

Research Paper



Prediction of Gymnastics Back Salto Biomechanics by Anthropometric Characteristics

Mohammad Javad Tahan¹ , *Shahrzad Zandi¹ , Seyed Hamed Mousavi¹

1. Department of Sport Injuries and Biomechanics, Faculty of Sports and Health Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online



Citation: Tahan MJ, Zandi S, Mousavi SH. Prediction of Gymnastics Back Salto Biomechanics by Anthropometric Characteristics. (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(2):114-130. <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.2.114>

<https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.2.114>



Article Info:

Received: 10 May 2025

Accepted: 24 May 2025

Available Online: 24 May 2025

Keywords:

Anthropometry, Back salto, Gymnastics, Biomechanics

ABSTRACT

Objective Jumping performance is a critical skill in gymnastics, and previous research has highlighted the role of anthropometric characteristics in jump ability, particularly for talent identification. This study aimed to examine the predictive relationships between anthropometric features and key biomechanical variables during the execution of a gymnastics back salto.

Methods Sixty-eight elite male gymnasts (mean age: 20.60 ± 2.51 years) performed a back salto. Anthropometric variables—including lower limb length, foot length, sitting height-to-height ratio, thigh circumference, and calf circumference—were measured. The back salto performance was recorded using a Redmi Note 8T camera at 240 frames per second. Biomechanical variables analyzed included jump height, vertical take-off speed, flight time, hip joint angular velocity, and knee joint angular velocity, assessed using Kinovea software. Linear regression analysis was conducted to predict biomechanical outcomes based on anthropometric factors (SPSS v27, $\alpha = 0.05$).

Results Lower limb length (negative association) and foot length (positive association) significantly predicted jump height ($R^2 = 0.256$, $p = 0.001$) and flight time ($R^2 = 0.317$, $p = 0.001$). Foot length also significantly predicted vertical take-off speed ($R^2 = 0.147$, $p = 0.001$). However, none of the anthropometric variables significantly predicted hip or knee joint angular velocity.

Conclusion The findings suggest that specific anthropometric characteristics—particularly lower limb and foot length—may serve as useful indicators for talent identification and selection of athletes with potential in performing the back salto. Moreover, designing tailored training programs based on athletes' anthropometric profiles may enhance jump performance and help prevent sport-related injuries.

* Corresponding Author:

Shahrzad Zandi

Address: Department of Sport Injuries and Biomechanics, Faculty of Sports and Health Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 61118897

E-mail: shzandi@ut.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Humans have long sought to enhance physical capabilities, striving to improve jump height, speed, strength, and technical skill (1). Gymnastics, as a multifaceted sport, promotes the development of balance, strength, flexibility, agility, and coordination (2). Achieving proficiency in gymnastics typically requires rigorous training that often begins in early childhood (3). The back salto is a fundamental acrobatic skill in gymnastics involving coordinated jumping, flight, rotation, and landing (1). Successful execution demands not only proper technique but also adequate jump height, joint angular velocity, and flight time (2). These biomechanical elements are essential for both performance effectiveness and injury prevention. Talent identification and athlete development programs play a pivotal role in gymnastics success, enabling the early recognition of potential and alignment of athletes' physical attributes with the specific demands of the sport (4). Such programs help guide children toward sports suited to their developmental stage and physical readiness (5).

Kinematic studies have shown that jump height significantly influences back salto performance (1), while appropriate angular velocities at the hip and knee joints support controlled rotation and safe landings (6). Achieving sufficient jump height depends on vertical take-off velocity, which results from effective ground force application (7), and extended flight time facilitates optimal rotation and landing control (2). Research in sports science underscores the importance of morphological and anthropometric characteristics in determining athletic performance (8). These traits are often sport-specific and are frequently used as indicators in talent identification programs. Anthropometric variables commonly associated with jumping performance include the sitting height-to-height ratio, lower limb length, thigh and calf circumference, foot length, height, and body mass (3,9). Prior studies suggest that a lower sitting height-to-height ratio and longer lower limbs are advantageous for jumping tasks (7), while increased thigh and calf muscle girth contributes to enhanced vertical jump capacity (10). Although the relationship between anthropometric factors and jump performance has been explored in various sports, limited research has examined their influence on the unique biomechanical demands of the gymnastics back salto—a movement characterized by its complex rotational component. Therefore, the aim of this study is to predict jump height, vertical take-off speed, flight time, and angular velocity of the hip and knee joints during the back salto based on selected anthropometric variables, using two-dimensional kinematic analysis.

2. Methods

Sixty-eight elite male gymnasts aged 17 to 26 years, each with more than three years of national-level experience, participated in this study. Individuals with skeletal abnormalities or those experiencing pain during testing were excluded. Written informed consent was obtained from all participants before data collection commenced. Anthropometric measurements were conducted using a standard anthropometer. Standing height was measured using a wall-mounted tape measure, while sitting height was recorded from the seated base to the top of the head. Lower limb length was measured in the supine position from the greater trochanter to the lateral malleolus. Thigh and calf circumferences were taken while participants stood upright with weight evenly distributed. To ensure accuracy, each circumference was compared with measurements taken slightly above and below the initial location, following standard procedures (13). Participants were asked to perform a back salto on a marked take-off area following a start signal. This movement involved a vertical jump, backward rotation around the frontal axis, and a controlled landing. A qualified gymnastics coach supervised all performances. Each participant completed three trials with adequate rest between attempts. The best attempt, determined based on performance quality and jump height, was selected for analysis. For consistency, gymnasts were instructed to land as close as possible to a calibration tape placed on the ground. The movement was captured from the sagittal plane using a Redmi Note 8T camera with a resolution of 720p and a frame rate of 240 frames per second. The camera was placed 3 meters from the take-off point at a height of 1.40 meters. Four reflective markers (3×3 cm²) were attached to the lateral malleolus, greater trochanter, lateral epicondyle of the knee, and greater tuberosity of the shoulder (13). A one-meter calibration tape was also visible in the camera frame to facilitate scaling. Two-dimensional kinematic analysis was conducted using Kinovea software. Jump height was calculated

as the vertical displacement of the greater trochanter marker from take-off to the peak of the jump. Flight time was determined from take-off to landing of the same marker. Initial vertical velocity was estimated based on vertical displacement, assuming zero velocity at the jump's apex. Angular velocities of the hip and knee joints were computed from the trajectories of their respective markers during the movement (Fig. 1). Statistical analysis was conducted using SPSS version 27. The normality of the data was assessed using the Shapiro–Wilk test. Stepwise linear regression was used to evaluate the ability of anthropometric variables to predict biomechanical outcomes. Statistical significance was set at an alpha level of 0.05.

3. Results

To establish valid regression models, key statistical assumptions were examined. The normality of data distribution was confirmed using the Shapiro–Wilk test. Multicollinearity among predictor variables was assessed via the Variance Inflation Factor (VIF), and low VIF values indicated minimal multicollinearity. Predictor variables were entered into the regression model based on their Pearson correlation coefficients (14). The Durbin–Watson test confirmed the absence of autocorrelation among residuals. To improve the accuracy of the jump height model, one outlier (standardized residual = 3.020), exceeding ± 3 standard deviations, was identified and excluded from the analysis. Pearson correlation analysis revealed significant relationships between jump height, vertical take-off speed, and flight time with at least one anthropometric predictor. However, no significant correlations were observed between any anthropometric variable and hip or knee angular velocities. Therefore, regression modeling was conducted only for jump height, vertical speed, and flight time.

For jump height prediction, thigh circumference was the first variable to enter the model, explaining 9.8% of the variance. The subsequent inclusion of lower limb length and foot length increased the explained variance to 16.3% and 29.8%, respectively. A fourth variable was excluded from the final model due to loss of significance ($p = 0.057$). Ultimately, lower limb length and foot length remained in the final model, jointly explaining 25.6% of the variance in jump height ($R = 0.506$; $R^2 = 0.256$; $p = 0.001$). The regression equation indicated that each 1 cm increase in lower limb length was associated with a 2.065 cm decrease in jump height, whereas each 1 cm increase in foot length corresponded to a 5.861 cm increase in jump height (Table 1).

Regarding vertical take-off speed, foot length emerged as the sole significant predictor, accounting for 14.7% of the variance ($R = 0.384$; $R^2 = 0.147$; $p = 0.001$). The model suggested that each 1 cm increase in foot length led to a 0.116 m/s increase in vertical speed. For flight time, lower limb length entered the model first, explaining 12.6% of the variance. Adding foot length improved the model, raising the total explained variance to 31.7% ($R = 0.563$; $R^2 = 0.317$; $p = 0.001$). According to the regression equation, each 1 cm increase in lower limb length reduced flight time by 0.007553 seconds, while each 1 cm increase in foot length increased flight time by 0.017996 seconds.

4. Conclusion

This study investigated the relationship between selected anthropometric characteristics and biomechanical performance during the execution of the gymnastics back salto. The key findings revealed that both lower limb length and foot length significantly predicted jump height and flight time, while foot length alone was also a significant predictor of vertical take-off speed. The negative correlation observed between lower limb length and both jump height and flight time suggests that gymnasts with shorter legs may achieve greater elevation and remain airborne for longer durations. This could be attributed to more favorable leverage, greater force production over a shorter range of motion, or a more advantageous strength-to-weight ratio. These results contrast with findings from other sports, where longer lower limbs are often associated with improved jumping ability—likely because such movements typically lack the rotational complexity inherent in skills like the back salto (15–19). In contrast, foot length exhibited a positive correlation with jump height, vertical speed, and flight time. This indicates that a longer foot may contribute to more effective force application during takeoff, potentially due to a larger contact area with the ground. This finding aligns with previous research emphasizing the mechanical role of foot structure in generating propulsive force (20, 21).



Fig. 1. The back salto performance (left to right)

Table 1. Results of the regression model coefficients for predicting criterions

criterion	predictor		B	Beta	t	P	95% confidence interval for B	
	enter	exit					min	max
Jump Height	Constant		88.846	-	1.852	0.069	-7.004	184.695
	Lower Limb Length		-2.065	-	-	0.001 *	-3.179	-0.952
	Foot Length		5.861	0.426	3.706			
		Thigh circumference	0.211	-	1.937	0.001 *	2.920	8.801
						0.057	-	-
Jump Speed	Constant		0.781	-	0.873	0.386	-1.005	2.567
	Foot Length		0.116	0.384	3.349	0.001 *	0.047	0.185
Flight Time	Constant		788.962	-	5.683	0.001 *	511.607	1066.316
	Lower Limb Length		-7.553	-	-	0.001 *	-10.774	-4.332
	Foot Length		17.996	0.516	4.684			
				4.259	4.225	0.001 *	9.487	26.505

No significant relationships were found between anthropometric variables and angular velocities at the hip and knee joints. This suggests that joint rotational velocity during the back salto may be more strongly influenced by other factors, such as muscular strength, neuromuscular coordination, or technical proficiency—none of which were directly assessed in this study. The practical implications of these findings are relevant to both talent identification and training program development in gymnastics. Coaches may consider foot and lower limb lengths as potential indicators of jumping ability when evaluating young athletes. However, it is essential to interpret anthropometric characteristics as just one component of a gymnast's overall performance profile. Other critical factors—including strength, coordination, flexibility, and technical skill—must also be considered for a comprehensive assessment and optimal athlete development.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this article (ETHIC-202401-1149).

Funding

This research was extracted from the MSc. Thesis of the first author and did not receive any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest associated with this article.

مقاله پژوهشی

تأثیر برخی ویژگی‌های آنتروپومتریک بر پیش‌بینی بیومکانیک پرش واروی ژیمناستیک

محمدجواد طحان^۱، شهرزاد زندی^۱، سید حامد موسوی^۱

۱. گروه آسیب‌شناسی و بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

**Citation:** Tahan MJ, Zandi S, Mousavi SH. Prediction of Gymnastics Back Salto Biomechanics by Anthropometric Characteristics. (Persian). Journal of Sport Biomechanics. 2025;11(2):114-130. <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.2.114> <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.2.114>

چکیده

هدف عملکرد پرش از جمله مهارت‌های کلیدی در ژیمناستیک است. تحقیقات پیشین ویژگی‌های آنتروپومتریک و عملکرد پرش را، به‌عنوان عامل اساسی در استعدادیابی بررسی کرده‌اند. این مطالعه با هدف تعیین روابط پیش‌بینی‌کننده بین ویژگی‌های آنتروپومتریک و متغیرهای کلیدی بیومکانیکی در حرکت وارو ژیمناستیک انجام شد.

روش‌ها تعداد ۶۸ ژیمناست مرد نخبه (میانگین سنی $20/60 \pm 2/51$ سال) حرکت وارو را اجرا کردند. فاکتورهای آنتروپومتریک (طول اندام تحتانی، طول پا، نسبت ارتفاع نشسته به قد، محیط ران و ساق پا) اندازه‌گیری شدند. حرکت وارو با استفاده از دوربین Redmi Note 8T (۲۴۰ فریم بر ثانیه) ضبط شد. متغیرهای بیومکانیکی (ارتفاع پرش، سرعت عمودی پرش، زمان پرواز و سرعت زاویه‌ای مفاصل ران و زانو) با استفاده از نرم‌افزار Kinovea تجزیه و تحلیل شدند. از رگرسیون خطی برای پیش‌بینی متغیرهای بیومکانیکی توسط متغیرهای آنتروپومتریک استفاده شد ($\alpha = 0/05$, SPSS ۲۷).

یافته‌ها طول اندام تحتانی (رابطه معکوس) و طول پا (رابطه مستقیم) به‌طور معنی‌داری ارتفاع پرش ($r^2=0/256$, $p=0/001$) و مدت زمان پرواز ($r^2=0/317$, $p=0/001$) را پیش‌بینی کردند. طول پا همچنین سرعت عمودی پرش را پیش‌بینی کرد ($r^2=0/147$, $p=0/001$)؛ اما ویژگی‌های آنتروپومتریک نتوانستند به‌طور معنی‌داری سرعت زاویه‌ای مفصل ران یا زانو را پیش‌بینی کنند.

نتیجه‌گیری با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود که مربیان و برنامه‌ریزان ورزش ژیمناستیک از متغیرهای آنتروپومتري، به‌ویژه طول اندام تحتانی و طول کف پا، به‌عنوان شاخص‌های مؤثر در استعدادیابی و انتخاب ورزشکاران مستعد در اجرای حرکت وارو بهره ببرند. همچنین، طراحی تمرینات تخصصی با هدف بهبود عملکرد پرش بر اساس ویژگی‌های آنتروپومتريکی ورزشکاران می‌تواند به ارتقای سطح عملکرد و پیشگیری از آسیب‌های ورزشی کمک کند.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۳ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۳ خرداد ۱۴۰۴

کلید واژه‌ها:

پیکرسنجی، وارو، ژیمناستیک، بیومکانیک

*نویسنده مسئول:

شهرزاد زندی

آدرس: گروه آسیب‌شناسی و بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تلفن: ۶۱۱۸۸۲۷ (۲۱) ۰۹۸+

ایمیل: shzandi@ut.ac.ir

مقدمه

از دیرباز، انسان همواره در پی بهبود ویژگی‌های جسمانی و توانایی‌های خود بوده است. نشان دادن قدرت و مهارت از طریق حرکاتی مانند پرش بلند، دویدن سریع، پرتاب‌های قدرتمند و اجرای حرکات پیچیده، از آرزوهای همیشگی بشر بوده و او برای رسیدن به این اهداف تلاش کرده است (۱). ژیمناستیک ورزشی است که تعادل، قدرت، انعطاف‌پذیری، چابکی و هماهنگی عصبی-عضلانی را تقویت می‌کند (۲). مطالعات نشان می‌دهند که موفقیت در این رشته نیازمند سال‌ها تمرین مستمر است که معمولاً از ۶ سالگی آغاز شده و تا دوران نوجوانی ادامه می‌یابد؛ همچنین تجربه در اجرای مهارت‌های ژیمناستیک نقش کلیدی دارد (۳). پشته‌سازی، شرط ضروری برای موفقیت پایدار در رقابت‌های بین‌المللی است طبیعی و این امر تنها با استعدادیابی علمی محقق می‌شود. استعدادیابی ورزشی فرایند شناسایی توانایی‌های بالقوه‌ی ورزشکاران و تطابق آن‌ها با معیارهای کلیدی هر رشته‌ی ورزشی است (۴). در این فرآیند، کودکان به سمت ورزش‌هایی هدایت می‌شوند که در آن‌ها امکان موفقیت بیشتری دارند. برای این منظور، ارزیابی دقیق پارامترهای نشان‌دهنده‌ی سطح توانایی و ظرفیت کودک ضروری است و برنامه‌ریزی باید بر اساس سطح رشد و آمادگی او انجام شود (۵).

یکی از مهارت‌های پایه در این رشته که در تمامی حرکات ژیمناستیک کاربرد دارد، حرکت وارو است. اجرای صحیح این حرکت به چهار مرحله کلیدی پرش، پرواز، چرخش و فرود وابسته است (۱). ژیمناست باید با افزایش ارتفاع پرش، تنظیم سرعت زاویه‌ای مفاصل و کنترل زمان پرواز، این تکنیک را به درستی اجرا کند (۲). تحلیل‌های کینماتیک نشان می‌دهد پرش با ارتفاع زیاد نقش تعیین‌کننده‌ای در اجرای موفق حرکت وارو دارد (۱). همچنین، سرعت زاویه‌ای بهینه هنگام خم و باز شدن مفاصل در حین چرخش حول محور جانبی بدن، به فرود ایمن و دقیق کمک می‌کند (۶). برای دستیابی به ارتفاع مطلوب در پرش، لازم است سرعت عمودی کافی از طریق اعمال نیروی مناسب به زمین ایجاد شود (۷). زمان پرواز طولانی‌تر نیز به ژیمناست امکان می‌دهد تا چرخش را با دقت بیشتری اجرا کند و موقعیت فرود را به درستی تنظیم نماید (۲).

مطالعات علوم ورزشی نشان می‌دهند که ویژگی‌های ریخت‌شناسی خاص، شانس موفقیت ورزشکاران را افزایش می‌دهند (۸). این ویژگی‌ها برای هر رشته ورزشی اختصاصی هستند و معیارهای مرجعی را تشکیل می‌دهند که برای استعدادیابی موفق ضروری می‌باشند (۹). همچنین مشخصات آنترپومتریکی بهینه ورزشکاران بسته به موقعیت، نقش یا دسته‌بندی در رشته ورزشی متفاوت است (۸). به عنوان مثال دودا و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند ویژگی‌های آنترپومتریکی ورزشکاران ریتمیک ژیمناستیک تا ۴۵ درصد واریانس رنکینگ بین‌المللی آن‌ها تعریف می‌کنند (۱۰). تاکنون پژوهش‌های متعددی درباره سنجش‌های آنترپومتریکی ورزشکاران در مهارت‌های مبتنی بر پرش انجام شده است (۱۱). در این تحقیقات، پارامترهایی مانند نسبت قد نشسته به قد، طول اندام تحتانی، محیط ران و ساق، طول کف پا، قد و وزن مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۳). یافته‌ها نشان می‌دهند که نسبت پایین قد نشسته به قد و طول بیشتر اندام تحتانی با عملکرد بهتر در پرش ارتباط دارند (۷). همچنین، حجم عضلانی مناسب در ناحیه ران و ساق پا بر کیفیت پرش عمودی تأثیرگذار است (۱۲).

1. Back salto
2. Douda et al.

حرکت وارو یکی از مهارت‌های بنیادی و پرکاربرد در ژیمناستیک هنری است. اجرای صحیح و بهینه این حرکت نقش مهمی در موفقیت ورزشکاران و پیشگیری از آسیب‌های ورزشی دارد که با استفاده از تجزیه و تحلیل بیومکانیکی می‌توان اجرای آن را بهبود بخشید (۱۳). آنتروپومتری نیز به عنوان یک روش غیرتهاجمی، کم‌هزینه و سریع، در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است (۱۴). اگرچه تحقیقات زیادی درباره عوامل آنتروپومتریکی مؤثر بر پرش عمودی انجام شده، اما مطالعات خاص درباره بیومکانیک حرکت وارو با ماهیت چرخشی آن محدود است. این در حالی است که حرکت وارو به دلیل پیچیدگی‌های خاص خود نیازمند بررسی مستقل است. درک بهتر عوامل مؤثر بر اجرای وارو می‌تواند به مربیان در استعدادیابی، طراحی تمرینات و پیشگیری از آسیب‌ها کمک کند. پژوهش حاضر با تمرکز بر حرکت وارو در ژیمناستیک هنری، تحلیلی جامع از عوامل مؤثر بر این حرکت ارائه می‌دهد که نیازمند هماهنگی بالاتر و ترکیب حرکات پیچیده‌تری نسبت به پرش ساده است. برخلاف تحقیقات پیشین که عمدتاً بر ارتفاع پرش متمرکز بودند، این مطالعه علاوه بر ارتفاع پرش، تأثیر متغیرهای آنتروپومتریکی بر سرعت عمودی، زمان پرواز و سرعت‌های زاویه‌ای مفاصل لگن و زانو را نیز بررسی می‌کند. این رویکرد جامع‌تر می‌تواند درک بهتری از مکانیک حرکت وارو و کاربردهای عملی آن ایجاد کند با توجه به اهمیت موضوع و کمبود پژوهش‌های جامع در این حوزه، هدف از تحقیق حاضر پیش‌بینی ارتفاع پرش، سرعت عمودی پرش، زمان پرواز، سرعت زاویه‌ای مفاصل لگن و زانو در حرکت واروی ژیمناستیک بر اساس متغیرهای آنتروپومتری (نسبت قد نشسته به قد، طول اندام تحتانی، محیط ران، محیط ساق و طول کف پا) با استفاده از تحلیل دو بعدی حرکت می‌باشد.

روش شناسی

در پژوهش حاضر، به دلیل محدودیت در دسترسی به ژیمناست‌های زن و با توجه به هدف اصلی پژوهش که بررسی ارتباط بین آنتروپومتری و بیومکانیک حرکت وارو در ژیمناست‌ها بود، نمونه‌گیری تنها از بین ژیمناست‌های مرد انجام شد. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power و با در نظر گرفتن مقادیر اندازه اثر (۰/۳۵)، توان آماری (۰/۹۵) و سطح معنی‌داری ($\alpha = ۰/۰۵$) به میزان ۶۳ نفر تعیین شد. با این حال، به منظور جلوگیری از ریزش نمونه و با لحاظ کردن محدودیت دسترسی به ژیمناست‌های نخبه، ۶۸ مرد ژیمناست نخبه با دامنه سنی ۱۷ تا ۲۶ سال حضور داشتند. شرکت‌کنندگان حداقل ۳ سال سابقه فعالیت حرفه‌ای و تمرین مداوم در رشته‌هایی ژیمناستیک تجربه شرکت در مسابقات سطح کشوری را داشتند. وجود ناهنجاری‌های اسکلتی قابل مشاهده و همچنین بروز هرگونه درد و ناراحتی در هنگام اجرای تحقیق از معیارهای خروج از تحقیق بودند. کلیه افراد کاربرگ اطلاعات فردی و فرم رضایت‌نامه را پر کردند. در ابتدا روند اجرای آزمون برای تمام شرکت‌کنندگان به طور کامل شرح داده شد. سپس مشخصات آنتروپومتری هر آزمودنی توسط یک متر آنتروپومتری ثبت شد که شامل (نسبت قد نشسته به قد، طول اندام تحتانی، طول کف پا، محیط ران و محیط ساق) می‌باشد. قد بعد از تکیه دادن آزمودنی به دیوار از قسمت نوک سر تا زمین توسط متر نواری اندازه‌گیری شد. قد نشسته در حالت نشسته از نقطه‌ی نشیمنگاهی تا قسمت نوک سر توسط متر نواری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. طول اندام تحتانی از قسمت برجستگی بزرگ استخوان ران تا قوزک پا به صورت خوابیده توسط متر نواری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری محیط ران و ساق پا آزمودنی‌ها در حالت ایستاده روی هر دو پا به صورتی که وزن به طور مساوی بین دو پا تقسیم شود قرار می‌گرفتند. با استفاده از متر نواری دور قطورترین بخش ساق و ران پا اندازه‌گیری شد. جهت اطمینان بیشتر این مقادیر با مقادیر اندازه‌گیری شده در دو ناحیه کمی بالاتر و پایین‌تر از محل اولیه مقایسه شدند (۱۵).

حرکت وارو با استفاده از دوربین مدل Redmi Note 8T با کیفیت فیلمبرداری ۷۲۰p و نرخ ۲۴۰ فریم بر ثانیه از نمای جانبی فیلمبرداری شد. در این مطالعه از چهار مارکر ($3 \times 3 \text{ cm}^2$) که در محل‌های قوزک خارجی مچ پا، برجستگی بزرگ استخوان ران پا، برجستگی بزرگ مفصل شانه و اپی کندیل خارجی زانو نصب شدند استفاده شد (۱۵). دوربین فیلمبرداری روی پایه دوربین در فاصله ۳ متری از محل اجرای تست در ارتفاع ۱/۴۰ متری به صورت تراز قرار گرفت. تجزیه تحلیل اطلاعات با نرم‌افزار کینوآ به صورت تحلیل دو بعدی انجام شد. جهت کالیبره کردن نرم‌افزار کینوآ از یک نوار شبرنگ با اندازه ۱m استفاده شد که در محل اجرای حرکت قرار گرفت. در زمان اجرا از آزمودنی‌ها خواسته شد دقیقاً روی محل مشخص شده قرار گرفته و پس از اعلام شروع فیلمبرداری، در زمان مناسب با اختیار خود نسبت به شروع حرکت اقدام کنند. در اجرای حرکت سعی بر این بود هر آزمودنی به صورت درجا اجرای حرکت را انجام دهد به صورتی که بتواند تقریباً در همان محل پرواز که توسط نوار کالیبراسیون مشخص بود فرود آید. هر آزمودنی سه مرتبه حرکت را انجام داد و در نهایت بهترین کوشش ثبت شده مورد تجزیه و تحلیل‌های بعدی قرار گرفت. بین هر دو کوشش نیز به آزمودنی استراحت کافی داده شد. جهت کنترل آزمون و جلوگیری از آسیب یک مربی ژیمناستیک با تجربه، دارای مدرک مربی‌گری درجه ۳ هنری فدراسیون ژیمناستیک جمهوری اسلامی در محل اجرای حرکت حضور داشت. اجرای حرکت وارو ژیمناستیک به صورت درجا به این صورت انجام شد که فرد پرشی را به صورت عمودی انجام می‌دهد و پس از آن سعی بر جمع کردن بدن خود و چرخش رو به عقب حول محور فرونتال^۲ را دارد. سپس بعد از انجام یک دور چرخش بدن خود را باز کرده و فرود می‌آید. مراحل کلی اجرای این حرکت در شکل ۱ نمایش داده شده است.

ارتفاع پرش توسط بیشترین جابجایی مارکر برجستگی بزرگ ران از لحظه سکون تا اوج در نرم‌افزار کینوآ مشخص شد. زمان طی شده توسط این مارکر از لحظه پرواز تا لحظه فرود به عنوان زمان پرواز در نظر گرفته شد. همچنین سرعت عمودی اولیه با در دست داشتن جابه‌جایی اندازه‌گیری شده و زمان انجام این جابه‌جایی با علم بر آن که سرعت در انتهای مسیر (نقطه اوج) صفر است توسط نرم‌افزار کینوآ محاسبه شد. در واقع مقدار سرعت در لحظه شروع پرواز که آزمودنی هنوز در حال وارد کردن نیرو به زمین هست و پس از آن از زمین جدا شده و به پرواز در آمده به عنوان سرعت عمودی اولیه در شروع پرواز مشخص شد. سرعت جمع و باز شدن مفصل لگن از لحظه شروع پرواز تا لحظه فرود توسط مارک‌های کندیل خارجی زانو، برجستگی بزرگ استخوان ران و برجستگی بزرگ استخوان شانه و سرعت جمع و باز شدن مفصل زانو از لحظه شروع پرواز تا لحظه فرود توسط مارک‌های قوزک خارجی پا، کندیل خارجی زانو و برجستگی بزرگ استخوان ران در نرم‌افزار کینوآ محاسبه شدند.



شکل ۱. نحوه اجرای آزمون واروی ژیمناستیک از چپ به راست

1. Kinovea
2. Fontal axis

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. همچنین جهت پیش‌بینی متغیرهای ملاک توسط متغیرهای پیش‌بین از آزمون رگرسیون خطی روش گام‌به‌گام استفاده شد. کلیه ارزیابی‌های آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام شده و سطح معنی‌داری آماری در این پژوهش $\alpha = 0.05$ در نظر گرفته شد.

نتایج

نتایج بررسی توصیفی متغیرهای تحقیق در **جدول ۱** ارائه شده است. برای ارائه مدل رگرسیونی مناسب، پیش‌فرض‌های آماری بررسی شدند. پس از تأیید نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک، هم‌خطی بین متغیرهای پیش‌بین با استفاده از فاکتور تورم واریانس (VIF) بررسی شد. با توجه به مقادیر پایین VIF، هم‌خطی بین متغیرها ضعیف ارزیابی شد. سپس با استفاده از ضرایب همبستگی پیرسون، متغیرهای پیش‌بین وارد مدل شدند (۱۶). آزمون دوربین-واتسون نیز عدم همبستگی بین خطاهای مشاهدات را در تمامی متغیرهای ملاک تأیید کرد. همچنین، برای افزایش دقت مدل در پیش‌بینی ارتفاع پرش، یک داده پرت با مقدار باقی‌مانده بیشتر از ± 3 انحراف استاندارد ($Std.R = 3.020$) شناسایی و از تحلیل حذف شد.

نتایج ضریب همبستگی پیرسون (**جدول ۲**) نشان داد بین متغیرهای پیش‌بین شامل طول اندام تحتانی، طول کف پا، نسبت قد نشسته به قد و محیط ران با متغیر ملاک ارتفاع پرش، همبستگی معناداری اما ضعیفی وجود دارد. همچنین بین طول کف پا و سرعت عمودی لحظه شروع پرواز و نیز بین سه متغیر طول اندام تحتانی، طول کف پا و نسبت قد نشسته به قد با زمان پرواز، ارتباط معناداری مشاهده شد؛ اما هیچ‌یک از متغیرهای پیش‌بین با سرعت زاویه‌ای مفاصل لگن و زانو همبستگی معناداری نداشتند؛ بنابراین، مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی ارتفاع پرش، سرعت عمودی و زمان پرواز می‌تواند معتبر باشد. در ادامه برای تحلیل پیش‌بینی، از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد.

جدول ۱. نتایج حاصل از بررسی توصیفی متغیرهای تحقیق

متغیر	میانگین	انحراف استاندارد	کمترین	بیشترین
سن (سال)	۲۰/۶۰	۲/۵۱	۱۷	۲۶
وزن (کیلوگرم)	۶۷/۲۸	۷/۳۶	۴۳	۸۶
قد (سانتی‌متر)	۱۷۲/۸۳	۳/۸۹	۱۶۳	۱۸۰
قد نشسته (سانتی‌متر)	۹۰/۶۳	۲/۸۵	۸۴	۹۷
طول اندام تحتانی (سانتی‌متر)	۸۱/۲۳	۲/۶۳	۷۵	۸۹
طول کف پا (سانتی‌متر)	۲۵/۷۶	۰/۹۹	۲۳/۵	۲۸
نسبت قد نشسته به قد	۰/۵۲	۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۵۴
محیط ران (سانتی‌متر)	۵۳/۸۳	۳/۳۳	۴۳/۵	۶۴
محیط ساق (سانتی‌متر)	۳۵/۳۵	۱/۷۷	۳۱	۳۹
ارتفاع پرش (سانتی‌متر)	۷۲/۱۰	۱۲/۷۷	۴۹/۱۳	۹۷/۲۸
سرعت لحظه شروع پرواز (متر بر ثانیه)	۳/۷۷	۰/۳۰	۳/۰۰۳	۴/۳۸
زمان پرواز (میلی‌ثانیه)	۶۳۹/۳۱	۳۸/۵۷	۵۵۰	۷۱۷
سرعت زاویه‌ای مفصل ران (زاویه بر ثانیه)	۳۳۳/۵۰	۴۰/۲۷	۲۴۵/۰۳	۴۱۲/۷۰۶
سرعت زاویه‌ای مفصل زانو (زاویه بر ثانیه)	۳۷۰/۷۵	۲۶/۵۶	۳۰۹/۶۶۷	۴۳۲/۱۶۱

جدول ۲. بررسی همبستگی بین متغیرهای ملاک و پیش‌بین

متغیر	طول اندام	طول کف پا	نسبت قد	محیط ران	محیط ساق
ارتفاع پرش	-۰/۲۶۸	۰/۳۱۰	۰/۲۴۵	۰/۳۱۴	۰/۱۰۸
ضریب همبستگی	۰/۰۲۹	۰/۰۱۱	۰/۰۴۵	۰/۰۱۰	۰/۳۸۳
سطح معنی‌داری	-۰/۰۰۵	۰/۳۸۴	۰/۱۰۳	۰/۱۱۳	-۰/۰۵۸
سرعت لحظه شروع پرواز	۰/۹۶۵	۰/۰۰۱	۰/۴۰۸	۰/۳۶۲	۰/۶۴۳
ضریب همبستگی	-۰/۳۵۵	۰/۲۸۷	۰/۳۱۱	۰/۱۸۳	۰/۱۰۴
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۱۱	۰/۱۳۹	۰/۴۰۱
سرعت زاویه‌ای مفصل ران	-۰/۱۹۴	-۰/۰۵۹	۰/۱۵۲	۰/۰۴۷	-۰/۰۷۰
ضریب همبستگی	۰/۱۱۵	۰/۶۳۴	۰/۲۱۹	۰/۷۰۴	۰/۵۷۳
سطح معنی‌داری	۰/۱۱۸	-۰/۰۵۶	۰/۱۰۳	-۰/۰۹۴	۰/۰۱۲
سرعت زاویه‌ای مفصل زانو	۰/۳۴۳	۰/۶۵۵	۰/۴۰۷	۰/۴۴۹	۰/۹۲۴
ضریب همبستگی					
سطح معنی‌داری					

*سطح معنی‌داری (۰/۰۵) (P)

جدول ۳. نتایج گام آخر ضرایب مدل رگرسیونی ویژگی‌های آنتروپومتریک جهت پیش‌بینی متغیرهای ملاک

متغیر ملاک	متغیر پیش‌بین		B	Beta	t	P	۹۵٪ فاصله اطمینان برای B	
	ورود	خروج					کران پایین	کران بالا
ارتفاع پرش	عرض از مبدأ		۸۸/۸۴۶	-	۱/۸۵۲	۰/۰۶۹	-۷/۰۰۴	۱۸۴/۶۹۵
طول اندام			-۲/۰۶۵	-۰/۴۲۶	-۳/۷۰۶	۰/۰۰۱	-۳/۱۷۹	-۰/۹۵۲
تحتانی								
طول کف پا			۵/۸۶۱	۰/۴۵۸	۳/۹۸۲	۰/۰۰۱	۲/۹۲۰	۸/۸۰۱
محیط ران			۰/۲۱۱	-	۱/۹۳۷	۰/۰۵۷	-	-
عرض از مبدأ			۰/۷۸۱	-	۰/۸۷۳	۰/۳۸۶	-۱/۰۰۵	۲/۵۶۷
سرعت								
عمودی پرش	طول کف پا		۰/۱۱۶	۰/۳۸۴	۳/۳۴۹	۰/۰۰۱	۰/۰۴۷	۰/۱۸۵
عرض از مبدأ			۷۷۸/۹۶۲	-	۵/۶۸۳	۰/۰۰۱	۵۱۱/۶۰۷	۱۰۶۶/۳۱۶
طول اندام			-۷/۵۵۳	-۰/۵۱۶	-۴/۶۸۴	۰/۰۰۱	-۱۰/۷۷۴	-۴/۳۳۲
تحتانی								
طول کف پا			۱۷/۹۹۶	۴/۲۵۹	۴/۲۲۵	۰/۰۰۱	۹/۴۸۷	۲۶/۵۰۵

*سطح معنی‌داری ورود (۰/۰۵) (P) سطح معنی‌داری خروج (۰/۰۵) (P)

در پیش‌بینی ارتفاع پرش، محیط ران در گام اول وارد مدل شده و به‌تنهایی ۹/۸٪ از واریانس را تبیین کرد. در گام دوم و سوم، با ورود طول اندام تحتانی و طول کف پا، قدرت پیش‌بینی مدل به ۱۶/۳٪ و سپس ۲۹/۸٪ افزایش یافت. در گام چهارم، متغیر جدید وارد شده از سطح معناداری خارج شده ($P=0/057$) و از مدل حذف شد. در نهایت، دو متغیر طول اندام تحتانی و طول کف پا در مدل باقی ماندند و مجموعاً ۲۵/۶٪ از تغییرات ارتفاع پرش را تبیین کردند ($R^2=0/256$, $t=0/506$, $p=0/001$). بر اساس معادله رگرسیونی، به‌ازای هر یک سانتی‌متر افزایش در طول اندام تحتانی، ارتفاع پرش ۲/۰۶۵ سانتی‌متر کاهش می‌یابد و به‌ازای هر یک سانتی‌متر افزایش در طول کف پا، ارتفاع پرش ۵/۸۶۱ سانتی‌متر افزایش می‌یابد (جدول ۳). برای پیش‌بینی سرعت عمودی لحظه پرش، در گام اول تنها متغیر طول کف پا وارد مدل رگرسیونی شد و به‌عنوان قوی‌ترین پیش‌بین شناخته شد (جدول ۳). این متغیر توانست ۱۴/۷٪ از واریانس سرعت عمودی را تبیین کند ($R^2=0/384$, $t=0/147$, $p=0/001$). بر اساس معادله رگرسیونی، به‌ازای هر یک سانتی‌متر افزایش در طول کف پا، سرعت عمودی لحظه پرش به میزان ۰/۱۱۶ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. همچنین برای پیش‌بینی زمان پرواز، ابتدا متغیر طول اندام تحتانی وارد مدل شده و به‌تنهایی ۱۲/۶٪ از تغییرات زمان پرواز را توضیح داد. در گام

دوم، با ورود متغیر طول کف پا، قدرت پیش‌بینی مدل افزایش یافت و در مجموع، این دو متغیر توانستند $31/7\%$ از تغییرپذیری زمان پرواز را تبیین کنند ($R^2=0/317$, $r=0/563$, $p=0/001$). معادله رگرسیونی نشان داد که به ازای هر یک سانتی‌متر افزایش در طول اندام تحتانی، زمان پرواز به میزان $0/007553$ ثانیه کاهش می‌یابد و در مقابل، به ازای هر یک سانتی‌متر افزایش در طول کف پا، زمان پرواز به میزان $0/017996$ ثانیه افزایش می‌یابد.

بحث

نتایج پژوهش نشان داد مقادیر بالای طول کف پا و همچنین مقادیر پایین طول اندام تحتانی به عنوان پیش‌بینی کننده‌های ارتفاع پرش در حرکت واروی ژیمناستیک عمل می‌کنند. طول کف پا همچنین به عنوان پیش‌بینی کننده‌ی مهم سرعت عمودی پرش در حرکت واروی ژیمناستیک شناخته شد. در رابطه با پیش‌بینی متغیر بیومکانیکی زمان پرواز مقادیر بالای طول کف پا و مقادیر پایین طول اندام تحتانی نیز می‌توانند متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ی زمان اجرای پرواز از اولین لحظه که پا از زمین جدا شده تا اولین لمس پا در فرود در اجرای حرکت واروی ژیمناستیک باشند. با این حال، هیچ‌یک از متغیرهای آنترپومتری تحقیق حاضر نتوانستند دو متغیر سرعت زاویه‌ای مفاصل لگن و زانو را به طور معنی‌داری پیش‌بینی کنند. لازم به ذکر است متغیر آنترپومتری نسبت قد نشسته به قد باوجود این که همبستگی معنی‌داری با دو متغیر ارتفاع پرش و زمان پرواز داشت اما نتوانست وارد مدل رگرسیونی شده و هیچ‌یک از متغیرهای ملاک را پیش‌بینی کند.

آودی و آلانازی^(۲۰۱۵) در مطالعه بر روی والیبالیست‌های نوجوان ۱۴ تا ۱۷ سال، طول اندام تحتانی را به عنوان عامل مهمی در پیش‌بینی عملکرد پرش عمودی شناسایی کرده و بین متغیر طول اندام تحتانی و پرش اسکوات (SJ) رابطه معنی‌دار و مستقیم نشان دادند (۱۷). همچنین بین متغیر طول اندام تحتانی و پرش ضد حرکت (CMJ) رابطه معنی‌دار و مستقیمی را نشان دادند. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش حاضر دارای تفاوت می‌باشد؛ زیرا در پژوهش حاضر رابطه میان طول اندام تحتانی برای پیش‌بینی ارتفاع پرش در حرکت واروی ژیمناستیک به صورت معکوس بیان می‌شود. احتمال می‌رود وجود این تفاوت‌ها به دلیل تفاوت در شکل حرکت پرش در این دو مطالعه باشد؛ زیرا در حرکت واروی ژیمناستیک شکل پرش با یک چرخش همراه که در مقایسه با پرش عمودی ممکن است در عملکرد پرش مؤثر بوده و دلیل دیده شدن تفاوت برای این متغیر پیش‌بین در این دو رشته ورزشی باشد. با این حال برای اثبات این موضوع نیاز به مطالعات بیشتر است.

آیگبوسی و همکاران^(۱) در تحقیقی که بر روی ۷۷ بسکتبالیست مرد در دامنه سنی ۱۶ تا ۳۷ سال همبستگی متغیرهای آنترپومتری اندام تحتانی (طول اندام تحتانی، محیط ران، محیط ساق، طول کف پا و...) و ارتفاع پرش عمودی را مورد بررسی قرار دادند که برخی از این نتایج با نتایج پژوهش حاضر شباهت و تفاوت‌هایی دارند (۱۸). آن‌ها بیان کردند طول اندام تحتانی و محیط ران همبستگی معنی‌داری با ارتفاع پرش عمودی دارد. در تحقیق حاضر طول اندام تحتانی و محیط ران همبستگی معنی‌داری با ارتفاع پرش در حرکت وارو داشتند و متغیر طول اندام تحتانی به عنوان پیش‌بینی کننده‌ی ارتفاع پرش در حرکت وارو معرفی شده است. در تعارض با نتایج تحقیق حاضر، ایولا گزارش کرده است که یک همبستگی معکوس معنی‌دار ضعیف بین متغیرهای آنترپومتری محیط ساق و طول کف پا با عملکرد پرش وجود دارد (۱۸). این یافته نیز در رابطه با طول کف پا با تحقیق حاضر متفاوت است زیرا این

1. Aouadi and Alanazi
2. Aiyegbusi et al.

تحقیق بیان کرده که متغیر طول کف پا با ارتفاع پرش دارای همبستگی معنی‌دار در جهت مستقیم است و این متغیر را به‌عنوان یکی از متغیرهای پیش‌بین متغیر ارتفاع پرش معرفی کرده است. در رابطه با مقادیر محیط ساق در تحقیق حاضر نتیجه‌ی خاصی مشاهده نشد. لازم به ذکر است که روش آماری استفاده شده در پژوهش ایولا متفاوت از تحقیق حاضر بود که می‌تواند یکی از دلایل تفاوت مشاهده شده باشد. با این وجود تحقیقات دیگری در همین راستا انجام شده است که با نتایج تحقیق ایولا کاملاً مخالف است. در پژوهش سال ۲۰۰۳ که توسط دیویس و همکارانش^۱ بر روی ۲۳ ورزشکار در دامنه سنی ۲۰ تا ۳۷ سال انجام شده بود در بخشی از تحقیقات خود بیان کردند که محیط ساق پا می‌تواند پیش‌بینی کننده‌ی ضعیف و با ارتباط مستقیم برای عملکرد پرش عمودی باشد که این موضوع با نتایج حاصل از پژوهش ایولا متفاوت است (۱۹). لازم به ذکر است در این پژوهش در رابطه با متغیرهای طول اندام تحتانی، طول کف پا و محیط ران هیچ مدل رگرسیونی جهت پیش‌بینی عملکرد پرش عمودی یافت نشد. در مطالعه‌ی دیگر از دیویس و همکارانش در سال ۲۰۰۶ نیز نتایج متفاوت از پژوهش آیکبوسی و همکاران (۲۰۱۷) می‌باشد (۲۰). در این تحقیق که با هدف بررسی تأثیر طول اسکلتی بخش‌های مختلف در بدن بر ارتفاع پرش عمودی بر روی ۷۸ ورزشکار تفریحی مرد و زن با میانگین سنی $(21/9 \pm 2/9)$ صورت گرفت، مردان و زنان به‌صورت جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل رگرسیونی برای مردان نشان داد طول کف پا به‌عنوان تنها پیش‌بینی کننده عملکرد پرش عمودی با ارتباط مستقیم شناسایی شد که در تحقیق حاضر نیز در همین راستا طول کف پا به‌عنوان پیش‌بینی کننده‌ی ارتفاع پرش معرفی شد. ساید و همکاران^۲ (۲۰۱۵) نیز در مطالعه‌ی بر روی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد پرش عمودی مردان ورزشکار بیان کردند طول کف پا همبستگی مثبت متوسطی و محیط ران و ساق و انعطاف‌پذیری همسترینگ همبستگی مثبت ضعیفی با ارتفاع پرش عمودی دارند (۲۱). این نتایج در خصوص متغیرهای طول کف پا و محیط ران هم‌راستا با پژوهش حاضر بوده ولی در خصوص ارتباط محیط ساق در نتایج این دو پژوهش تفاوت دیده می‌شود. ممکن است این تفاوت به دلیل نحوه‌ی اجرای حرکت پرش در پژوهش حاضر باشد. در مطالعه‌ی دیگر که فتاحی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی والیبالیست‌های مرد نخبه انجام دادند آزمودنی‌ها به سه گروه پاسورها، اسپکرها و لیبروها تقسیم شدند و تجزیه و تحلیل آماری بر روی متغیرهای این سه گروه حاکی از آن بود که محیط ساق و طول کف پا برای اسپکرها و پاسورها می‌تواند پیش‌بینی کنندگان خوب با رابطه مستقیم برای ارتفاع پرش عمودی باشند (۲۲). همچنین در لیبروها رابطه مستقیم و خوبی جهت پیش‌بینی پرش عمودی توسط متغیر محیط ران دیده شد. فتاحی بیان کرد ممکن است وجود تفاوت در این دو گروه در رابطه با متغیرهای پیش‌بین میانگین قدی کمتر لیبروها نسبت به پاسورها و اسپکرها باشد که این تحقیق با تحقیق حاضر در رابطه با طول کف پا و محیط دور ران همسو می‌باشد با توجه به اینکه تحقیق حاضر بر روی ژیمناست‌ها انجام شده و این افراد میانگین قد پایین‌تری با والیبالیست‌های مورد تحقیق فتاحی و همکاران دارند می‌توان وجود عامل پیش‌بینی کنندگی محیط ران در این دامنه قدی برای پرش عمودی را مورد ارزیابی‌های بیشتر قرار داد. البته به‌طور مشخص نتایج پژوهش فتاحی و همکاران با پژوهش حاضر در رابطه با محیط ران و طول کف پا هم‌راستا است، اما مانند مطالعات قبلی در خصوص محیط ساق گزارش متفاوتی ارائه می‌دهند. به‌طور کلی، یافته‌های پژوهش حاضر با برخی از مطالعات پیشین بر روی متغیرهای محیط ران و طول کف پا همخوانی دارد؛ اما در رابطه با محیط ساق و طول اندام تحتانی تفاوت‌هایی با دیگر مطالعات مشاهده می‌شود و به نظر می‌رسد مطالعات بیشتری در این خصوص مورد نیاز است.

1. Davis et al.
2. Saiyed

از طرفی دیکانیو و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای که بر روی ۲۴ ژیمناست (۱۲ ژیمناست مرد و ۱۲ ژیمناست زن) با میانگین سنی (22 ± 4) با استفاده از ابزار optojump و اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک، قد نشسته، طول اندام تحتانی و نسبت قد نشسته به قد انجام دادند، ۶ نوع پرش عمودی و تخصصی که شامل پرش اسکوات (SJ)، پرش ضد حرکت (CMJ)، تست پرش (TH)، پرش پا باز در ژیمناستیک (SL)، پرش قزاق با چرخش ۱۸۰ درجه (CK) و پرش پا باز با چرخش ۱۸۰ درجه (JWT) بود را انجام دادند و زمان پرواز را ثبت کردند (۷). نتایج نشان داد بین نسبت قد نشسته به قد با زمان پرواز در مردان در پرش قزاق با چرخش ۱۸۰ درجه (CK) ارتباط نسبتاً خوب و معکوس ($R = -0.609, p < 0.01$) دیده می‌شود؛ اما در رابطه با طول اندام تحتانی گزارشی مشاهده نشد. با این وجود نتایج تحقیق ذکر شده مقادیر پایین در نسبت قد نشسته به قد را متغیر مهمی در توانایی پرش‌های ژیمناستیک می‌داند اما در تحقیق حاضر نسبت به این متغیر مشاهده‌ای جهت پیش‌بینی پرش واروی ژیمناستیک توسط متغیر نسبت قد نشسته به قد دیده نشد. بابو و تاپا نیز در مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۴ بر روی ۵۱ ورزشکار مرد نشان داد که طول کف پا با نیروی پرش در حرکت پرش متقابل دارای رابطه‌ی مثبت متوسطی می‌باشد (۲۳). با توجه به اینکه ارتباط مستقیم و بالایی بین نیروی ایجاد شده در هنگام اجرای پرش و سرعت اولیه پرش وجود دارد. نتایج حاصل از این پژوهش با پژوهش حاضر در یک راستا می‌باشد که نشان می‌دهد طول کف پا می‌تواند به عنوان پیش‌بینی کننده‌ی سرعت عمودی پرش معرفی شود.

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین در اکثر مطالعات طول کف پا، طول اندام تحتانی، محیط ران و محیط ساق در ارتباط مستقیم با عملکرد پرش‌های عمودی بودند و متغیر نسبت قد نشسته به قد در ارتباط معکوس با عملکرد پرش عمودی دیده شد اما در نتایج پژوهش حاضر فقط طول کف پا با مطالعات فوق هم‌راستا بود و در رابطه با طول اندام تحتانی نتایج متناقض از مطالعات انجام شده بود همچنین با وجود همبستگی بین متغیرهای (محیط ران و نسبت قد نشسته به قد) با ارتفاع پرش در حرکت وارو و هم‌راستا بودن این موضوع با نتایج مطالعه شده اما هیچ‌یک از این دو متغیر نتوانستند توانای لازم جهت پیش‌بینی متغیرهای بیومکانیکی حرکت وارو را کسب کنند. احتمال می‌رود دلیل تفاوت‌های مشاهده شده در پژوهش حاضر به دلیل شکل خاص حرکت وارو و همچنین تفاوت در قد آزمودنی‌های حاضر در پژوهش حاضر باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که متغیرهای آنتروپومتریک خاصی می‌توانند در پیش‌بینی عملکرد حرکت وارو در ژیمناستیک نقش داشته باشند. به طور خاص، طول کمتر اندام پایین تنه با بهبود عملکرد در این حرکت مرتبط بود. این یافته می‌تواند به این دلیل باشد که اندام‌های کوتاه‌تر، گشتاور اینرسی کمتری دارند و این امر به ژیمناست اجازه می‌دهد تا سریع‌تر حول محور خود بچرخد و کنترل بهتری بر چرخش داشته باشد. همچنین، مشاهده شد که کف پای بزرگ‌تر با افزایش زمان پرواز در حرکت وارو مرتبط است. این می‌تواند به این دلیل باشد که کف پای بزرگ‌تر، سطح اتکای بیشتری را فراهم می‌کند و به ژیمناست اجازه می‌دهد تا نیروی بیشتری را در لحظه جدا شدن از زمین اعمال کند که منجر به افزایش ارتفاع و در نتیجه زمان پرواز بیشتر می‌شود. با این حال، سایر متغیرهای آنتروپومتریک مورد بررسی، مانند قد نشسته به قد محیط ران و محیط ساق پا، رابطه معناداری با متغیرهای بیومکانیکی حرکت وارو نشان ندادند. این می‌تواند به این دلیل باشد که این متغیرها تأثیر مستقیم و قابل توجهی بر مکانیک این حرکت خاص ندارند و عوامل دیگری مانند قدرت عضلانی، تکنیک و هماهنگی عصبی-عضلانی نقش مهم‌تری ایفا می‌کنند. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که درحالی‌که برخی ویژگی‌های آنتروپومتریک می‌توانند در پیش‌بینی عملکرد ژیمناست‌ها در حرکت وارو مفید باشند، اما این تنها بخشی از تصویر است و عوامل دیگری نیز باید

1. Di Cagno et al.
2. Babu and Thapa

در نظر گرفته شوند. این یافته‌ها می‌توانند به مربیان و محققان در درک بهتر عوامل مؤثر بر عملکرد ژیمناست‌ها و طراحی برنامه‌های تمرینی مؤثرتر کمک کنند.

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به مطالعات انجام شده و نتایج حاصل از پژوهش فوق پیش‌بینی می‌شود که متغیر طول کف پا همان‌طور که در رابطه با عملکرد پرش‌های عمودی می‌تواند پیش‌بین خوبی باشد در اجرای حرکت واروی ژیمناستیک نیز می‌تواند به‌عنوان یک متغیر پیش‌بین معرفی شود. با این وجود به دلیل محدود بودن مطالعات در رابطه با حرکت واروی ژیمناستیک نیاز به مطالعات بیشتر دیده می‌شود؛ اما در رابطه با طول اندام تحتانی به دلیل همسو نبودن با دیگر مطالعات نیاز به پژوهش‌های بیشتر در جهت اثبات این موضوع می‌باشد. همچنین گمان می‌رود به دلیل متفاوت بودن اجرای پرش در حرکت واروی ژیمناستیک با دیگر پرش‌های عمودی همچنین مقادیر پایین در میانگین قدی آزمودنی‌های این پژوهش نتایج فوق مشاهده شده است برای رفع این گمانه‌زنی‌ها نیاز به پژوهش‌های بیشتر در رابطه با اجرای حرکت واروی ژیمناستیک می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این مقاله کلیه اصول اخلاقی در نظر گرفته شدند (کد اخلاق 1149-202401-ETHIC). به شرکت‌کنندگان در این پژوهش اجازه داده شده بود تا هر زمان که مایل بودند از روند پژوهش خارج شوند. همچنین تمامی شرکت‌کنندگان در جریان روند و مراحل مختلف شرکت در پژوهش قرار داشتند. به تمامی شرکت‌کنندگان این اطمینان داده شده بود که اطلاعات آن‌ها محرمانه نگه داشته می‌شود.

حامی مالی

این پژوهش برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول بوده و هیچ‌گونه حمایت مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Shahbazi Moghadam M, Hemmatinejad M, Azari Hamidian A. Biomechanical analysis of back salto in gymnastic through measuring forces and angles in take off and landing. *Harakat*. 1999;3(3):7-21.
2. Bhattacharya S, Singh A. Kinematical analysis of backsalto in gymnastics. *International Journal of Yogic, Human Movement and Sports Sciences*. 2019;4(1):1399-1401.
3. Kaur K, Koley S. Anthropometric determinants of competitive performance in gymnastics: a systematic review. *International Journal of Health Sciences and Research*. 2019;9(7):249-256.
4. Papić V, Rogulj N, Pleština V. Identification of sport talents using a web-oriented expert system with a fuzzy module. *Expert Systems with Applications*. 2009;36(5):8830-8838. [DOI:10.1016/j.eswa.2008.11.031]
5. Ghobadi B, Bahrami S, Eydi H. Designing a talent identification model in student sports with emphasis on psychological factors. *Sport Psychology Studies*. 2022;11(40):85-106.
6. Forminte VN, Cosma L, Damian M, Dobrescu T, Potop V. Biomechanical analysis of the phase structure of Pak Salto on uneven bars. *Journal of Physical Education and Sport*. 2022;22(8):1893-1899.
7. Di Cagno A, Baldari C, Battaglia C, Monteiro MD, Pappalardo A, Piazza M, et al. Factors influencing performance of competitive and amateur rhythmic gymnastics-Gender differences. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2009;12(3):411-416. [DOI:10.1016/j.jsams.2008.01.006] [PMID]
8. Taboada-Iglesias Y, Santana MV, Gutiérrez-Sánchez Á. Anthropometric profile in different event categories of acrobatic gymnastics. *Journal of human kinetics*. 2017;57:169. [DOI:10.1515/hukin-2017-0058] [PMID]
9. D'Alessandro C, Morelli E, Evangelisti I, Galetta F, Franzoni F, Lazzeri D, et al. Profiling the Diet and Body Composition of Subelite Adolescent Rhythmic Gymnasts. *Pediatric Exercise Science*. 2007;19(2):215-227. [DOI:10.1123/pes.19.2.215] [PMID]
10. Douda HT, Toubekis AG, Avloniti AA, Tokmakidis SP. Physiological and Anthropometric Determinants of Rhythmic Gymnastics Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2008;3(1):41-54. [DOI:10.1123/ijsp.3.1.41] [PMID]
11. Opala-Berdzik A, Głowacka M, Juras G. Postural sway in young female artistic and acrobatic gymnasts according to training experience and anthropometric characteristics. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2021;13:1-11. [DOI:10.1186/s13102-021-00236-w] [PMID]
12. Wyon M, Allen N, Angioi M, Nevill A, Twitchett E. Anthropometric factors affecting vertical jump height in ballet dancers. *Journal of dance medicine & Science*. 2006;10(3-4):106-110. [DOI:10.1177/1089313X06010003-405]
13. Aceski A, Spasovska K. The kinematic differences in the glide kip on horizontal bar between the elite gymnast and students. *European journal of physical education and sport Science*. 2019;5(3):65-76.
14. Kerr DA, Ackland TR, Schreiner AB. The elite athlete-assessing body shape, size, proportion and composition. *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition*. 1995;4(1):25-30.
15. Norton KI, Eston R. *Kinanthropometry and Exercise Physiology*. London: Routledge; 2018. [DOI:10.4324/9781315385662]
16. Midi H, Sarkar SK, Rana S. Collinearity diagnostics of binary logistic regression model. *Journal of interdisciplinary mathematics*. 2010;13(3):253-267. [DOI:10.1080/09720502.2010.10700699]

17. Aouadi R, Alanazi HMN. Relationship between lower limbs length and vertical jump in young volleyball players. *The Swedish Journal of Scientific Research*. 2015;2(4):18-22.
18. Aiyegbusi AI, Fapojuwo OO, Ayodele A. Vertical jump performances in recreational basketball players: the role of physical characteristics and anthropometric parameters of the lower limbs. *Medicina Sportiva: Journal of Romanian Sports Medicine Society*. 2017;13(1):2853.
19. Davis DS, Briscoe DA, Markowski CT, Saville SE, Taylor CJ. Physical characteristics that predict vertical jump performance in recreational male athletes. *Physical therapy in Sport*. 2003;4(4):167-174. [DOI:10.1016/S1466-853X(03)00037-3]
20. Davis DS, Bosley EE, Gronell LC, Keeney SA, Rossetti AM, Mancinelli CA, et al. The relationship of body segment length and vertical jump displacement in recreational athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2006;20(1):136-140. <https://doi.org/10.1519/00124278-200602000-00021> [DOI:10.1519/R-16354.1]
21. Saiyed MZ, Pais V, Shaikh A, Shemjaz AM, Pais S. Relationship of limb girth, segmental limb length, hamstring flexibility with vertical jump in male sports players. *International Journal of Current Research and Review*. 2015;7(4):72-75.
22. Fattahi A, Ameli M, Sadeghi H, Mahmoodi B. Relationship between anthropometric parameters with vertical jump in male elite volleyball players due to game's position. *Journal of human sport and Exercise*. 2012;7(3):714-726. [DOI:10.4100/jhse.2012.73.11]
23. Babu TS, Thapa RK. The relationship of foot anthropometry with countermovement jump and squat jump performance among male university-level athletes. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2025;20(1):157-168. [DOI:10.55860/2dzaj142]