Journal of
Sport Biomechanics

Autumn 2026. Vol 12. Issue 3

Research Paper

Anaerobic Power Cycling Training and Lower-Extremity Performance in Elite Female Handball Players: A Predictive Model Based on Morphological Indices

Jannatul Ferdaus Rickta[1], Fatima Tus Johora Mukta[1], Shaik Nazmus Shakib Shaim[1], Musfiqur Rahman[1], *Md. Yeasir Arafat[2]

1. Department of Physical Education & Sports Science, Jashore University of Science and Technology, Bangladesh.
2. Physical Education Office; Chittagong University of Engineering & Technology, Bangladesh.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Rickta JF, Mukta FTJ, Shaim SNS, Rahaman M, Arafat Y. Anaerobic Power Cycling Training and Lower-Extremity Performance in Elite Female Handball Players: A Predictive Model Based on Morphological Indices. Journal of Sport Biomechanics.2026;12(3):460-482. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.3.460

https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.3.460

Article Info:

Received: 15 December 2025

Accepted: 7 June 2026

Available Online: 23 June 2026

Keywords:

Handball, Anaerobic capacity, Power cycling training, Peak power, Lower-extremity muscle

ABSTRACT

Objective Handball requires high levels of anaerobic power, explosive strength, and repeated sprint ability. This study aimed to evaluate the effects of power cycling training on anaerobic capacity and explosive performance in elite female handball players.

Methods Forty-three elite female handball players who had participated in the Bangladesh National Female Handball League and had at least five years of continuous handball experience were recruited. Participants were allocated to either a control group (n = 21) or a training group (n = 22). All data were recorded in Microsoft Excel and analyzed using IBM SPSS Statistics version 25.0.

Results Between-group comparisons revealed no statistically significant differences in most power cycling variables at baseline (all $p > 0.05$), confirming group homogeneity. However, significant within-group improvements in mean power and peak power relative to body weight were observed in the training group following the intervention ($p < 0.05$). Strong positive correlations were identified between peak power performance and lower-extremity skeletal muscle mass as well as thigh circumference ($r = 0.91$, $p < 0.001$). Multiple linear regression models explained 86.6% of the variance in peak power and 82.8% of the variance in mean power, indicating that lower-limb morphological indices are reliable predictors of anaerobic cycling performance.

Conclusion The training group demonstrated improvements in key Wingate performance variables despite the absence of significant between-group differences. Lower-extremity skeletal muscle mass and thigh circumference were strong predictors of anaerobic cycling performance, and the proposed regression models may offer a practical approach for monitoring anaerobic capacity in female handball players.

Corresponding Author:
Md. Yeasir Arafat
Address: Physical Education Office; Chittagong University of Engineering & Technology, Bangladesh.
E-mail: arafat4232@cuet.ac.bd

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, adaptation, and reproduction in any medium or format, provided the original author(s) and the source are credited.
© 2026 The Author(s). Journal of Sport Biomechanics published by Islamic Azad University, Hamedan Branch.

1. Introduction

Handball is an Olympic team sport played worldwide and characterized by frequent transitions between high-intensity and low-intensity activities (1). A standard match consists of two 30-minute halves, during which players repeatedly perform explosive actions such as sprinting, accelerating, jumping, throwing, and changing direction, interspersed with periods of walking or standing (2, 3). Consequently, repeated sprint ability, agility, and explosive power are essential determinants of successful performance (4). Physiological studies have shown that handball players spend a considerable proportion of match time at high exercise intensities, with approximately 47% of playing time performed at 81–90% of maximum heart rate and a further 24% above 90% of maximum heart rate (5, 6). Therefore, both anaerobic and aerobic energy systems are required to sustain performance, with anaerobic metabolism supporting high-intensity actions and aerobic metabolism facilitating recovery and prolonged activity (6).

Given the demanding nature of handball, training programs should incorporate anaerobic conditioning, explosive strength development, and sport-specific drills that replicate the rapid directional changes and repeated high-intensity efforts encountered during competition (7, 8). The frequent execution of sprinting, jumping, accelerating, decelerating, and directional changes places substantial demands on lower-extremity power and anaerobic capacity (9–13). These physical qualities are critical for achieving optimal performance during competitive matches (14). The repeated high-intensity actions performed during handball competition result in elevated blood lactate concentrations and substantial metabolic stress (15–17). Accordingly, handball players require well-developed anaerobic fitness to repeatedly perform intense efforts and recover efficiently between actions (18, 19). Previous research has demonstrated that high-intensity interval training (HIIT), plyometric exercises, explosive resistance training, and other anaerobic conditioning methods can improve performance-related physiological adaptations in handball players (20–22).

Several field and laboratory tests have been used to evaluate anaerobic performance in handball athletes, including repeated sprint ability (RSA) tests, suicide runs, vertical jump assessments, and the Wingate anaerobic cycling test (23–25). Among these, the 30-second Wingate test is widely recognized as a valid and reliable measure of anaerobic power and capacity (8, 25, 26). Previous studies have shown that various training interventions, including circuit resistance training under hypoxic conditions, HIIT, and Swiss-ball-based core power training, can enhance anaerobic exercise capacity and power production in athletes (27–29). Nevertheless, current training approaches do not always fully replicate the intermittent, high-intensity demands of competitive handball. Body composition and lower-extremity morphology are also important determinants of anaerobic performance. Limb circumference, muscle volume, and skeletal muscle mass are commonly used indicators of muscular development in sports science and physical education research (30, 31). Previous studies have demonstrated that muscle mass, limb circumference, and muscle volume can be modified through targeted training interventions and are positively associated with muscular strength and power production (30–35). Because muscle strength is closely related to muscle cross-sectional area, limb girth measurements are frequently used as practical indicators of strength development in both athletic and clinical populations (32, 33). Furthermore, resistance training has been shown to increase lower-extremity power and thigh circumference, and positive associations have been reported between thigh girth and power-related performance measures (30, 34, 35).

Evidence further suggests that anaerobic cycling performance is closely associated with body composition characteristics. Greater fat-free mass and skeletal muscle mass are generally associated with higher peak power, mean power, and jump performance, whereas higher body fat percentages are associated with reduced performance and increased fatigue (39, 40). In addition, different resistance-training approaches may influence specific performance outcomes, with velocity-based training being particularly effective for improving explosive strength and peak power, while percentage-based training may be more beneficial for enhancing mean power and endurance-related capacities (41–43). Therefore, the present study was designed to evaluate the effectiveness of power cycling training as a targeted intervention for improving anaerobic exercise capacity in elite female handball players, a population in which explosive strength and short-duration high-intensity performance are critical determinants of success. In addition, this study sought to investigate the relationships among lower-extremity circumference, skeletal muscle mass, and anaerobic cycling performance variables. By integrating these parameters, the study aimed to develop predictive models that may provide practical, objective, and cost-effective tools for monitoring athlete development and optimizing training strategies.

2. Methods

2.1. Participants

The study recruited 43 elite female handball players who had participated in the Bangladesh National Female Handball League and had been continuously engaged in handball training for at least five years. Participants were allocated into two groups based on their baseline anaerobic cycling performance. Following baseline assessment, athletes were assigned to either a control group (n = 21) or a training group (n = 22). To ensure methodological rigor, predefined inclusion and exclusion criteria were applied. Baseline homogeneity between groups was verified using independent-samples t-tests, which revealed no significant differences in the primary anaerobic performance variables. Athletes with known cardiovascular disease or any medical condition contraindicating high-intensity anaerobic exercise were excluded from participation. All participants volunteered to participate without financial compensation and provided written informed consent prior to data collection. All procedures were conducted according to standardized testing instructions. Prior to data collection, demographic information including age, height, weight, and body mass index (BMI) was recorded. Body composition and skeletal muscle mass were assessed using a validated bioelectrical impedance analyzer (InBody 720, Biospace Co., Ltd., Seoul, South Korea) (44, 45).

2.2. Anthropometric and Lower-Extremity Morphology Measurements

Before testing, the objectives and procedures of the study were explained in detail to all participants. To ensure measurement accuracy and reliability, all lower-extremity morphological assessments were performed by a certified examiner. Participants stood in an upright position with body weight evenly distributed between both lower limbs. Thigh circumference was measured using a Lufkin W606PM anthropometric tape at the midpoint between the greater trochanter and the lateral femoral condyle and recorded in centimeters (46, 47). Calf circumference was measured at the point of greatest girth. Baseline measurements were obtained one day before the commencement of the intervention, whereas follow-up assessments were conducted one day after completion of the final training session.

2.3. Anaerobic Cycling Training Protocol

The anaerobic cycling intervention was implemented longitudinally across four seasonal periods (winter, spring, summer, and autumn). During each seasonal period, the training group completed a progressive 3.5-week intervention block consisting of seven training sessions performed twice weekly. All training sessions were incorporated into the athletes' regular competitive-season training schedule. Each session consisted of a standardized active warm-up involving 120 seconds of light cycling, followed by a 30-second maximal Wingate-style sprint against a braking resistance equivalent to 0.075 $kg \cdot kg^{-1}$ body mass. Participants then completed 300 seconds of passive recovery. This sequence was repeated four times within each training session (Fig. 1). The control group continued their regular handball training program, including technical, tactical, and conditioning activities, without additional cycling training. Outcome assessments were performed at baseline and following completion of the intervention period. The training protocol was based on established exercise physiology principles commonly used to evaluate anaerobic performance and training adaptations (8, 49).

2.4. Statistical Analysis

All data were entered into Microsoft Excel and analyzed using IBM SPSS Statistics version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Data entry was independently verified to ensure accuracy. Prior to inferential analysis, data normality was assessed using the Shapiro–Wilk test, and homogeneity of variance was evaluated using Levene's test. All primary outcome variables satisfied the assumptions required for parametric statistical analyses ($p > 0.05$). Descriptive statistics are presented as mean ± standard deviation (SD). Independent-samples t-tests were used to examine baseline differences between groups. Repeated-measures one-way ANOVA was used to assess within-group changes across training sessions, whereas repeated-measures two-way ANOVA was applied to evaluate group × time interaction effects. When significant effects were identified, post hoc comparisons were performed using the Least Significant Difference (LSD) test.

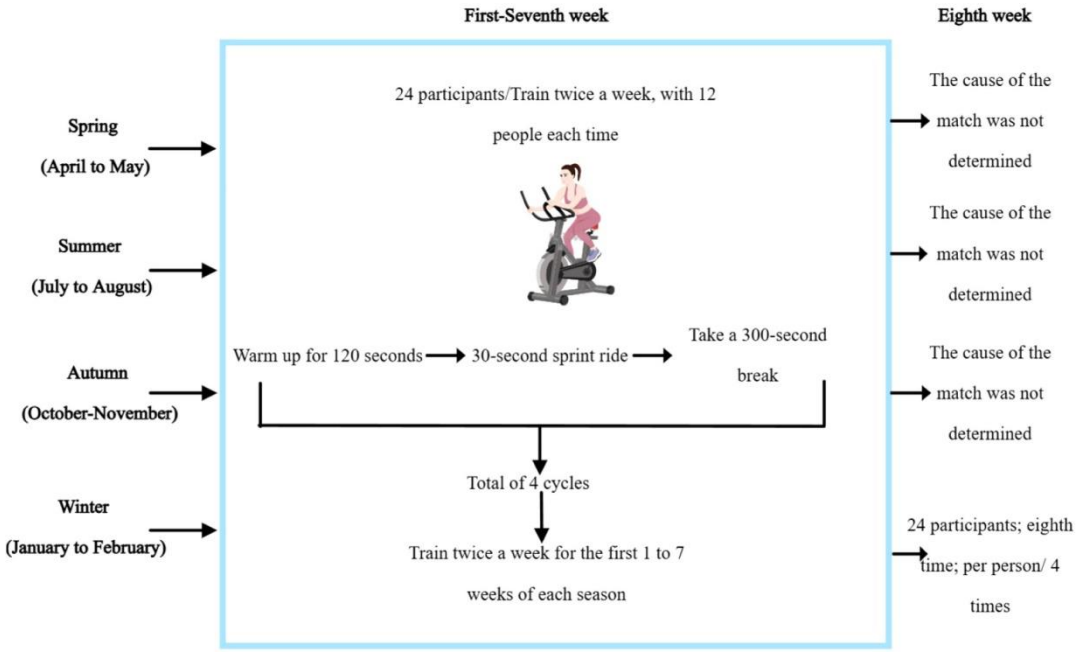


Fig. 1. Schematic representation of the anaerobic power cycling training protocol.

Pearson correlation analysis was used to examine relationships between lower-extremity morphological characteristics and anaerobic cycling performance variables. Multiple linear regression analyses were subsequently conducted to develop predictive models for key anaerobic performance outcomes using lower-extremity anthropometric and skeletal muscle variables as predictors. Statistical significance was established at $p < 0.05$ for all analyses.

3. Results

Descriptive characteristics of the participants are presented in Table 1. No significant differences were observed in the baseline anthropometric characteristics of the participants across the study periods. Table 2 presents the baseline Wingate test results for the control and training groups before the intervention. No significant between-group differences were observed in mean power, mean power relative to body weight, peak power, peak power relative to body weight, fatigue index, or total work (all $p > 0.05$), confirming baseline homogeneity between groups.

Changes in Wingate performance variables following the intervention are presented in Table 3. Significant between-group differences were observed for mean power ($p = 0.029$) and peak power relative to body weight ($p = 0.022$). Although improvements were observed in several performance variables in the training group, no significant differences were found between groups for peak power, fatigue index, or total work ($p > 0.05$). The effects of the power cycling training program across the seven training sessions are summarized in Table 4. Significant improvements were observed in mean power ($p = 0.004$), mean power relative to body weight ($p < 0.001$), minimum power ($p = 0.017$), and total work ($p = 0.037$). Post hoc analyses indicated that performance during sessions 5–7 was significantly greater than during the earlier sessions. In contrast, peak power, peak power relative to body weight, and fatigue index did not change significantly across the training period ($p > 0.05$).

Table 1. Descriptive Characteristics of the Participants Across the Study Periods

Variable	Winter	Spring	Summer	Autumn
Age (years)	21.16 ± 1.73	21.16 ± 1.73	21.16 ± 1.73	21.16 ± 1.73
Weight (kg)	60.23 ± 0.47	62.15 ± 12.39	61.94 ± 11.67	62.63 ± 12.28
Height (cm)	166.12 ± 6.19	166.12 ± 6.19	166.22 ± 6.27	166.12 ± 6.19
BMI (kg/m²)	22.23 ± 1.97	22.36 ± 1.81	22.36 ± 1.81	22.27 ± 1.74
Training Experience (years)	6.23 ± 2.54	6.33 ± 2.54	6.54 ± 2.57	6.63 ± 2.63

BMI = Body Mass Index.

Fig. 2 illustrates the correlations between lower-extremity morphological characteristics and anaerobic cycling performance variables. Significant positive associations were observed between anaerobic performance measures and skeletal muscle mass, thigh circumference, and calf circumference. In addition, body weight was positively associated with lower-extremity skeletal muscle mass and selected circumference measures. Multiple linear regression analyses were performed to determine the predictive value of lower-extremity morphological characteristics for anaerobic cycling performance (Table 5). The regression models explained 86.6% of the variance in peak power, 82.8% of the variance in mean power, 61.8% of the variance in peak power relative to body weight, and 70.1% of the variance in fatigue index. These findings indicate that lower-extremity skeletal muscle mass and limb circumferences are significant predictors of anaerobic cycling performance in elite female handball players.

4. Discussion

The present study examined the effects of anaerobic power cycling training on anaerobic performance and explored the relationships between lower-extremity morphological characteristics and anaerobic cycling performance in elite female handball players. The findings demonstrated that power cycling training improved several Wingate performance variables, particularly mean power, mean power relative to body weight, minimum power, and total work. In addition, lower-extremity skeletal muscle mass and thigh circumference were strongly associated with anaerobic cycling performance and emerged as significant predictors in the regression models. Anaerobic capacity is a critical component of performance in handball because the sport requires repeated bouts of sprinting, jumping, accelerating, decelerating, and rapid changes of direction throughout a match (4, 9–13). Consequently, training methods capable of enhancing lower-extremity power and short-duration high-intensity performance are of considerable practical importance.

Table 2. Baseline Comparison of Wingate Performance Variables Between the Control and Training Groups

Variable	Group	Mean ± SD	F	p-value
Mean Power (MP, W)	Control (n = 21)	425.27 ± 72.84	1.513	0.218
	Training (n = 22)	407.39 ± 88.21		
Mean Power/Body Weight (MP/BW, W·kg⁻¹)	Control (n = 21)	5.94 ± 0.87	2.372	0.113
	Training (n = 22)	5.87 ± 0.71		
Peak Power (PP, W)	Control (n = 21)	757.37 ± 227.19	0.516	0.453
	Training (n = 22)	726.48 ± 211.21		
Peak Power/Body Weight (PP/BW, W·kg⁻¹)	Control (n = 21)	11.82 ± 1.97	3.732	0.051
	Training (n = 22)	11.19 ± 1.23		
Fatigue Index (FI, W·s⁻¹)	Control (n = 21)	17.88 ± 8.12	0.041	0.860
	Training (n = 22)	17.92 ± 6.21		
Total Work (TW, W)	Control (n = 21)	13013.79 ± 2401.14	1.501	0.218
	Training (n = 22)	12267.47 ± 2687.88		

Values are presented as mean ± SD.

Table 3. Changes in Wingate Performance Variables Following the Training Intervention

Variable	Group	Mean Change (Post − Pre) ± SD	F	p-value
Mean Power (MP, W)	Control (n = 21)	-9.12 ± 96.24	4.690	0.029
	Training (n = 22)	25.23 ± 48.33		
Mean Power/Body Weight (MP/BW, W·kg⁻¹)	Control (n = 21)	0.18 ± 0.77	2.194	0.141
	Training (n = 22)	0.52 ± 0.91		
Peak Power (PP, W)	Control (n = 21)	-27.24 ± 201.13	1.625	0.182
	Training (n = 22)	16.66 ± 111.84		
Peak Power/Body Weight (PP/BW, W·kg⁻¹)	Control (n = 21)	-0.71 ± 2.22	5.449	0.022
	Training (n = 22)	0.41 ± 1.93		
Fatigue Index (FI, W·s⁻¹)	Control (n = 21)	1.07 ± 5.41	1.102	0.314
	Training (n = 22)	0.01 ± 3.81		
Total Work (TW, W)	Control (n = 21)	139.88 ± 2501.27	1.675	0.189
	Training (n = 22)	746.19 ± 1711.01		

Values are presented as mean change ± SD.

Table 4. Effects of Power Cycling Training on Wingate Performance Variables Across Seven Training Sessions

Session	MP (W)	MP/BW (W·kg⁻¹)	PP (W)	PP/BW (W·kg⁻¹)	MinP (W)	FI (W·s⁻¹)	TW (W)
1	406.23 ± 63.58	6.11 ± 0.22	722.36 ± 203.21	11.16 ± 1.41	247.14 ± 78.13	18.71 ± 5.57	12521.17 ± 2777.92
2	410.39 ± 67.54	6.11 ± 0.19	726.41 ± 220.21	11.18 ± 1.46	241.66 ± 64.00	19.28 ± 6.95	12573.18 ± 2732.41
3	416.86 ± 71.02	6.30 ± 0.39	729.41 ± 221.10	11.19 ± 1.42	248.27 ± 71.47	18.77 ± 6.79	12609.32 ± 2699.00
4	421.88 ± 78.21	6.39 ± 0.44	731.12 ± 212.53	11.21 ± 1.56	258.25 ± 68.66	18.41 ± 6.52	12770.14 ± 2715.75
5	427.02 ± 81.29	6.47 ± 0.52	731.55 ± 210.23	11.23 ± 1.68	263.23 ± 74.31	18.09 ± 6.41	12859.07 ± 2715.11
6	429.47 ± 83.58	6.58 ± 0.56	736.64 ± 234.81	11.23 ± 1.70	264.01 ± 69.12	18.06 ± 6.01	12859.07 ± 2715.11
7	431.37 ± 84.19	6.72 ± 0.77	740.32 ± 231.01	11.27 ± 1.63	271.36 ± 63.12	18.71 ± 6.11	13078.86 ± 2553.19

ANOVA Results: MP ($F = 3.158$, $p = 0.004$), MP/BW ($F = 5.337$, $p < 0.001$), PP ($F = 0.367$, $p = 0.849$), PP/BW ($F = 0.819$, $p = 0.547$), MinP ($F = 2.676$, $p = 0.017$), FI ($F = 1.359$, $p = 0.231$), TW ($F = 2.275$, $p = 0.037$). Post hoc comparisons: MP: 5, 6, 7 > 1, 3; MP/BW: 5, 6, 7 > 1, 2, 3; MinP: 5, 6, 7 > 2; TW: 7 > 1 and 5, 6, 7 > 3.

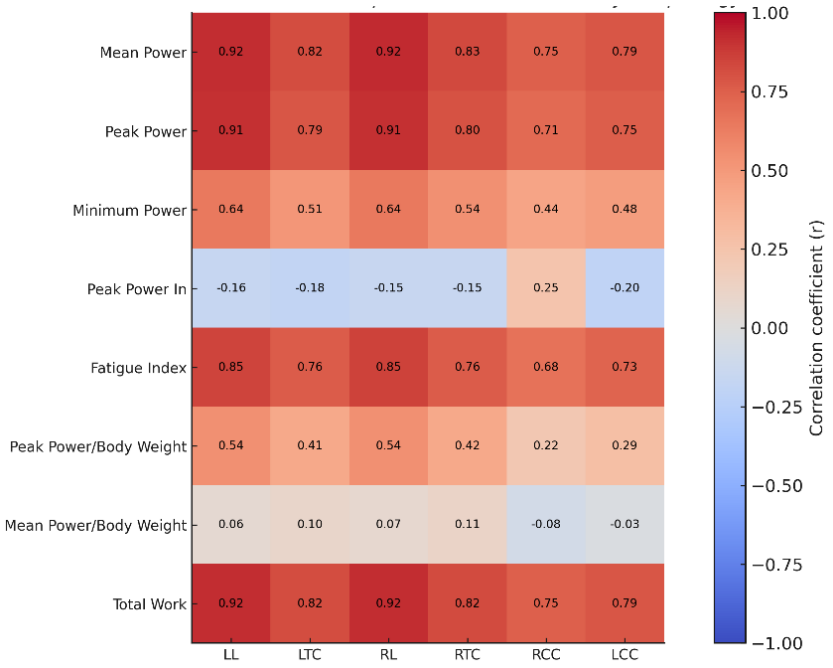


Fig. 2. Correlation Heatmap Between Lower-Extremity Morphological Indices and Anaerobic Power Metrics

Table 5. Multiple Linear Regression Models Predicting Anaerobic Cycling Performance Metrics from Lower-Extremity Morphological Indices

Dependent Variable	Predictor	B	SE	Beta	t	p-value	R^2
Peak Power (PP)	Constant	-32.482	187.393	—	-0.165	0.772	0.866
	LL	132.810	15.387	0.989	9.145	<0.001	
	RCC	-44.314	11.814	-0.631	-4.283	<0.001	
	LTC	22.680	6.764	0.532	3.642	0.001	
Mean Power (MP)	Constant	17.327	27.395	—	0.424	0.578	0.828
	RL	50.734	3.388	0.921	13.865	<0.001	
Peak Power/Body Weight (PP/BW)	Constant	14.397	2.601	—	5.841	<0.001	0.618
	LL	1.210	0.189	1.101	5.671	<0.001	
	RCC	-0.876	0.138	-1.512	-6.112	<0.001	
	LTC	0.339	0.089	1.124	3.677	0.001	
Fatigue Index (FI)	Constant	-8.767	2.587	—	-3.341	0.002	0.701
	LL	3.272	0.315	0.851	10.251	<0.001	

Abbreviations: LL = Left Leg Skeletal Muscle Mass; RL = Right Leg Skeletal Muscle Mass; LTC = Left Thigh Circumference; RCC = Right Calf Circumference; B = Unstandardized Regression Coefficient; SE = Standard Error; Beta = Standardized Regression Coefficient; R^2 = Coefficient of Determination.

Power cycling training represents a form of high-intensity anaerobic exercise that places substantial demands on the ATP–phosphocreatine and glycolytic energy systems, thereby stimulating adaptations related to power production and fatigue resistance. Previous studies have similarly reported improvements in anaerobic performance following high-intensity interval training (HIIT) and sprint interval training (SIT) interventions in team-sport athletes (51–57). The present findings showed that the training group experienced greater improvements in Wingate performance variables than the control group. Significant improvements were particularly evident in mean power and peak power relative to body weight following the intervention. These results are consistent with previous research demonstrating that HIIT-based training programs can improve anaerobic power, repeated-sprint ability, and high-intensity exercise performance in handball players and other athletes (21, 51–54). The progressive increases observed across training sessions suggest that repeated exposure to high-intensity cycling stimuli may enhance the ability to sustain power output during short-duration maximal efforts.

A second important finding of this study was the strong relationship between lower-extremity morphology and anaerobic performance. Thigh circumference and lower-limb skeletal muscle mass demonstrated significant positive correlations with several Wingate performance variables. These findings are consistent with previous research showing that muscle size and cross-sectional area are important determinants of force production and power output (60–62). Because larger muscle mass provides greater potential for force generation, athletes with greater lower-extremity muscle development are generally capable of producing higher peak and mean power values during anaerobic exercise. The observed relationships may also reflect the physiological adaptations associated with high-intensity and resistance-based training. Initial improvements in performance are typically attributed to neural adaptations, including improved motor-unit recruitment and coordination, whereas longer-term gains are associated with muscle hypertrophy and increases in contractile protein content (65–67). Previous studies have reported that resistance and high-intensity training can increase thigh circumference and skeletal muscle mass within several weeks of training, contributing to improvements in strength and power performance (63, 66–68). The present findings support these observations by demonstrating significant associations between lower-extremity morphology and anaerobic power measures in female handball players.

Environmental conditions, nutritional status, and training-load characteristics may also influence anaerobic performance and training adaptations (46, 68, 69). Nevertheless, the strong associations observed in this study between lower-extremity skeletal muscle mass, limb circumferences, and anaerobic cycling performance are consistent with established physiological principles indicating that muscle force production is closely related to muscle size and physiological cross-sectional area (68–70). These findings support the use of lower-extremity anthropometric measurements as practical indicators of anaerobic performance capacity. The regression models developed in the present study explained a substantial proportion of the variance in anaerobic cycling performance variables. From a practical perspective, these models may provide coaches and practitioners with a simple and cost-effective method for estimating anaerobic performance when laboratory-based testing equipment is unavailable. Such an approach may be particularly useful in applied sport settings where access to specialized performance assessment tools is limited.

Several limitations should be acknowledged. First, the study included only female handball players; therefore, the findings may not be generalizable to male athletes or other sporting populations. Second, the sample size was relatively modest, which may limit the external validity of the predictive models. Future studies should examine the applicability of these models in larger and more diverse athletic populations and investigate whether similar relationships exist across different sports and competitive levels.

5. Conclusion

This study demonstrated that a targeted anaerobic power cycling training program improved mean power and relative peak power performance in elite female handball players. Although the groups were comparable at baseline, the training group showed progressive improvements across the intervention period and superior post-intervention performance in selected Wingate variables. Furthermore, lower-extremity morphological characteristics, particularly skeletal muscle mass and thigh circumference, were significant predictors of anaerobic cycling performance. The multiple linear regression models developed in this study may provide a practical, cost-effective, and field-based approach for evaluating lower-limb conditioning

and monitoring anaerobic performance, particularly in training environments where access to advanced laboratory equipment is limited.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was conducted in accordance with the ethical principles of the Declaration of Helsinki. Prior to data collection, all participants received detailed information regarding the study procedures, potential risks, and data confidentiality. Written informed consent was obtained from all participants before participation.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception, design, data collection, analysis, interpretation of the results, and preparation of the manuscript. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest related to this study.

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات پاور سایکلینگ بی‌هوازی بر عملکرد اندام تحتانی بازیکنان نخبه زن هندبال: طراحی مدل پیش‌بینی بر اساس شاخص‌های مورفولوژیک

جنّت الفردوس ریکتا[۱]، فاطمه توس جوهورا مختا[۱]، شیخ نازموس شاکیب شایم[۱]، مشفیق الرحمن[۱]، *محمد یاسر عرفات[۲]

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم، دانشگاه علم و فناوری جاشور، جاشور، بنگلادش.

۲. دفتر تربیت بدنی، دانشگاه مهندسی و فناوری چیتاگونگ، چیتاگونگ، بنگلادش.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Rickta JF, Mukta FTJ, Shaim SNS, Rahaman M, Arafat Y. Anaerobic Power Cycling Training and Lower-Extremity Performance in Elite Female Handball Players: A Predictive Model Based on Morphological Indices. Journal of Sport Biomechanics.2026;12(3):460-482. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.3.460

https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.3.460

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۴ آذر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۷ خرداد ۱۴۰۵
تاریخ انتشار: ۲ تیر ۱۴۰۵

کلید واژه‌ها:
هندبال، ظرفیت بی‌هوازی، تمرینات پاور سایکلینگ، توان اوج، عضلات اندام تحتانی

چکیده

هدف هندبال ورزشی است که به سطوح بالایی از توان بی‌هوازی، قدرت انفجاری و توانایی اجرای مکرر حرکات سرعتی نیاز دارد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر تمرینات پاور سایکلینگ بر ظرفیت بی‌هوازی و عملکرد انفجاری بازیکنان نخبه زن هندبال بود.

روش‌ها در این مطالعه، ۴۳ بازیکن نخبه زن هندبال که در لیگ ملی هندبال بانوان بنگلادش شرکت کرده بودند و حداقل پنج سال سابقه مستمر فعالیت در هندبال داشتند، انتخاب شدند. شرکت‌کنندگان به دو گروه کنترل (۲۱ نفر) و تمرین (۲۲ نفر) تقسیم شدند. داده‌ها در نرم‌افزار Microsoft Excel ثبت و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ تحلیل شدند.

یافته‌ها مقایسه بین‌گروهی در مرحله پیش‌آزمون نشان داد که در اکثر متغیرهای مرتبط با پاور سایکلینگ تفاوت آماری معناداری بین دو گروه وجود نداشت (p> ۰/۰۵). همچنین، همبستگی مثبت و بسیار قوی بین عملکرد توان اوج با توده عضلانی اسکلتی اندام تحتانی و محیط ران گزارش شد (p< ۰/۰۰۱، r= ۰/۹۱). مدل‌های رگرسیون چندگانه به‌ترتیب ۸۶/۶ درصد از واریانس توان اوج و ۸۲/۸ درصد از واریانس توان میانگین را تبیین کردند که نشان می‌دهد شاخص‌های مورفولوژیک اندام تحتانی پیش‌بینی‌کننده‌های قابل اعتمادی برای عملکرد بی‌هوازی در آزمون دوچرخه‌سواری هستند.

نتیجه‌گیری گروه تمرین، علی‌رغم عدم وجود تفاوت‌های معنادار بین‌گروهی، بهبودهایی در متغیرهای کلیدی عملکرد آزمون وینگیت نشان داد. توده عضلانی اسکلتی اندام تحتانی و محیط ران از پیش‌بینی‌کننده‌های قوی عملکرد بی‌هوازی محسوب می‌شوند و مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده می‌توانند به‌عنوان روشی کاربردی برای پایش ظرفیت بی‌هوازی بازیکنان زن هندبال مورد استفاده قرار گیرند.

*نویسنده مسئول:
محمد یاسر عرفات
آدرس: دفتر تربیت بدنی، دانشگاه مهندسی و فناوری چیتاگونگ، چیتاگونگ، بنگلادش.
ایمیل: arafat4232@cuet.ac.bd

مقدمه

هندبال یک ورزش تیمی المپیکی است که در سراسر جهان انجام می‌شود و با جابه‌جایی‌های مکرر بین فعالیت‌های با شدت بالا و شدت پایین شناخته می‌شود (۱). یک مسابقه استاندارد هندبال شامل دو نیمه ۳۰ دقیقه‌ای است که طی آن بازیکنان به‌طور مکرر حرکات انفجاری مانند دوی سرعت، شتاب‌گیری، پرش، پرتاب و تغییر جهت را اجرا می‌کنند و این فعالیت‌ها با دوره‌هایی از راه رفتن یا ایستادن همراه است (۲، ۳). ازاین‌رو، توانایی اجرای مکرر دوی سرعت، چابکی و توان انفجاری از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد موفق در این رشته محسوب می‌شوند (۴). مطالعات فیزیولوژیکی نشان داده‌اند که بازیکنان هندبال بخش قابل‌توجهی از زمان مسابقه را با شدت‌های بالای فعالیت سپری می‌کنند، به‌طوری‌که حدود ۴۷ درصد از زمان بازی در محدوده ۸۱ تا ۹۰ درصد حداکثر ضربان قلب و حدود ۲۴ درصد دیگر در شدت‌های بیش از ۹۰ درصد حداکثر ضربان قلب انجام می‌شود (۵، ۶). بنابراین، برای حفظ عملکرد در طول مسابقه، هر دو سیستم تأمین انرژی هوازی و بی‌هوازی ضروری هستند؛ به‌گونه‌ای که متابولیسم بی‌هوازی از فعالیت‌های پرفشار حمایت می‌کند و متابولیسم هوازی در بازیابی و تداوم فعالیت نقش اساسی دارد (۶).

با توجه به ماهیت پرفشار ورزش هندبال، برنامه‌های تمرینی باید شامل تمرینات آمادگی بی‌هوازی، توسعه قدرت انفجاری و تمرینات اختصاصی باشند که تغییر جهت‌های سریع و تلاش‌های مکرر با شدت بالا را که در مسابقات رخ می‌دهند، شبیه‌سازی کنند (۷، ۸). اجرای مکرر دوی سرعت، پرش، شتاب‌گیری، کاهش سرعت و تغییر جهت، فشار قابل‌توجهی بر توان اندام تحتانی و ظرفیت بی‌هوازی وارد می‌کند (۹–۱۳). این ویژگی‌های جسمانی برای دستیابی به عملکرد مطلوب در مسابقات رقابتی اهمیت اساسی دارند (۱۴). فعالیت‌های مکرر با شدت بالا در مسابقات هندبال موجب افزایش غلظت لاکتات خون و ایجاد فشار متابولیکی قابل‌توجهی می‌شوند (۱۵–۱۷). ازاین‌رو، بازیکنان هندبال باید از آمادگی جسمانی بی‌هوازی مناسبی برخوردار باشند تا بتوانند تلاش‌های شدید را به‌طور مکرر اجرا کرده و در فاصله بین فعالیت‌ها به‌سرعت بازیابی شوند (۱۸، ۱۹). پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که تمرینات تناوبی با شدت بالا، تمرینات پلایومتریک، تمرینات مقاومتی انفجاری و سایر روش‌های تمرینات بی‌هوازی می‌توانند سازگاری‌های فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد را در بازیکنان هندبال بهبود بخشند (۲۰–۲۲).

برای ارزیابی عملکرد بی‌هوازی ورزشکاران هندبال، آزمون‌های میدانی و آزمایشگاهی مختلفی از جمله آزمون توانایی اجرای مکرر دوی سرعت، آزمون رفت‌وبرگشت، آزمون پرش عمودی و آزمون بی‌هوازی وینگیت به‌کار گرفته شده‌اند (۲۳–۲۵). در میان این آزمون‌ها، آزمون ۳۰ ثانیه‌ای وینگیت به‌عنوان یکی از معتبرترین و پایاترین روش‌ها برای سنجش توان و ظرفیت بی‌هوازی شناخته می‌شود (۸، ۲۵، ۲۶). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که مداخلات تمرینی مختلف، از جمله تمرینات مقاومتی دایره‌ای در شرایط هیپوکسی، تمرینات تناوبی با شدت بالا و تمرینات قدرت مرکزی مبتنی بر توپ سوئیسی، می‌توانند ظرفیت فعالیت بی‌هوازی و تولید توان را در ورزشکاران بهبود بخشند (۲۷–۲۹). با این حال، روش‌های تمرینی موجود همواره قادر نیستند به‌طور کامل ماهیت متناوب و نیازهای فعالیت‌های پرفشار ورزش هندبال را بازآفرینی کنند.

ترکیب بدنی و ویژگی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی نیز از عوامل مهم تعیین‌کننده عملکرد بی‌هوازی محسوب می‌شوند. محیط اندام‌ها، حجم عضلات و توده عضلانی اسکلتی از شاخص‌های رایج برای ارزیابی رشد عضلانی در پژوهش‌های علوم ورزشی و تربیت‌بدنی هستند (۳۰، ۳۱). مطالعات گذشته نشان داده‌اند که توده عضلانی، محیط اندام‌ها و حجم عضلات را می‌توان از طریق برنامه‌های تمرینی هدفمند تغییر داد و این شاخص‌ها با قدرت عضلانی و توان تولید نیرو ارتباط مثبتی دارند (۳۰–۳۵). از آنجا که

قدرت عضلانی ارتباط نزدیکی با سطح مقطع عضله دارد، اندازه‌گیری محیط اندام‌ها به‌طور گسترده به‌عنوان شاخصی عملی برای ارزیابی توسعه قدرت در جمعیت‌های ورزشی و بالینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۲، ۳۳). افزون بر این، نشان داده شده است که تمرینات مقاومتی موجب افزایش توان اندام تحتانی و محیط ران می‌شوند و ارتباط مثبتی بین محیط ران و شاخص‌های عملکرد وابسته به توان گزارش شده است (۳۰، ۳۴، ۳۵).

شواهد همچنین نشان می‌دهند که عملکرد بی‌هوازی در آزمون دوچرخه‌کارسنج ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های ترکیب بدنی دارد. به‌طور کلی، توده بدون چربی و توده عضلانی اسکلتی بیشتر با افزایش توان بیشینه، توان میانگین و عملکرد پرش همراه هستند، در حالی که درصد بالاتر چربی بدن با کاهش عملکرد و افزایش خستگی ارتباط دارد (۳۹، ۴۰). علاوه بر این، رویکردهای مختلف تمرینات مقاومتی ممکن است پیامدهای عملکردی متفاوتی ایجاد کنند؛ به‌طوری‌که تمرین مبتنی بر سرعت به‌ویژه در بهبود قدرت انفجاری و توان بیشینه مؤثر است، در حالی که تمرین مبتنی بر درصد یک تکرار بیشینه ممکن است برای افزایش توان میانگین و ظرفیت‌های مرتبط با استقامت سودمندتر باشد (۴۱–۴۳). بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثربخشی تمرینات دوچرخه‌سواری توانی به‌عنوان یک مداخله هدفمند برای بهبود ظرفیت فعالیت بی‌هوازی در بازیکنان نخبه زن هندبال طراحی شد؛ گروهی از ورزشکاران که در آنان قدرت انفجاری و عملکرد با شدت بالا و کوتاه‌مدت از عوامل کلیدی موفقیت محسوب می‌شود. همچنین، این مطالعه با هدف بررسی ارتباط بین محیط اندام تحتانی، توده عضلانی اسکلتی و شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در آزمون دوچرخه‌کارسنج انجام شد. با تلفیق این متغیرها، تلاش شد مدل‌های پیش‌بینی‌کننده‌ای ارائه شوند که بتوانند به‌عنوان ابزارهایی عملی، عینی و مقرون‌به‌صرفه برای پایش روند پیشرفت ورزشکاران و بهینه‌سازی راهبردهای تمرینی مورد استفاده قرار گیرند.

روش شناسی

شرکت‌کنندگان

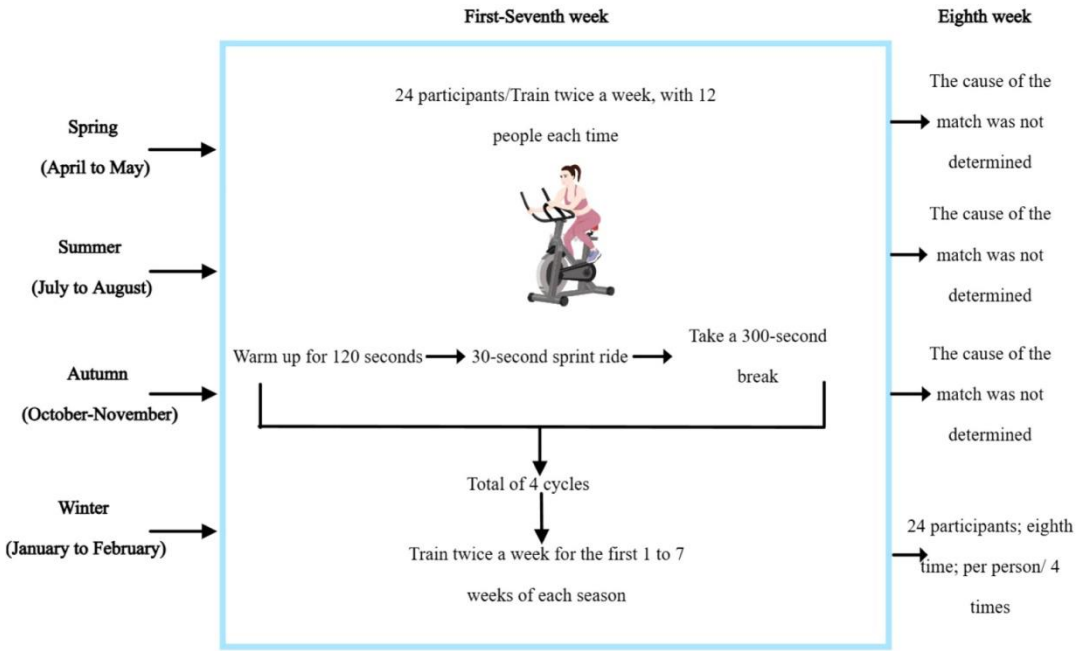
در این پژوهش، ۴۳ بازیکن نخبه زن هندبال که در لیگ ملی هندبال بانوان بنگلادش شرکت کرده بودند و حداقل پنج سال سابقه تمرین مستمر در رشته هندبال داشتند، وارد مطالعه شدند. شرکت‌کنندگان بر اساس عملکرد اولیه در آزمون دوچرخه‌کارسنج بی‌هوازی به دو گروه تقسیم شدند. پس از انجام ارزیابی‌های پایه، ورزشکاران در گروه کنترل (n=۲۱) و گروه تمرین (n=۲۲) قرار گرفتند. به‌منظور افزایش دقت روش‌شناختی، معیارهای ورود و خروج از پیش تعیین شدند. همگنی اولیه دو گروه با استفاده از آزمون t مستقل بررسی شد و نتایج نشان داد که بین دو گروه از نظر متغیرهای اصلی عملکرد بی‌هوازی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. ورزشکارانی که سابقه بیماری‌های قلبی‌عروقی یا هرگونه وضعیت پزشکی منع‌کننده انجام فعالیت‌های بی‌هوازی با شدت بالا را داشتند، از مطالعه کنار گذاشته شدند. تمامی شرکت‌کنندگان به‌صورت داوطلبانه و بدون دریافت هیچ‌گونه پاداش مالی در پژوهش شرکت کردند و پیش از آغاز جمع‌آوری داده‌ها، رضایت‌نامه آگاهانه کتبی را امضا نمودند. تمامی مراحل پژوهش بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد آزمون اجرا شد. پیش از جمع‌آوری داده‌ها، اطلاعات جمعیت‌شناختی شامل سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی ثبت شد. همچنین، ترکیب بدنی و توده عضلانی اسکلتی با استفاده از دستگاه معتبر آنالیز امپدانس بیوالکتریکی (InBody 720، شرکت Biospace)، سئول، کره جنوبی ارزیابی شد (۴۴، ۴۵).

اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریکی و مورفولوژی اندام تحتانی

پیش از انجام آزمون‌ها، اهداف و مراحل اجرای پژوهش به‌طور کامل برای تمامی شرکت‌کنندگان توضیح داده شد. به‌منظور افزایش دقت و پایایی اندازه‌گیری‌ها، تمامی ارزیابی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی توسط یک ارزیاب دارای صلاحیت انجام شد. شرکت‌کنندگان در وضعیت ایستاده و با توزیع یکنواخت وزن بدن بر روی هر دو اندام تحتانی قرار گرفتند. محیط ران با استفاده از نوار آنتروپومتری لوفکین (Lufkin W606PM) در نقطه میانی بین برجستگی تروکانتر بزرگ و کندیل خارجی استخوان ران اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر ثبت شد (۴۶، ۴۷). محیط ساق نیز در بیشترین محیط عضله ساق اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های اولیه یک روز پیش از شروع مداخله انجام شد و ارزیابی‌های پس از مداخله نیز یک روز پس از پایان آخرین جلسه تمرینی صورت گرفت.

پروتکل تمرین دوچرخه‌سواری بی‌هوازی

مداخله تمرینی دوچرخه‌سواری بی‌هوازی به‌صورت طولی و در چهار دوره فصلی (زمستان، بهار، تابستان و پاییز) اجرا شد. در هر دوره، گروه تمرین یک برنامه پیش‌رونده به مدت ۳/۵ هفته را شامل هفت جلسه تمرینی، با فراوانی دو جلسه در هفته، انجام داد. تمامی جلسات تمرینی در برنامه تمرینات معمول فصل مسابقات ورزشکاران ادغام شد. هر جلسه با یک گرم‌کردن فعال استاندارد شامل ۱۲۰ ثانیه رکاب‌زدن سبک آغاز می‌شد. سپس شرکت‌کنندگان یک آزمون دوچرخه‌سواری بیشینه به مدت ۳۰ ثانیه به روش وینگیت را در برابر مقاومتی معادل ۰/۰۷۵ کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن اجرا می‌کردند. پس از آن، ۳۰۰ ثانیه استراحت غیرفعال در نظر گرفته می‌شد. این توالی در هر جلسه تمرینی چهار بار تکرار شد (شکل ۱). گروه کنترل تنها برنامه معمول تمرینات هندبال خود شامل تمرینات فنی، تاکتیکی و آمادگی جسمانی را ادامه داد و هیچ‌گونه تمرین اضافی دوچرخه‌سواری دریافت نکرد. ارزیابی متغیرهای پیامد در آغاز مطالعه و پس از پایان دوره مداخله انجام شد. طراحی این پروتکل بر اساس اصول پذیرفته‌شده فیزیولوژی ورزش که به‌طور گسترده برای ارزیابی عملکرد بی‌هوازی و سازگاری‌های ناشی از تمرین مورد استفاده قرار می‌گیرند، انجام شد (۸، ۴۹).



شکل ۱. نمایش شماتیک پروتکل تمرین دوچرخه‌سواری توانی بی‌هوازی.

تحلیل آماری

تمامی داده‌ها ابتدا در نرم‌افزار Microsoft Excel وارد و سپس با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۰/۲۵ (IBM Corp.)، آرمونک، نیویورک، ایالات متحده آمریکا تجزیه‌وتحلیل شدند. برای اطمینان از صحت داده‌ها، ورود اطلاعات به‌صورت مستقل بازبینی شد. پیش از انجام تحلیل‌های استنباطی، طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. تمامی متغیرهای اصلی پژوهش شرایط لازم برای استفاده از آزمون‌های پارامتریک را برآورده کردند. آمار توصیفی به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شد. برای بررسی تفاوت‌های اولیه بین دو گروه از آزمون t مستقل استفاده شد. همچنین، به‌منظور بررسی تغییرات درون‌گروهی طی جلسات تمرینی، از تحلیل واریانس یک‌طرفه با اندازه‌گیری‌های مکرر و برای ارزیابی اثر متقابل گروه × زمان از تحلیل واریانس دوطرفه با اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده شد. در صورت مشاهده اثرات معنی‌دار، مقایسه‌های تعقیبی با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام گرفت. علاوه بر این، برای بررسی ارتباط بین ویژگی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی و شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی دوچرخه‌کارسنج از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. سپس، به‌منظور ارائه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده برای مهم‌ترین شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی، تحلیل رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از متغیرهای آنتروپومتریکی اندام تحتانی و توده عضلانی اسکلتی به‌عنوان متغیرهای پیش‌بین انجام شد. در تمامی تحلیل‌ها، سطح معنی‌داری آماری برابر با $p< ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

نتایج

ویژگی‌های توصیفی شرکت‌کنندگان در دوره‌های مختلف مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در ابتدای مطالعه، تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های آنتروپومتریکی شرکت‌کنندگان بین دوره‌های مختلف وجود نداشت و از این نظر، گروه‌ها از همگنی مناسبی برخوردار بودند. نتایج آزمون وینگیت در مرحله پیش‌آزمون برای گروه کنترل و گروه تمرین در جدول ۲ ارائه شده است. مقایسه دو گروه نشان داد که پیش از شروع مداخله، تفاوت معنی‌داری در توان میانگین، توان میانگین نسبت به وزن بدن، توان بیشینه، توان بیشینه نسبت به وزن بدن، شاخص خستگی و کل کار انجام‌شده بین دو گروه وجود نداشت ($p> ۰/۰۵$). ین یافته‌ها بیانگر همگنی اولیه گروه‌ها از نظر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی بودند. تغییرات شاخص‌های عملکرد آزمون وینگیت پس از اجرای مداخله در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بین دو گروه در توان میانگین ($p= ۰/۰۲۹$) و توان بیشینه نسبت به وزن بدن ($p= ۰/۰۲۲$) تفاوت معنی‌داری وجود داشت. اگرچه در گروه تمرین بهبودهایی در برخی شاخص‌های عملکرد مشاهده شد، اما در متغیرهای توان بیشینه، شاخص خستگی و کل کار انجام‌شده، تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد ($p> ۰/۰۵$).

جدول ۱. ویژگی‌های توصیفی شرکت‌کنندگان در دوره‌های مختلف مطالعه

متغیر	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
سن (سال)	۲۱/۱۶ ± ۱/۷۳	۲۱/۱۶ ± ۱/۷۳	۲۱/۱۶ ± ۱/۷۳	۲۱/۱۶ ± ۱/۷۳
وزن (کیلوگرم)	۶۰/۲۳ ± ۰/۴۷	۶۲/۱۵ ± ۱۲/۳۹	۶۱/۹۴ ± ۱۱/۶۷	۶۲/۶۳ ± ۱۲/۲۸
قد (سانتی‌متر)	۱۶۶/۱۲ ± ۶/۱۹	۱۶۶/۱۲ ± ۶/۱۹	۱۶۶/۲۲ ± ۶/۲۷	۱۶۶/۱۲ ± ۶/۱۹
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	۲۲/۲۳ ± ۱/۹۷	۲۲/۳۶ ± ۱/۸۱	۲۲/۳۶ ± ۱/۸۱	۲۲/۲۷ ± ۱/۷۴
سابقه تمرین (سال)	۶/۲۳ ± ۲/۴۵	۶/۳۳ ± ۲/۵۴	۶/۵۴ ± ۲/۵۷	۶/۶۳ ± ۲/۶۳

BMI: شاخص توده بدنی.

جدول ۲. مقایسه شاخص‌های عملکرد آزمون وینگیت در مرحله پایه بین گروه کنترل و گروه تمرین

متغیر	گروه	میانگین ± انحراف معیار	F	مقدار p
توان میانگین (MP، وات)	کنترل	۴۲۵/۲۷ ± ۷۲/۸۴	۱/۵۱۳	۰/۲۱۸
	تمرین	۴۰۷/۳۹ ± ۸۸/۲۱		
توان میانگین نسبت به وزن بدن (MP/BW، وات بر کیلوگرم)	کنترل	۵/۹۴ ± ۰/۸۷	۲/۳۷۲	۰/۱۱۳
	تمرین	۵/۸۷ ± ۰/۷۱		
توان اوج (PP، وات)	کنترل	۷۵۷/۳۷ ± ۲۲۷/۱۹	۰/۵۱۶	۰/۴۵۳
	تمرین	۷۲۶/۴۸ ± ۲۱۱/۲۱		
توان اوج نسبت به وزن بدن (PP/BW، وات بر کیلوگرم)	کنترل	۱۱/۸۲ ± ۱/۹۷	۳/۷۳۲	۰/۰۵۱
	تمرین	۱۱/۱۹ ± ۱/۲۳		
شاخص خستگی (FI، وات بر ثانیه)	کنترل	۱۷/۸۸ ± ۸/۱۲	۰/۰۴۱	۰/۸۶۰
	تمرین	۱۷/۹۲ ± ۶/۲۱		
کار کل (TW، وات)	کنترل	۱۳۰۱۳/۷۹ ± ۲۴۰۱/۱۴	۱/۵۰۱	۰/۲۱۸
	تمرین	۱۲۲۶۷/۴۷ ± ۲۶۸۷/۸۸		

مقادیر به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده‌اند.

جدول ۳. تغییرات شاخص‌های عملکرد آزمون وینگیت پس از اجرای مداخله تمرینی

متغیر	گروه	میانگین تغییر (پس‌آزمون − پیش‌آزمون) ± انحراف معیار	F	مقدار p
توان میانگین (MP، وات)	کنترل	−۹/۱۲ ± ۹۶/۲۴	۴۶۹.۴	۰/۰۲۹
	تمرین	۲۵/۲۳ ± ۴۸/۳۳		
توان میانگین نسبت به وزن بدن (MP/BW، وات بر کیلوگرم)	کنترل	۰/۱۸ ± ۰/۷۷	۲/۱۹۴	۰/۱۴۱
	تمرین	۰/۵۲ ± ۰/۹۱		
توان اوج (PP، وات)	کنترل	−۲۷/۲۴ ± ۲۰۱/۱۳	۱/۶۲۵	۰/۱۸۲
	تمرین	۱۶/۶۶ ± ۱۱۱/۸۴		
توان اوج نسبت به وزن بدن (PP/BW، وات بر کیلوگرم)	کنترل	−۰/۷۱ ± ۲/۲۲	۵/۴۴۹	۰/۰۲۲
	تمرین	۰/۴۱ ± ۱/۹۳		
شاخص خستگی (FI، وات بر ثانیه)	کنترل	۱/۰۷ ± ۵/۴۱	۱/۱۰۲	۰/۳۱۴
	تمرین	۰/۰۱ ± ۳/۸۱		
کار کل (TW، وات)	کنترل	۱۳۹/۸۸ ± ۲۵۰۱/۲۷	۱/۶۷۵	۰/۱۸۹
	تمرین	۷۴۶/۱۹ ± ۱۷۱۱/۰۱		

مقادیر به‌صورت تغییر میانگین ± انحراف معیار گزارش شده‌اند.

تغییرات شاخص‌های عملکردی طی هفت جلسه اجرای برنامه تمرین دوچرخه‌سواری توانی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که توان میانگین (p= ۰/۰۰۴)، توان میانگین نسبت به وزن بدن (p< ۰/۰۰۱)، حداقل توان (p= ۰/۰۱۷) و کل کار انجام‌شده (p= ۰/۰۳۷) در طول دوره تمرینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. نتایج آزمون تعقیبی نیز نشان داد که عملکرد ورزشکاران در جلسات پنجم تا هفتم به‌طور معنی‌داری بهتر از جلسات ابتدایی بود. در مقابل، تغییرات توان بیشینه، توان بیشینه نسبت به وزن بدن و شاخص خستگی در طول دوره تمرینی از نظر آماری معنی‌دار نبود (p> ۰/۰۵). ویژگی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی و ارتباط آن‌ها با شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج تحلیل همبستگی بیانگر وجود ارتباط مثبت و معنی‌دار بین عملکرد بی‌هوازی و توده عضلانی اسکلتی، محیط ران و محیط ساق بود. همچنین، وزن بدن با توده عضلانی اسکلتی اندام تحتانی و برخی اندازه‌های محیط اندام‌ها ارتباط مثبت و معنی‌داری نشان داد. به‌منظور تعیین ارزش پیش‌بینی‌کنندگی ویژگی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی برای عملکرد بی‌هوازی دوچرخه‌کارسنج، تحلیل رگرسیون خطی چندگانه انجام شد که نتایج آن در جدول

۵ ارائه شده است. مدل‌های رگرسیونی توانستند ۸۶/۶ درصد از واریانس توان بیشینه، ۸۲/۸ درصد از واریانس توان میانگین، ۶۱/۸ درصد از واریانس توان بیشینه نسبت به وزن بدن و ۷۰/۱ درصد از واریانس شاخص خستگی را تبیین کنند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که توده عضلانی اسکلتی اندام تحتانی و محیط اندام‌ها از پیش‌بین‌های مهم عملکرد بی‌هوازی در آزمون دوچرخه‌کارسنج در بازیکنان نخبه زن هندبال هستند.

جدول ۴. اثرات تمرین دوچرخه‌سواری قدرتی بر شاخص‌های عملکرد آزمون وینگیت در هفت جلسه تمرینی

جلسه	MP (W)	MP/BW ($W \cdot kg^{-1}$)	PP (W)	PP/BW ($W \cdot kg^{-1}$)	MinP (W)	FI ($W \cdot s^{-1}$)	TW (W)
۱	۴۰۶/۲۳ ± ۶۳/۵۸	۶/۱۱ ± ۰/۲۲	۷۲۲/۳۶ ± ۲۰۳/۲۱	۱۱/۱۶ ± ۱/۴۱	۲۴۷/۱۴ ± ۱۳/۷۸	۱۸/۷۱ ± ۵/۵۷	۱۲۵۲۱/۱۷ ± ۲۷۷۷/۹۲
۲	۴۱۰/۳۹ ± ۶۷/۵۴	۶/۱۱ ± ۰/۱۹	۷۲۶/۴۱ ± ۲۲۰/۲۱	۱۱/۱۸ ± ۱/۴۶	۲۴۱/۶۶ ± ۶۴/۰۰	۱۹/۲۸ ± ۶/۹۵	۱۲۵۷۳/۱۸ ± ۲۷۳۲/۴۱
۳	۴۱۶/۸۶ ± ۷۱/۰۲	۶/۳۰ ± ۰/۳۹	۷۲۹/۴۱ ± ۲۲۱/۱۰	۱۱/۱۹ ± ۱/۴۲	۲۴۸/۲۷ ± ۷۱/۴۷	۱۸/۷۷ ± ۶/۷۹	۱۲۶۰۹/۳۲ ± ۲۶۹۹/۰۰
۴	۴۲۱/۸۸ ± ۷۸/۲۱	۶/۳۹ ± ۰/۴۴	۷۳۱/۱۲ ± ۲۱۲/۵۳	۱۱/۲۱ ± ۱/۵۶	۲۵۸/۲۵ ± ۶۸/۶۶	۱۸/۴۱ ± ۶/۵۲	۱۲۷۷۰/۱۴ ± ۲۷۱۵/۷۵
۵	۴۲۷/۰۲ ± ۸۱/۲۹	۶/۴۷ ± ۰/۵۲	۷۳۱/۵۵ ± ۲۱۰/۲۳	۱۱/۲۳ ± ۱/۶۸	۲۶۳/۲۳ ± ۷۴/۳۱	۱۸/۰۹ ± ۶/۴۱	۱۲۸۵۹/۰۷ ± ۲۷۱۵/۱۱
۶	۴۲۹/۴۷ ± ۸۳/۵۸	۶/۵۸ ± ۰/۵۶	۷۳۶/۶۴ ± ۲۳۴/۸۱	۱۱/۲۳ ± ۱/۷۰	۲۶۴/۰۱ ± ۶۹/۱۲	۱۸/۰۶ ± ۶/۰۱	۱۲۸۵۹/۰۷ ± ۲۷۱۵/۱۱
۷	۴۳۱/۳۷ ± ۸۴/۱۹	۶/۷۲ ± ۰/۷۷	۷۴۰/۳۲ ± ۲۳۱/۰۱	۱۱/۲۷ ± ۱/۶۳	۲۷۱/۳۶ ± ۶۳/۱۲	۱۸/۷۱ ± ۶/۱۱	۱۳۰۷۸/۸۶ ± ۲۵۵۳/۱۹

جدول ۵. مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه برای پیش‌بینی شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی دوچرخه‌سواری بر اساس شاخص‌های مورفولوژیکی اندام تحتانی

متغیر وابسته	پیش‌بین	B	SE	بتا	t	مقدار p	R^2
توان اوج (PP)	مقدار ثابت	-۳۲/۴۸۲	۱۸۷/۳۹۳	—	-۰/۱۶۵	۰/۷۷۲	۰/۸۶۶
	جرم عضلانی اسکلتی پای چپ (LL)	۱۳۲/۸۱۰	۱۵/۳۸۷	۰/۹۸۹	۹/۱۴۵	<۰/۰۰۱	
	محیط ساق پای راست (RCC)	-۴۴/۳۱۴	۱۱/۸۱۴	-۰/۶۳۱	-۴/۲۸۳	<۰۰۰۱۰	
	محیط ران پای چپ (LTC)	۲۲/۶۸۰	۶/۷۶۴	۰/۵۳۲	۳/۶۴۲	۰/۰۰۱	
توان میانگین (MP)	مقدار ثابت	۱۷/۳۲۷	۲۷/۳۹۵	—	۰/۴۲۴	۰/۵۷۸	۰/۸۲۸
	جرم عضلانی اسکلتی پای راست (RL)	۵۰/۷۳۴	۳/۳۸۸	۰/۹۲۱	۱۳/۸۶۵	<۰/۰۰۱	
توان اوج نسبی به وزن بدن (PP/BW)	مقدار ثابت	۱۴/۳۹۷	۲/۶۰۱	—	۵/۸۴۱	<۰/۰۰۱	۰/۶۱۸
	جرم عضلانی اسکلتی پای چپ (LL)	۱/۲۱۰	۰/۱۸۹	۱/۱۰۱	۵/۶۷۱	<۰/۰۰۱	
	محیط ساق پای راست (RCC)	-۰/۸۷۶	۰/۱۳۸	-۱/۵۱۲	-۶/۱۱۲	<۰/۰۰۱	
	محیط ران پای چپ (LTC)	۰/۳۳۹	۰/۰۸۹	۱/۱۲۴	۳/۶۷۷	۰/۰۰۱	
شاخص خستگی (FI)	مقدار ثابت	-۸/۷۶۷	۲/۵۸۷	—	-۳/۳۴۱	۰/۰۰۲	۰/۷۰۱
	جرم عضلانی اسکلتی پای چپ (LL)	۳/۲۷۲	۰/۳۱۵	۰/۸۵۱	۱۰/۲۵۱	<۰/۰۰۱	

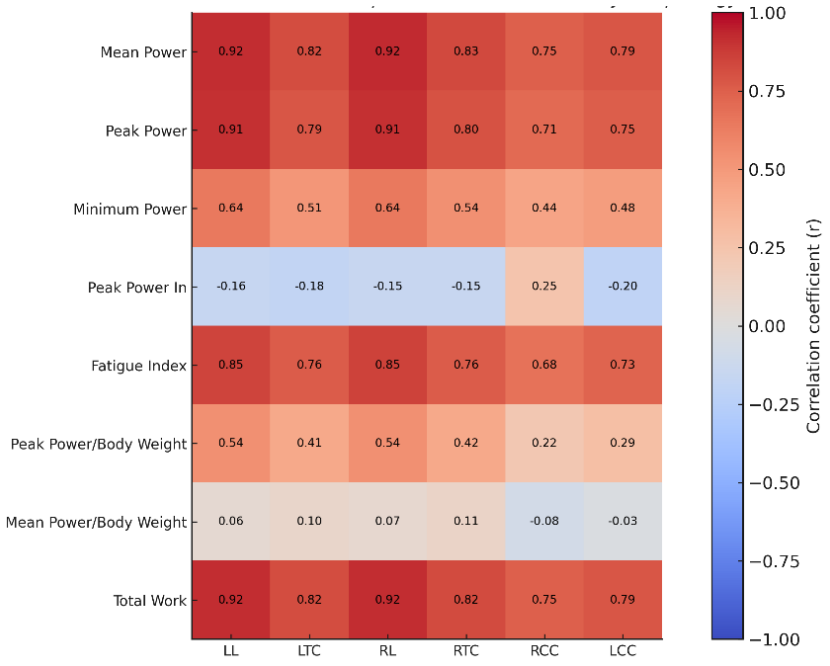
نکته: LL: جرم عضلانی اسکلتی پای چپ؛ RL: جرم عضلانی اسکلتی پای راست؛ LTC: محیط ران پای چپ؛ RCC: محیط ساق پای راست؛ B: ضریب رگرسیون غیر استاندارد؛ SE: خطای استاندارد؛ Beta: ضریب رگرسیون استانداردشده؛ R^2: ضریب تعیین.

بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات تمرین دوچرخه‌سواری توانی بی‌هوازی بر عملکرد بی‌هوازی و همچنین بررسی ارتباط ویژگی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی با عملکرد بی‌هوازی در آزمون دوچرخه‌کارسنج در بازیکنان نخبه زن هندبال انجام شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که تمرین دوچرخه‌سواری توانی موجب بهبود برخی از شاخص‌های آزمون وینگیت، به‌ویژه توان میانگین، توان میانگین نسبت به وزن بدن، حداقل توان و کل کار انجام‌شده شد. همچنین، توده عضلانی اسکلتی اندام تحتانی و محیط ران ارتباط معنی‌داری با عملکرد بی‌هوازی داشتند و در مدل‌های رگرسیونی به‌عنوان پیش‌بین‌های مهم عملکرد بی‌هوازی شناخته شدند. ظرفیت بی‌هوازی یکی از مؤلفه‌های اساسی عملکرد در ورزش هندبال محسوب می‌شود، زیرا این رشته مستلزم اجرای

مکرر دوی سرعت، پرش، شتاب‌گیری، کاهش سرعت و تغییر جهت‌های سریع در طول مسابقه است (۴، ۹–۱۳). ازاین‌رو، استفاده از روش‌های تمرینی که بتوانند توان اندام تحتانی و عملکرد در فعالیت‌های کوتاه‌مدت با شدت بالا را بهبود بخشند، از اهمیت کاربردی ویژه‌ای برخوردار است.

تمرین دوچرخه‌سواری توانی نوعی فعالیت بی‌هوازی با شدت بالا است که فشار قابل‌توجهی بر سیستم‌های انرژی آدنوزین‌تری‌فسفات–فسفوکراتین و گلیکولیتیک وارد می‌کند و در نتیجه، سازگاری‌هایی مرتبط با تولید توان و مقاومت در برابر خستگی ایجاد می‌کند. مطالعات پیشین نیز بهبود عملکرد بی‌هوازی را پس از اجرای تمرینات تناوبی با شدت بالا و تمرینات تناوبی سرعت در ورزشکاران رشته‌های تیمی گزارش کرده‌اند (۵۱–۵۷). یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که گروه تمرین نسبت به گروه کنترل، بهبود بیشتری در شاخص‌های عملکرد آزمون وینگیت داشت. این بهبودها به‌ویژه در توان میانگین و توان بیشینه نسبت به وزن بدن پس از پایان دوره تمرینی معنی‌دار بود. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین همسو است که نشان داده‌اند برنامه‌های تمرینی مبتنی بر تمرینات تناوبی با شدت بالا می‌توانند توان بی‌هوازی، توانایی اجرای مکرر دوی سرعت و عملکرد در فعالیت‌های شدید را در بازیکنان هندبال و سایر ورزشکاران بهبود بخشند (۲۱، ۵۱–۵۴). همچنین، افزایش تدریجی عملکرد طی جلسات تمرینی نشان می‌دهد که مواجهه مکرر با محرک‌های تمرینی شدید ناشی از دوچرخه‌سواری می‌تواند توانایی حفظ تولید توان را در فعالیت‌های بیشینه کوتاه‌مدت افزایش دهد. یافته مهم دیگر این پژوهش، ارتباط قوی بین ویژگی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی و عملکرد بی‌هوازی بود. محیط ران و توده عضلانی اسکلتی اندام تحتانی با چندین شاخص آزمون وینگیت همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند. این یافته با نتایج پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد که نشان داده‌اند اندازه عضله و سطح مقطع آن از عوامل مهم تعیین‌کننده تولید نیرو و توان هستند (۶۰–۶۲). از آنجا که افزایش توده عضلانی ظرفیت بیشتری برای تولید نیرو فراهم می‌کند، ورزشکارانی که از رشد عضلانی بیشتری در اندام تحتانی برخوردار هستند، معمولاً می‌توانند در آزمون‌های بی‌هوازی، مقادیر بیشتری از توان بیشینه و توان میانگین را تولید کنند.



شکل ۲. ماتریس حرارتی همبستگی بین شاخص‌های ساختاری (مورفولوژیکی) اندام تحتانی و معیارهای عملکرد توان بی‌هوازی

روابط مشاهده‌شده در این مطالعه احتمالاً بازتابی از سازگاری‌های فیزیولوژیکی ناشی از تمرینات با شدت بالا و تمرینات مقاومتی است. بهبودهای اولیه عملکرد معمولاً ناشی از سازگاری‌های عصبی، از جمله افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی و بهبود هماهنگی عصبی‌عضلانی است، در حالی که بهبودهای بلندمدت بیشتر به هیپرتروفی عضلانی و افزایش پروتئین‌های انقباضی نسبت داده می‌شوند (۶۵–۶۷). همچنین، پژوهش‌های گذشته نشان داده‌اند که تمرینات مقاومتی و تمرینات با شدت بالا می‌توانند طی چند هفته موجب افزایش محیط ران و توده عضلانی اسکلتی شوند و در نتیجه، عملکرد قدرتی و توانی را بهبود بخشند (۶۳، ۶۶–۶۸). یافته‌های پژوهش حاضر نیز این نتایج را تأیید کرده و نشان می‌دهد که ویژگی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی ارتباط نزدیکی با شاخص‌های توان بی‌هوازی در بازیکنان زن هندبال دارند.

عوامل محیطی، وضعیت تغذیه‌ای و ویژگی‌های بار تمرینی نیز می‌توانند بر عملکرد بی‌هوازی و میزان سازگاری ناشی از تمرین تأثیرگذار باشند (۴۶، ۶۸، ۶۹). با وجود این، ارتباط قوی مشاهده‌شده بین توده عضلانی اسکلتی اندام تحتانی، محیط اندام‌ها و عملکرد بی‌هوازی در آزمون دوچرخه‌کارسنج با اصول شناخته‌شده فیزیولوژی ورزش همخوانی دارد که بر اساس آن، تولید نیرو ارتباط مستقیمی با اندازه عضله و سطح مقطع فیزیولوژیک آن دارد (۶۸–۷۰). این یافته‌ها از به‌کارگیری اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریکی اندام تحتانی به‌عنوان شاخص‌هایی عملی برای برآورد ظرفیت عملکرد بی‌هوازی حمایت می‌کنند. همچنین، مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده در این پژوهش توانستند بخش قابل‌توجهی از واریانس متغیرهای عملکرد بی‌هوازی را تبیین کنند. از دیدگاه کاربردی، این مدل‌ها می‌توانند ابزاری ساده، کم‌هزینه و در دسترس برای مربیان و متخصصان علوم ورزشی باشند تا در شرایطی که تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته در اختیار نیست، عملکرد بی‌هوازی ورزشکاران را برآورد کنند. چنین رویکردی به‌ویژه در محیط‌های تمرینی و باشگاه‌های ورزشی که دسترسی به تجهیزات تخصصی ارزیابی عملکرد محدود است، می‌تواند ارزش عملی قابل‌توجهی داشته باشد. با این حال، این پژوهش دارای محدودیت‌هایی نیز بود که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست، مطالعه تنها بر روی بازیکنان زن هندبال انجام شد؛ بنابراین، تعمیم نتایج به ورزشکاران مرد یا سایر رشته‌های ورزشی باید با احتیاط صورت گیرد. دوم، حجم نمونه نسبتاً محدود بود که ممکن است قابلیت تعمیم مدل‌های پیش‌بینی‌کننده را کاهش دهد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده این مدل‌ها را در نمونه‌های بزرگ‌تر و متنوع‌تر از ورزشکاران بررسی کرده و کاربرد آن‌ها را در رشته‌های ورزشی مختلف و سطوح متفاوت رقابتی ارزیابی کنند.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد که اجرای یک برنامه هدفمند تمرین دوچرخه‌سواری توانی بی‌هوازی موجب بهبود توان میانگین و توان بیشینه نسبی در بازیکنان نخبه زن هندبال می‌شود. اگرچه دو گروه در ابتدای مطالعه از نظر شاخص‌های عملکرد بی‌هوازی همگن بودند، گروه تمرین در طول دوره مداخله روندی پیشرونده از بهبود عملکرد را نشان داد و پس از پایان مداخله، در برخی از شاخص‌های آزمون وینگیت عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل داشت. همچنین، ویژگی‌های مورفولوژیک اندام تحتانی، به‌ویژه توده عضلانی اسکلتی و محیط ران، به‌عنوان پیش‌بین‌های معنی‌دار عملکرد بی‌هوازی در آزمون دوچرخه‌کارسنج شناسایی شدند. مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه ارائه‌شده در این پژوهش می‌توانند به‌عنوان روشی عملی، کم‌هزینه و قابل استفاده در محیط‌های ورزشی برای ارزیابی وضعیت آمادگی اندام تحتانی و پایش عملکرد بی‌هوازی ورزشکاران، به‌ویژه در شرایطی که دسترسی به تجهیزات پیشرفته آزمایشگاهی محدود است، مورد استفاده قرار گیرند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش مطابق با اصول اخلاقی مندرج در بیانیه هلسینکی انجام شد. پیش از جمع‌آوری داده‌ها، اطلاعات کامل در خصوص اهداف پژوهش، روش اجرا، مخاطرات احتمالی و محرمانه بودن اطلاعات در اختیار تمامی شرکت‌کنندگان قرار گرفت. همچنین، پیش از ورود به مطالعه، رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از تمامی شرکت‌کنندگان اخذ شد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی ویژه‌ای از سازمان‌ها یا نهادهای دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرد.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان به‌طور مساوی در ایده‌پردازی و طراحی پژوهش، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر نتایج و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همچنین، همه نویسندگان نسخه نهایی مقاله را بررسی و تأیید کردند.

تعارض

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در ارتباط با این پژوهش ندارند.

Reference

1. Bělka J, Hůlka K, Šafář M, Dušková L, Weisser R, Riedel V. Time-motion analysis and physiological responses of small-sided team handball games in youth male players: influence of player number. Acta Gymnica. 2016;46(4):201-6. [DOI:10.5507/ag.2016.019]

2. Wagner H, Finkenzeller T, Würth S, von Duvillard SP. Individual and team performance in team-handball: a review. Journal of Sports Science and Medicine. 2014;13(4):808-16.

3. Liu H, Li R, Zheng W, Ramirez-Campillo R, de Villarreal ES, Zhang M. The effect of combined strength, plyometric, and sprint training on repeated sprint ability in team-sport athletes: a systematic review and meta-analysis. Journal of Sports Science and Medicine. 2024;23(4):718-43. [DOI:10.52082/jssm.2024.718]

4. Wang X, Zhang K, Samsudin SB, Hassan MZ, Yaakob SS, Dong D. Effects of plyometric training on physical fitness attributes in handball players: a systematic review and meta-analysis. Journal of Sports Science and Medicine. 2024;23(1):177-91. [DOI:10.52082/jssm.2024.177]

5. Luteberget LS, Spencer M. High-intensity events in international women's team handball matches. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2017;12(1):56-61. [DOI:10.1123/ijspp.2015-0641]

6. Póvoas SC, Castagna C, Resende C, Coelho EF, Silva P, Santos R, et al. Physical and physiological demands of recreational team handball for adult untrained men. BioMed Research International. 2017;2017:6204603. [DOI:10.1155/2017/6204603]

7. Alkufe RKA, Alshammary FK. The effect of compound anaerobic exercises on certain bio-kinetic abilities of handball players. International Journal of Yogic, Human Movement and Sports Sciences. 2025;10(1):323-8. [DOI:10.22271/yogic.2025.v10.i1e.1740]

8. Ding H, Zhao R, Wang J, Zhao S. Effects of anaerobic power bicycle training on the lower-limb anaerobic exercise ability of female basketball players. Apunts Sports Medicine. 2025;60(228):100494. [DOI:10.1016/j.apunsm.2025.100494]

9. Heuvelmans P, Gokeler A, Benjaminse A, Baumeister J, Büchel D. Agility in handball: position- and age-specific insights in performance and kinematics using proximity and wearable inertial sensors. Sensors. 2025;25(9):2728. [DOI:10.3390/s25092728]

10. Wagner H, Fuchs PX, von Duvillard SP. Specific physiological and biomechanical performance in elite, sub-elite and non-elite male team handball players. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2018;58(1-2):73-81. [DOI:10.23736/S0022-4707.16.06758-X]

11. Matthys SP, Fransen J, Vaeyens R, Lenoir M, Philippaerts R. Differences in biological maturation, anthropometry and physical performance between playing positions in youth team handball. Journal of Sports Sciences. 2013;31(12):1344-52. [DOI:10.1080/02640414.2013.781663]

12. Myklebust G, Engebretsen L, Brækken IH, Skjølberg A, Olsen OE, Bahr R. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. Clinical Journal of Sport Medicine. 2003;13(2):71-8. [DOI:10.1097/00042752-200303000-00002]

13. Wedderkopp N, Kaltoft M, Lundgaard B, Rosendahl M, Froberg K. Prevention of injuries in young female players in European team handball: a prospective intervention study. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. 1999;9(1):41-7. [DOI:10.1111/j.1600-0838.1999.tb00205.x]

14. Mukta FT, Rickta JF, Arafat MY. Monitoring of athletes condition: male handball players body part pain in handball performance. Journal of Sports Research. 2025;12(1):24-32. [DOI:10.18488/90.v12i1.4334]

15. Gheorghe C, Michalsik LB, Bădău D, Bădău A, Mereuță C. Effects of post warm-up short-term inactivity on physical and physiological parameters in female elite team handball players. Balneo and PRM Research Journal. 2024;15(1):652. [DOI:10.12680/balneo.2024.652]

16. Póvoas SC, Ascensão AA, Magalhães J, Seabra AF, Krustrup P, Soares JM, et al. Analysis of fatigue development during elite male handball matches. The Journal of Strength and Conditioning Research. 2014;28(9):2640-8. [DOI:10.1519/JSC.0000000000000424]

17. Arazi H, Mosavi SS, Basir SS, Karam MG. The effects of different recovery conditions on blood lactate concentration and physiological variables after high intensity exercise in handball players. Sport Science. 2012;5(2):13-17.

18. Belka J, Hulka K, Safar M, Weisser R, Samcova A. Analyses of time-motion and heart rate in elite female players (U19) during competitive handball matches. Kinesiology. 2014;46(1):33-43.

19. Kounalakis SN, Bayios IA, Koskolou MD, Geladas ND. Anaerobic capacity of the upper arms in top-level team handball players. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2008;3(3):251-61. [DOI:10.1123/ijspp.3.3.251]

20. Chittibabu B. Effect of high intensity interval training on anaerobic capacity and fatigue index of male handball players. International Journal of Physical Education, Fitness and Sports. 2014;3(4):18-23. [DOI:10.26524/1443]

21. Spieszny M, Zubik M. Modification of strength training programs in handball players and its influence on power during the competitive period. Journal of Human Kinetics. 2018;63:149-160. [DOI:10.2478/hukin-2018-0015]

22. Alp A. Effects of plyometric trainings on upper extremity anaerobic power and shot speed in male handball players. European Journal of Educational Sciences. 2021;8(2):60-67. [DOI:10.19044/ejes.v8no2a60]

23. Karadenizli ZI. The effects of plyometric training on balance, anaerobic power and physical fitness parameters in handball. The Anthropologist. 2016;24(3):751-761. [DOI:10.1080/09720073.2016.11892072]

24. Daneshfar A, Gahreman DE, Koozehchian MS, Amani Shalamzari S, Hassanzadeh Sablouei M, Rosemann T, et al. Multi directional repeated sprint is a valid and reliable test for assessment of junior handball players. Frontiers in Physiology. 2018;9:317. [DOI:10.3389/fphys.2018.00317]

25. Manou V, Aguilera JF, Dalamitros AA. Aerobic power, anaerobic power, and vertical jumping ability over an entire competitive period in young elite male handball players. Human Movement. 2019;20(4):28-32. [DOI:10.5114/hm.2019.85941]

26. Starczewski M, Borkowski L, Zmijewski P. Repeated sprint ability demands in U16 to U19 highly trained handball players concerning playing position. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(16):5959. [DOI:10.3390/ijerph17165959]

27. Jia J, Wang C. Short-term resistance training in hypoxia on aerobic and anaerobic exercise performance of male gymnasts. Journal of Guangzhou Sport University. 2020;40(2):91-96.

28. Wang C. Effects of high-intensity intermittent training on aerobic and anaerobic exercise performance in juvenile male basketball athletes. Journal of Xi'an Physical Education University. 2019;36(2):211-219.

29. Zhang J, Zhang L. Experimental study on the effects of Swiss ball core strength training on aerobic and anaerobic exercise ability. Journal of Biomedical Engineering Research. 2012;31(3):157-160.

30. Abe T, DeHoyos DV, Pollock ML, Garzarella L. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. European Journal of Applied Physiology. 2000;81(3):174-180. [DOI:10.1007/s004210050027]

31. Tesch PA, Ekberg A, Lindquist DM, Trieschmann JT. Muscle hypertrophy following 5-week resistance training using a non-gravity-dependent exercise system. Acta Physiologica Scandinavica. 2004;180(1):89-98. [DOI:10.1046/j.0001-6772.2003.01225.x]

32. Jones PR, Pearson J. Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volumes in young male and female adults. The Journal of Physiology. 1969;204(2):63P-66P.

33. Maughan RJ, Watson JS, Weir J. Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1983;50(3):309-318. [DOI:10.1007/BF00423237]

34. Kawakami Y, Abe T, Fukunaga T. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. Journal of Applied Physiology. 1993;74(6):2740-2744. [DOI:10.1152/jappl.1993.74.6.2740]

35. Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1989;59(4):310-319. [DOI:10.1007/BF02388334]

36. O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Muscle-tendon structure and dimensions in adults and children. Journal of Anatomy. 2010;216(5):631-642. [DOI:10.1111/j.1469-7580.2010.01218.x]

37. Wernbom M, Augustsson J, Thomeé R. Effects of vascular occlusion training on muscle strength and hypertrophy: a systematic review. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. 2008;18(4):337-348. [DOI:10.1111/j.1600-0838.2008.00788.x]

38. Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y, Abe T. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. Clinical Physiology and Functional Imaging. 2010;30(5):338-343. [DOI:10.1111/j.1475-097X.2010.00949.x]

39. Vargas VZ, de Lira CA, Vancini RL, Rayes AB, Andrade MS. Fat mass is negatively associated with the physiological ability of tissue to consume oxygen. Motriz: Revista de Educação Física. 2018;24(4):e101808. [DOI:10.1590/s1980-6574201800040010]

40. Kahraman MZ, Okut S. The relationship between body composition parameters, anaerobic power, and jumping performance in basketball players. Physical Education of Students. 2025;29(1):66-72. [DOI:10.15561/20755279.2025.0107]

41. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. International Journal of Sports Medicine. 2010;31(5):347-352. [DOI:10.1055/s-0030-1248333]

42. Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard JM, Cronin JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. The Journal of Strength and Conditioning Research. 2011;25(1):267-270. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f]

43. Loturco I, Nakamura FY, Tricoli V, Kobal R, Cal Abad CC, Kitamura K, et al. Determining the optimum power load in jump squat using the mean propulsive velocity. PLoS One. 2015;10(10):e0140102. [DOI:10.1371/journal.pone.0140102]

44. Mukta FT, Rickta JF, Islam MZ, Arafat MY. Correlation between functional movement patterns and performance metrics in national level female handball players. International Journal of Kinesiology and Sports Science. 2025;13(3):81-89. [DOI:10.7575/aiac.ijkss.v.13n.3p.81]

45. Mukta FT, Rickta JF, Arafat MY. AI-guided vs. traditional training in adolescent soccer players: effects on performance and injury risk. Journal of Sport Biomechanics. 2026;11(4):392-409. [DOI:10.61882/JSportBiomech.11.4.392]

46. Maroto-Izquierdo S, García-López D, Fernandez-Gonzalo R, Moreira OC, González-Gallego J, de Paz JA. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. Journal of Science and Medicine in Sport. 2017;20(10):943-951. [DOI:10.1016/j.jsams.2017.03.004]

47. Chromy A, Žalud L, Dobsak P, Suskevic I, Mrkvicova V. Limb volume measurements: comparison of accuracy and decisive parameters of the most used present methods. SpringerPlus. 2015;4(1):707. [DOI:10.1186/s40064-015-1468-7]

48. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. Sports Medicine. 2000;30(1):1-15. [DOI:10.2165/00007256-200030010-00001]

49. Mukta FT, Rickta JF, Arafat MY. Monitoring of athletes condition: male handball players body part pain in handball performance. Journal of Sports Research. 2025;12(1):24-32. [DOI:10.18488/90.v12i1.4334]

50. Olagbegi OM, Adegoke BO, Christie CJ, Bolarinde OS, Jegede JA. Effects of an eight-week stepladder exercise protocol on lower limb muscular strength of apparently healthy young adults. Human Movement. 2017;18(3):60-66. [DOI:10.1515/humo-2017-0026]

51. Stankovic M, Djordjevic D, Trajkovic N, Milanovic Z. Effects of high-intensity interval training (HIIT) on physical performance in female team sports: a systematic review. Sports Medicine - Open. 2023;9(1):78. [DOI:10.1186/s40798-023-00623-2]

52. Barahona-Fuentes G, Hinojosa-Torres C, Espoz-Lazo S, Zavala-Crichton JP, Cortés-Roco G, Yáñez-Sepúlveda R, et al. Impact of training interventions on physical fitness in children and adolescent handball players: a systematic review and meta-analysis. Applied Sciences. 2025;15(11):6208. [DOI:10.3390/app15116208]

53. Yuan Y, Soh KG, Qi F, Bashir M, Zhao N. Effects of high-intensity interval training on selected indicators of physical fitness among male team-sport athletes: a systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2024;19(11):e0310955. [DOI:10.1371/journal.pone.0310955]

54. Čaprić I, Stanković M, Bojić I, Katanić B, Jelaska I, Pezelj L, et al. Effects of different types of high-intensity interval training (HIIT) on physical performance in female basketball players: a systematic review. Life. 2025;15(8):1180. [DOI:10.3390/life15081180]

55. Liu H, Leng B, Li Q, Liu Y, Bao D, Cui Y. The effect of eight-week sprint interval training on aerobic performance of elite badminton players. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(2):638. [DOI:10.3390/ijerph18020638]

56. Nyberg M, Egelund J, Mandrup CM, Andersen CB, Hansen KM, Hergel IM, et al. Leg vascular and skeletal muscle mitochondrial adaptations to aerobic high-intensity exercise training are enhanced in the early postmenopausal phase. The Journal of Physiology. 2017;595(9):2969-2983. [DOI:10.1113/JP273871]

57. De Castro Fernandes JV, Pedrinelli A, Rubio-Arias JÁ. Comparative analysis of treatment strategies for groin injuries in athletes: effects on successful recovery and recurrence of sports conditions-a systematic review. Apunts Sports Medicine. 2025;60(227):100481. [DOI:10.1016/j.apunsm.2025.100481]

58. Zhao D, Liu H, Yang W, Ho IM, Poon ET, Su Y, et al. Effects of low-volume court-based sprint interval training on anaerobic capacity and sport-specific performance in competitive tennis players. Scientific Reports. 2024;14(1):19131. [DOI:10.1038/s41598-024-70198-9]

59. Castañeda-Babarro A. The Wingate anaerobic test: a narrative review of the protocol variables that affect the results obtained. Applied Sciences. 2021;11(16):7417. [DOI:10.3390/app11167417]

60. Zhang Z, Yang Q, He P, Liu X, Zeng X, Mao X, et al. The relationship between thigh circumference and sarcopenia in Chinese community-dwelling elderly aged ≥60 years. Heliyon. 2024;10(24):e39322. [DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e39322]

61. Heidari B. Knee osteoarthritis prevalence, risk factors, pathogenesis and features: part I. Caspian Journal of Internal Medicine. 2011;2(2):205-212.

62. Kumarahewa CV, Amaratunga HA. Effectiveness of quadriceps muscle strengthening on knee joint stability and activities of daily living in patients with knee joint osteoarthritis. Sri Lanka Anatomy Journal. 2020;4(1):1-8. [DOI:10.4038/slaj.v4i1.112]

63. Rahimi M, Saadat P, Hosseini SR, Bayani MA, Bijani A. Muscle strength in diabetics compared to non-diabetic elderly subjects: a cross-sectional and case-control study. Caspian Journal of Internal Medicine. 2019;10(3):265-271.

64. Kim JH, So WY. Associations between weight status and different types of physical fitness variables in Korean men: a community-based study. Journal of Men's Health. 2013;10(2):60-64. [DOI:10.1016/j.jomh.2012.10.002]

65. Kahraman MZ, Okut S. The relationship between body composition parameters, anaerobic power, and jumping performance in basketball players. Physical Education of Students. 2025;29(1):66-72. [DOI:10.15561/20755279.2025.0107]

66. Panzhinskiy E, Culver B, Ren J, Bagchi D, Nair S. Role of mammalian target of rapamycin in muscle growth. In: Bagchi D, Nair S, Sen CK, editors. Nutrition and Enhanced Sports Performance. 2nd ed. London: Academic Press; 2019. p. 251-261. [DOI:10.1016/B978-0-12-813922-6.00022-9]

67. Rogers ME, Rogers NL, Fujita E, Islam MM, Takeshima N. Muscle strength and size gains in older women after four and eight weeks of high-intensity resistance training. International Journal of Sport, Exercise and Health Research. 2017;1(1):22-28. [DOI:10.31254/sportmed.1105]

68. Bartolomei S, Hoffman JR, Stout JR, Merni F. Effect of lower-body resistance training on upper-body strength adaptation in trained men. The Journal of Strength and Conditioning Research. 2018;32(1):13-18. [DOI:10.1519/JSC.0000000000001639]

69. Gilbert PM, Weaver VM. Cellular adaptation to biomechanical stress across length scales in tissue homeostasis and disease. Seminars in Cell and Developmental Biology. 2017;67:141-152. [DOI:10.1016/j.semcdb.2016.09.004]

70. Bertuzzi R, Kiss MAPDM, Damasceno M, Oliveira RS, Lima-Silva AE. Association between anaerobic components of the maximal accumulated oxygen deficit and 30-second Wingate test. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 2015;48(3):261-266. [DOI:10.1590/1414-431x20144043]