Equation Using Multi-Frequency Bioelectrical Impedance Analysis for Estimation of Appendicular Skeletal Muscle Mass and Establishing a Cutoff for Sarcopenia." *Int J Environ Res Public Health* 14(7).
- 上村一樹 (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.
- 丹野久美子, 境道子, 鎌田由香, 佐々木ルリ子 and 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: 6.
- 吉田索, 浅桐公男, 朝川貴博, 田中宏明 and 倉. 朋宏 (2019). "Phase angle の意義と有用性 Significance and utility of Phase angle." *外科と代謝・栄養* 53(4): 7.
- 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 and 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.

Association of Between Bioelectrical Phase Angle and Jump Height in Students at Miyagi Gakuin Women's University

Keisuke WATANABE

Takumi AOKI

Abstract

Purpose: This study examined to the association between phase angle based on bioelectrical impedance analysis

(BIA) and vertical jump height.

Methods: A total of 9 female students from Miyagi Gakuin University participated in this study (age: 19.8 ± 0.67 years, height: 1.62 ± 0.07 m, body weight: 53.4 ± 3.6 kg, Body Mass Index: 20.5 ± 2.0 kg/cm²). Phase angle at the lower leg was obtained using an eight-electrode standing BIA. Jump height was measured using a digital jump meter. The subject wore a digital jump meter and performed three different vertical jumps (CMJ-A, CMJ and SJ), three times each at maximum effort. Of the three jumps, the one with the maximum value was used in the analysis.

Results: The mean jump heights were 45.8 ± 2.28 cm, 37.0 ± 3.39 cm, and 33.0 ± 3.54 cm for CMJ-A, CMJ, and SJ, respectively. Phase angle showed a significant positive correlation with CMJ-A jump height ($r = 0.785$, $p < 0.05$). On the other hand, no significant relationship was found between phase angle and CMJ and SJ jump height nor phase angle and SJ jump height (CMJ: $r = 0.639$, SJ: $r = 0.326$).

Conclusion: Our results indicate that phase angle is associated with muscle power in young women.

Key word: Phase angle, jump height, muscle power, young women