



Research Paper

High-Intensity Interval Training on an Aquatic Treadmill in Professional Futsal Players: Effect on Postural Control and Jump-Landing Biomechanics

Safoura Ghasemi*¹, Amirhossein Najimi², Masoud Golpaygani²

1. Department of Biomedical Engineering, Faculty of Biomedical and Mechanical Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran.

2. Department of Sports Physiology and Pathology, Faculty of Sports Sciences, Arak University, Arak, Iran.

Scan to read online



Citation: Ghasemi S, Najimi A, Golpaygani M. High-Intensity Interval Training on an Aquatic Treadmill in Professional Futsal Players: Effect on Postural Control and Jump-Landing Biomechanics. Journal of Sport Biomechanics. 2027;12(4):710–731. <https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.4.710>

Article Info:

Received: 24 August 2026

Accepted: 9 October 2026

Published: 10 October 2026

Keywords:

Postural control, Jump-landing biomechanics, High-intensity interval training, Aquatic treadmill, Elite futsal

ABSTRACT

Objective Anterior cruciate ligament (ACL) injuries are among the common non-contact injuries in futsal and may be associated with poor landing mechanics and postural instability. Aquatic training has been proposed as a potential approach to injury rehabilitation and prevention. Therefore, this study aimed to investigate the effects of six weeks of interval training on an aquatic treadmill on postural control and jump-landing biomechanics in professional futsal players.

Methods This study employed a pretest–posttest controlled design. Sixteen professional futsal players were recruited and randomly assigned to an experimental group ($n = 8$) or a control group ($n = 8$). The experimental group completed a six-week interval training program on an aquatic treadmill. Outcome measures included static and dynamic postural control and jump-landing biomechanics. Data were analyzed using paired and independent-samples t-tests, with the significance level set at $p \leq 0.05$.

Results Aquatic treadmill interval training had a statistically significant effect on static postural control and some measures of dynamic postural control ($p \leq 0.05$). However, no statistically significant effects were observed on jump-landing biomechanics or kinematic parameters associated with ACL injury risk ($p > 0.05$).

Conclusion Six weeks of aquatic treadmill interval training was associated with significant changes in static postural control and selected measures of dynamic postural control in professional futsal players. However, no significant effects were observed on jump-landing biomechanics. Future studies should investigate the effects of longer training programs in larger samples.

* Corresponding Author:

Safoura Ghasemi
s.ghasemi@hut.ac.ir

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/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.

© 2027 The Author(s). Journal of Sport Biomechanics published by Islamic Azad University, Hamedan Branch.

Introduction

Postural control, which is one of the basic components of daily activities and sports skills, is essential for the successful execution of movements and the prevention of musculoskeletal injuries. It develops through the functioning of three main sensory systems (visual, vestibular, and proprioceptive systems), joint mobility, and muscle strength and coordination (1, 2). Among athletes, especially adolescent athletes, balance disorders are considered an important intrinsic risk factor. In this regard, Farhadi (2013) found a significant inverse relationship between static and dynamic balance scores and the frequency of lower extremity injuries among adolescent athletes, indicating that poor balance increases the likelihood of injuries (3). Professional athletes demonstrate different center-of-pressure response patterns during defensive landings compared with novices, which may influence postural control and the risk of lower extremity injuries (4). Due to the high frequency of non-contact injuries in jumping and cutting sports such as futsal, researchers have become increasingly interested in identifying and modifying biomechanical risk factors (5, 6).

Anterior cruciate ligament (ACL) injuries are among the most common non-contact lower extremity injuries observed in ball-sport athletes and are associated with activities such as rapid deceleration, cutting, and improper landing after jumping (7). Faulty jump-landing biomechanics are among the most important risk factors for ACL injury (7). In fact, smaller knee flexion angles, dynamic knee valgus, and internal rotation of the hip joint during landing increase ligament loading (7, 8). Additionally, a stiff landing pattern (reduced trunk flexion) and lateral trunk displacement toward the supporting leg increase the risk of ACL injury (7, 9). Considering that non-contact ACL injuries usually occur during multiphase movement patterns involving knee valgus, internal tibial rotation, and smaller knee flexion angles (10), modifying movement patterns during landing maneuvers has been proposed as a key preventive strategy for ACL injuries (7, 11).

To assess landing risk factors appropriately and economically, field-based testing methods such as the Landing Error Scoring System (LESS) test have been introduced. The inter-rater and intra-rater reliability of this test has been reported to be good to excellent, allowing the assessment of technical errors such as knee valgus, trunk flexion, and ankle angles without expensive laboratory equipment (12, 13). Although laboratory motion analysis systems are the most precise means of assessment, they cannot be easily applied on a large scale due to financial and time constraints. Thus, the LESS test can be a useful tool in both clinical and sports settings (14).

In recent years, aquatic training has been recognized as an effective approach to rehabilitation and performance enhancement due to the physical properties of water, such as buoyancy (reduced body weight), resistance, and waves. Buoyancy helps reduce joint loading, whereas waves provide external stimuli for balance control, thereby improving static and dynamic balance (15, 16). From a neuromuscular perspective, high-intensity interval training may modify movement patterns through the induction of controlled fatigue. Vermeulen et al. (2023) reported that a high-intensity intermittent fatigue protocol in volleyball players resulted in significant alterations in landing kinematics, including a stiffer lower extremity landing strategy (reduced knee and hip flexion) and prolonged pelvis-trunk flexion, which were interpreted as a protective mechanism to attenuate patellar tendon loading (17). In this regard, the aquatic treadmill, as a relatively new device, allows individuals from diverse populations to perform aerobic and interval training in water (18). On the other hand, biomechanical studies have shown that performing plyometric exercises in water leads to a 33–54% reduction in peak impact forces, a 19–54% reduction in impulse, and a 33–62% reduction in the rate of force development compared with land-based exercises (19). This reduction in mechanical loading makes the aquatic environment a safe platform for retraining neuromuscular landing patterns. Studies have shown that this type of training can lead to increased quadriceps muscle volume, reduced joint inflammation, and improved range of motion following ACL injuries (20). Moreover, Hoskins et al. (2013) stated that aquatic training has a greater effect on jumping performance and flexibility in soccer athletes than running on cold and warm aquatic treadmills (21). Lee et al. (2017, 2018) found significant improvements in gait symmetry, balance, and static

strength in stroke patients following aquatic treadmill training (22, 23). Safari et al. (2022) and Sabzi et al. (2022, 2021) highlighted the positive effects of core stability training and aquatic treadmill training on landing performance and balance in older adults and children with attention-deficit/hyperactivity disorder (12, 18, 24).

However, despite the positive findings regarding the effects of aquatic exercises on balance in athletes, no study has yet investigated the effects of interval training on an aquatic treadmill on jump-landing kinematics and balance in professional futsal players. It was hypothesized that six weeks of high-intensity interval training on an aquatic treadmill would have a significant effect on postural control (static and dynamic balance) and jump-landing biomechanics (LESS score and selected kinematic parameters) in professional futsal players. Given the lack of research in this field and the high incidence of lower limb injuries in futsal, the purpose of this study was to assess the effects of six weeks of interval training on an aquatic treadmill on postural control and jump-landing kinematics in professional futsal players.

Methods

Study Design and Participants

The present study was a randomized controlled trial (RCT) with a pretest–posttest design and a control group. Participants were divided into two groups: an experimental group (interval training on an aquatic treadmill) and a control group (no intervention). The study population included all 16 professional futsal players (aged 18–32 years) from Aluminum Arak Club during the 2022–2023 season. Due to the small population size, census sampling (the entire population) was used, and participants were randomly assigned to two groups: experimental and control ($n = 8$ in each group). The inclusion criteria were no musculoskeletal injuries in the lower limbs during the previous three months, no history of joint or bone surgery in the lower limbs, and at least three years of professional futsal experience. The exclusion criteria were absence from more than two training sessions and the occurrence of any injury during the specialized futsal training period. Before the study began, all participants signed informed consent forms. The purpose and potential risks of the study were thoroughly explained to them. The study was approved by the Ethics Committee of Arak University.

Research Instruments

The following instruments were used to achieve the objectives of this study. Interval training was performed on an aquatic treadmill (HydroTrack, HT-1000, Australia) with adjustable speed and depth settings (25). Jump-landing biomechanics were assessed using the Landing Error Scoring System (LESS). For this purpose, two video cameras (Sony, HDR-CX405, Japan) operating at a sampling rate of 60 Hz were positioned 4.8 m (frontal view) and 4 m (sagittal view) from the participants. The recorded videos were analyzed using Kinovea software to calculate LESS scores and assess kinematic parameters, including knee valgus, knee flexion, trunk flexion, and trunk lateral flexion (26). Postural control was assessed using static and dynamic balance tests. Static balance was measured using the Stork Stand Test. The time participants maintained balance on their dominant leg was recorded using a digital stopwatch (Casio, HS-80TW, Japan) (25). Dynamic balance was assessed using the Y Balance Test (YBT) and its dedicated kit (Perform Better, YBT-Kit, USA), which measures reaching performance in three directions. Participants' actual leg lengths were measured using a standard measuring tape (SECA, 201, Germany) (26). Demographic information forms and written consent forms were also used for data collection.

Testing Procedures

Before testing, the dominant leg of each participant was determined using the preferred-leg method for kicking and stepping (27). This procedure identified the right leg as dominant in all participants. Moreover, to control environmental variables and minimize potential confounding factors, the temperature of the testing hall was maintained at 24–26°C, and all tests were conducted between 9:00 and 11:00 a.m. Participants in the control group were instructed not to perform any additional physical exercise beyond their regular team training program. During the pretest, the LESS test was

performed by having participants jump from a 30-cm-high platform positioned at a distance equivalent to half their height, followed immediately by a maximal vertical jump. Two initial trials were performed, followed by three valid recorded attempts. The average score of these three attempts was calculated as the final LESS score. Scoring was performed according to the ten-item LESS checklist (23, 12). For the static balance assessment, the Stork Stand Test was performed with participants standing on their dominant leg, placing their hands on their waist, and positioning their non-dominant foot against the knee of the stance leg. At the tester's command, participants rose onto their toes, and the duration of maintaining the single-leg stance was recorded. The test was performed three times, and the best result was recorded (25). For the dynamic balance assessment, participants performed the YBT by standing on their dominant leg at the center of the Y Balance device and extending their other leg as far as possible in three directions: anterior, posteromedial, and posterolateral. Three attempts were performed in each direction, and the average of the three trials was calculated. Scores were expressed as percentages of leg length (26). Kinematic parameters, including trunk flexion angle, trunk lateral flexion, knee valgus, and knee flexion, were extracted during the LESS test by analyzing the recorded videos using Kinovea software. After the six-week training period, all participants in both groups completed the same tests performed during the pretest phase.

Training Protocol

The experimental group completed a six-week interval training program on an aquatic treadmill, while the control group received no intervention. The training protocol was developed based on the findings of Bressel et al. (2014) (25). The training sessions consisted of a 5-minute warm-up at 50% of the participant's maximum speed, followed by a 5-minute cool-down at 50% of the participant's maximum speed. The water depth was adjusted to the same level as the participant's maximum speed during each session. During training sessions, the xiphoid process of the sternum was monitored, and the water temperature was maintained between 28 and 30°C. The specifications of the training protocol are presented in Table 1. All sessions were supervised by an experienced trainer.

Statistical Analysis

Descriptive statistics were presented as mean $\pm$ standard deviation. The Shapiro-Wilk test was performed to assess the normality of the collected data. Data distributions were also examined using histograms, and Levene's test was performed to assess the homogeneity of variances between groups. The significance level was set at $P \leq 0.05$ for all statistical tests. Data were analyzed using

Table 1. Specifications of the six-week interval training protocol on the aquatic treadmill.

Week	Sessions per week	Total exercise time (min)	Warm-up (min & intensity)	Number of intervals / Duration per interval (sec)	Exercise intensity (% of treadmill jet)	Rest between intervals / Rest intensity (sec)	Interval intensity (RPE scale)	Cool-down (min & intensity)
1	2	18	5 min at 50% jet	3 $\times$ 30 sec	55%	60 sec at 50% jet	13	5 min at 50% jet
2	2	20	5 min at 50% jet	4 $\times$ 50 sec	58%	60 sec at 50% jet	14	5 min at 50% jet
3	2	20	5 min at 50% jet	4 $\times$ 90 sec	63%	90 sec at 50% jet	16	5 min at 50% jet
4	2	30	5 min at 50% jet	4 $\times$ 150 sec	69%	150 sec at 50% jet	17	5 min at 50% jet
5	3	30	5 min at 50% jet	6 $\times$ 80 sec	75%	80 sec at 50% jet	18	5 min at 50% jet
6	3	30	5 min at 50% jet	6 $\times$ 70 sec	80%	70 sec at 50% jet	16	5 min at 50% jet

paired-samples t-tests for within-group comparisons and independent-samples t-tests for between-group comparisons. Additionally, difference-in-differences (diff-in-diff) analysis was conducted to examine the interaction effect between groups of the same age. All statistical analyses were performed using SPSS software (version 25).

Results

In this study, a total of 16 players aged 18–32 years from the professional futsal team of Aluminum Arak were investigated. The descriptive characteristics of these players are presented in [Table 2](#). The independent-samples t-test indicated no significant differences between the experimental and control groups in terms of age, height, weight, body mass index, or leg length ($p > 0.05$), indicating that the two groups were comparable at baseline ([Table 2](#)). Before conducting the statistical analyses, the data were examined for normality and homogeneity of variances. The Shapiro–Wilk test was used to assess the normality of the data distribution ($p > 0.05$), and Levene's test ([Table 3](#)) was used to assess the homogeneity of variances ($p > 0.05$). Therefore, parametric tests, including paired-samples t-tests (for within-group comparisons) and independent-samples t-tests (for between-group comparisons and difference-in-differences analysis), were employed. The results of these analyses are presented in [Table 4](#).

For the jump-landing pattern variable, the independent-samples t-test showed no significant differences between the two groups at pretest ($p = 0.49$), posttest ($p = 0.55$), or in the magnitude of change ($p = 0.59$). Additionally, the paired-samples t-test demonstrated that within-group changes from pretest to posttest were not statistically significant in either the control group ($p = 0.35$) or the experimental group ($p = 1.00$). Therefore, interval training on an aquatic treadmill had no statistically significant effect on the jump-landing pattern of professional futsal players.

Regarding static balance, the independent-samples t-test showed no significant differences between the two groups at pretest ($p = 0.59$) or posttest ($p = 0.53$). However, the difference in changes between the two groups was significant ($p = 0.01$). The paired-samples t-test also demonstrated that within-group changes were not statistically significant in the control group ($p = 0.32$), whereas a significant increase was observed in the experimental group ($p = 0.024$). Therefore, interval training on an aquatic treadmill had a statistically significant effect on static balance in professional futsal players.

The findings for dynamic balance (YBT) in six directions (three directions for the right leg and three directions for the left leg) are presented in [Table 5](#). The independent-samples t-test showed a significant between-group difference in the change in the anterior direction of the right leg ($p = 0.001$). Additionally, the paired-samples t-test indicated a significant increase in the experimental group ($p < 0.001$). For the posteromedial direction of the left leg, the between-group difference in change was also significant ($p = 0.046$), with the paired-samples t-test revealing a significant increase in the experimental group ($p = 0.021$). Similarly, for the posterolateral direction of the left leg, the between-group difference in change was significant ($p = 0.032$), and the paired-samples t-test showed a significant increase in the experimental group ($p = 0.02$). However, no significant differences were found in the other directions. A summary of the kinematic parameters is presented in [Table 6](#). The results indicated that interval training on an aquatic treadmill did not produce statistically significant changes in jump-landing biomechanics. Neither the overall LESS score nor any of the kinematic parameters (knee valgus, knee flexion, trunk flexion, and trunk lateral flexion)

Table 2. Comparison of demographic characteristics between the two groups (mean $\pm$ SD)

Variables	Control group (n=8)	Experimental group (n=8)	t-value	p-value
Age (years)	27.00 $\pm$ 4.63	25.63 $\pm$ 5.13	0.56	0.58
Height (cm)	181.00 $\pm$ 5.63	177.75 $\pm$ 6.43	1.08	0.30
Weight (kg)	77.63 $\pm$ 7.13	71.63 $\pm$ 3.85	2.09	0.16
Body Mass Index (kg/m ²)	23.73 $\pm$ 2.06	22.74 $\pm$ 1.46	1.12	0.28
Leg length (cm)	90.88 $\pm$ 2.69	90.00 $\pm$ 2.78	0.64	0.53

Table 3. Levene's test results for control and experimental groups

Variable	F	P-Value
Jump-landing pattern	0.03	0.88
Static balance	0.28	0.61
Dynamic balance	Anterior – right leg	1.04
	Posteromedial – right leg	1.73
	Posterolateral – right leg	0.71
	Anterior – left leg	0.73
	Posteromedial – left leg	3.30
	Posterolateral – left leg	2.04
Biomechanical parameters	Knee valgus	3.46
	Knee flexion	0.19
	Trunk flexion	0.27
	Trunk lateral flexion	0.01

Table 4. Comparison of jump-landing pattern and static balance between the two groups (mean $\pm$ SD)

Variable	Group	Pre-Test	Post-Test	Change (Post-Pre)	P-Value (Within-Group)	Effect Size (d_z)	P-Value (Between-Group)	Effect Size (d)
Jump-landing pattern	Control	6.25 $\pm$ 1.91	6.38 $\pm$ 1.99	0.13 $\pm$ 0.35	0.35	0.36	0.49	0.28
	Exp.	7.13 $\pm$ 2.90	7.13 $\pm$ 2.85	0.00 $\pm$ 0.53	1.00	0.00		
Static balance	Control	19.96 $\pm$ 8.61	19.88 $\pm$ 8.44	-0.09 $\pm$ 0.23	0.32	0.38	0.01 [#]	1.48
	Exp.	22.18 $\pm$ 7.49	22.50 $\pm$ 7.75	0.33 $\pm$ 0.32	0.024 [*]	1.02		

^{*} Indicates a statistically significant within-group difference. [#] Indicates a statistically significant between-group difference.

showed significant differences from pretest to posttest. Additionally, no statistically significant within-group changes were observed in either group ($p > 0.05$).

Discussion

The findings of this study revealed that six weeks of interval training on an aquatic treadmill resulted in significant improvements in static balance and some components of dynamic balance. However, the training did not significantly alter jump-landing patterns or kinematic parameters. These findings suggest that although aquatic training may be a useful approach for enhancing postural control in professional athletes, it may not be sufficient to modify movement patterns associated with ACL injuries. Regarding jump-landing patterns, the results showed that interval training on an aquatic treadmill did not improve LESS scores. This finding contrasts with the results of Safari Bek et al. (2020), who reported that strengthening the hip abductors and external rotators over 6 to 8 weeks could improve landing mechanics (13). It appears that despite the resistance provided by water, the training program did not effectively target the specific muscle groups essential for controlling knee valgus and correcting landing patterns. Moreover, Alimoradi et al. (2021) demonstrated that the 11+ program, which combines strength, plyometric, and balance exercises, improved LESS scores after 16 weeks (30). In contrast, the present study focused exclusively on aerobic interval training in water and did not include corrective or plyometric exercises. Additionally, fatigue induced by the high intensity of training, along with the participants' already high fitness levels, may have contributed to a ceiling effect, potentially explaining the lack of changes in LESS scores (31). Given that the participants were professional athletes, their initial LESS scores were likely relatively low, limiting the potential for further improvement. Conversely, the significant effects of training on both static and dynamic balance are consistent with previous studies. For instance, Sabzi et al. (2022) reported that aquatic treadmill training improved static balance by 62% and dynamic balance by 71% in older women (18). Additionally, Safari et al. (2022) confirmed the

Table 5. Comparison of dynamic balance (YBT) in six directions between the two groups and their comparison from pre-test to post-test within each group (mean $\pm$ SD)

Direction	Group	Pre-Test	Post-Test	Change (Post-Pre)	P-Value (within-group)	Effect Size (d _z)	P-Value (between-group change)	Effect Size (d)
Anterior (Right leg)	Control	62.97 $\pm$ 11.51	62.42 $\pm$ 10.64	-0.56 $\pm$ 0.73	0.47	0.27	0.001 [#]	2.13
	Exp.	67.77 $\pm$ 7.12	70.54 $\pm$ 7.01	2.77 $\pm$ 0.82	< 0.001*	3.38		
Posteromedial (Right leg)	Control	139.29 $\pm$ 7.25	139.57 $\pm$ 6.81	0.27 $\pm$ 0.12	0.171	0.54	0.21	0.87
	Exp.	127.20 $\pm$ 12.86	128.19 $\pm$ 12.90	0.99 $\pm$ 0.39	0.038*	0.90		
Posterolateral (Right leg)	Control	140.96 $\pm$ 4.64	140.40 $\pm$ 5.22	-0.56 $\pm$ 0.73	0.47	0.27	0.079	0.95
	Exp.	135.21 $\pm$ 11.68	136.19 $\pm$ 10.77	0.99 $\pm$ 0.37	0.034*	0.93		
Anterior (Left leg)	Control	62.00 $\pm$ 6.61	62.39 $\pm$ 6.92	0.39 $\pm$ 0.41	0.37	0.34	0.051	1.07
	Exp.	68.66 $\pm$ 6.96	70.91 $\pm$ 6.20	2.25 $\pm$ 0.77	0.022*	1.03		
Posteromedial (Left leg)	Control	139.98 $\pm$ 5.95	140.11 $\pm$ 5.79	0.13 $\pm$ 0.14	0.35	0.35	0.046 [#]	1.16
	Exp.	138.38 $\pm$ 4.66	139.23 $\pm$ 4.60	0.85 $\pm$ 0.28	0.021*	1.05		
Posterolateral (Left leg)	Control	140.26 $\pm$ 5.45	140.40 $\pm$ 5.62	0.14 $\pm$ 0.13	0.35	0.35	0.032 [#]	1.30
	Exp.	130.13 $\pm$ 9.18	131.53 $\pm$ 9.06	1.40 $\pm$ 0.46	0.02*	1.05		

* Indicates a statistically significant within-group difference. # Indicates a statistically significant between-group difference.

Table 6. Comparison of kinematic parameters between the two groups (mean $\pm$ SD)

Parameter	Group	Change (Post-Pre)	p-value (within-group)	Effect size (d _z)	p-value (between-group)	Effect size (d)
Knee valgus	Control	-0.16 $\pm$ 0.09	0.14	0.59	0.96	0.03
	Exp.	-0.15 $\pm$ 0.19	0.47	0.27		
Trunk lateral flexion	Control	0.14 $\pm$ 0.14	0.36	0.34	0.789	0.14
	Exp.	0.09 $\pm$ 0.11	0.48	0.26		
Knee flexion	Control	-0.21 $\pm$ 0.24	0.42	0.30	0.85	0.09
	Exp.	-0.27 $\pm$ 0.22	0.255	0.44		
Trunk flexion	Control	0.11 $\pm$ 0.28	0.70	0.14	0.24	0.61
	Exp.	-0.53 $\pm$ 0.44	0.27	0.42		

benefits of eight weeks of core stability training on both types of balance (12). Similarly, SeyedJafari et al. (2017) and Taheri (2015) reported comparable findings, highlighting the positive effects of aquatic training on balance in older adults (32, 33). From a physiological perspective, three main factors contribute to improvements in balance in water. First, water buoyancy reduces joint loading, allowing individuals to move more freely and enhance proprioception. Second, water viscosity and resistance provide a continuous sensory challenge, stimulating cutaneous and joint receptors and enhancing the processing of proprioceptive information in the central nervous system. Finally, water waves and currents challenge the vestibular system, improving the integration of sensory information and motor responses. Together, these three factors contribute to improved postural control and balance.

Regarding kinematic parameters, the results showed that aquatic treadmill training had no significant effect on any of the four parameters: knee valgus, trunk lateral flexion, knee flexion, and trunk flexion. This finding is consistent with the results of Wang et al. (2010), who demonstrated that cold-water immersion had no effect on landing mechanics (34). Similarly, Bressel et al. (2017) reported that six weeks of aquatic treadmill training did not alter running kinematics on a land-based treadmill (35). These findings suggest that the aquatic environment may not provide sufficient stimulus for retraining land-specific landing movement patterns and that kinematic changes during aquatic training are not necessarily transferred to land-based tasks. In other words, although water buoyancy reduces joint loading and may help improve balance, more task-specific training in a similar environment may be required to modify land-specific landing movement patterns.

On the other hand, Samakoush and Norasteh (2021) showed that neuromuscular training could improve knee valgus, highlighting the important role of the neuromuscular system in controlling this movement (36). It appears that interval training on an aquatic treadmill did not sufficiently enhance neuromuscular performance to produce such changes. Regarding knee flexion, the findings of the present study are inconsistent with those of Fattahi et al. (2018), who reported that eight weeks of core stability training increased knee flexion and reduced anterior shear force (37). This discrepancy may be attributed to differences in the training protocols. Core stability training directly influences trunk and pelvic control, which may alter knee flexion patterns, whereas aquatic treadmill interval training primarily targets cardiorespiratory endurance and overall muscle strength. Additionally, a case study by Maruszewska and Panasiuk (2020) demonstrated that aquatic treadmill training could improve knee range of motion. However, this effect was not observed in the present group study, possibly due to the small sample size and the specific characteristics of case studies (20).

Regarding trunk lateral flexion, the present findings are inconsistent with those of Mohajeran et al. (2017), who reported that neuromuscular training positively affected trunk lateral flexion. The main reason for this discrepancy may be the type of training protocol used, as aquatic treadmill training primarily involves movement in the sagittal plane (forward movement) and does not specifically target the frontal plane (lateral flexion) (38). Conversely, the lack of improvement in trunk flexion is consistent with the findings of Yadollahi et al. (2022), who reported that neuromuscular training did not affect trunk flexion (39). Water buoyancy tends to maintain the body in a more extended position, meaning that individuals do not naturally adopt a trunk-flexed posture during aquatic treadmill training. Consequently, this movement pattern may not improve. Additionally, Rajabi and Mohammadpour (2014) reported a significant relationship between trunk flexion and anterior tibial shear force (40), while Blackburn and Padua (2008, 2009) demonstrated that trunk flexion could reduce ground reaction forces and increase hip and knee flexion (41, 42). However, the lack of an effect of aquatic treadmill training on trunk flexion in the present study may be attributed to water buoyancy and the maintenance of an extended trunk posture.

The present study also had several limitations. The small sample size (16 participants) was one of the main limitations, reflecting the nature of the study and the limited population available from a single professional team. Therefore, the findings should be generalized to other professional futsal players with caution. Additionally, the six-week training period may not have been sufficient to induce stable structural and neuromuscular changes in kinematic parameters. The use of two-dimensional motion analysis was another limitation. Despite these limitations, the findings of this study may provide a basis for future research using more rigorous methodologies.

Conclusion

Six weeks of interval training on an aquatic treadmill improved postural control (static balance and some components of dynamic balance) in professional futsal players. However, this training did not significantly alter jump-landing patterns or the kinematic parameters associated with ACL injury risk (knee valgus, knee flexion, trunk flexion, and trunk lateral flexion). Since landing mechanics are among the main risk factors for ACL injuries, the findings of this study suggest that interval training on an aquatic treadmill alone cannot be recommended as an effective approach to improving these risk factors or preventing ACL injuries in professional futsal players. In other words, this type of training appears to be beneficial for improving postural control but is insufficient to correct landing biomechanics. Given the high incidence of ACL injuries in futsal and the multifactorial nature of these injuries, a more appropriate and effective approach may involve designing combined training programs that integrate aquatic training with neuromuscular, core stability, and plyometric exercises. Future research should investigate this intervention in larger samples, including both sexes, over longer training periods (8–12 weeks), using three-dimensional (3D) motion analysis systems and simultaneous electromyographic measurements of muscle activity. Studies should also include athletes from different sports and assess the long-term effects of the intervention.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical considerations were fully observed in this study. Participants were informed about the research procedures in detail and provided written consent prior to participation. They were also assured of their right to withdraw from the study at any time without penalty. Furthermore, all personal information was kept strictly confidential and used solely for research purposes. This study was approved by the Ethics Committee of Arak University with the ethical code IR.ARAKU.REC.1402.012.

Funding

This research did not receive any grants from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

Safoura Ghasemi: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Amirhossein Najimi: Investigation, Project administration, Writing – review & editing.

Masoud Golpaygani: Supervision, Writing – review & editing.

All authors read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest related to this article.

مقاله پژوهشی

تمرین تناوبی با شدت بالا روی تردمیل آبی در فوتسالیست‌های حرفه‌ای: تأثیر بر کنترل پاسچر و بیومکانیک پرش-فرود

صفورا قاسمی*^۱، امیرحسین نجیمی^۲، مسعود گلپایگانی^۲

۱. گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی پزشکی و مکانیک، دانشگاه صنعتی همدان، همدان، ایران.

۲. گروه فیزیولوژی و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.



Citation: Ghasemi S, Najimi A, Golpaygani M. High-Intensity Interval Training on an Aquatic Treadmill in Professional Futsal Players: Effect on Postural Control and Jump-Landing Biomechanics. Journal of Sport Biomechanics. 2027;12(4):710-731. <https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.4.710>

چکیده

هدف آسیب رباط صلیبی قدامی یکی از شایع‌ترین آسیب‌های غیربرخوردی در فوتسال است که اغلب با الگوی نادرست فرود و اختلال در کنترل پاسچر ارتباط دارد. تمرینات در محیط آبی رویکردی نوین در توان‌بخشی و پیشگیری از آسیب محسوب می‌شود. بنابراین، هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی بر کنترل پاسچر و بیومکانیک پرش-فرود در فوتسالیست‌های حرفه‌ای بود.

روش‌ها پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود. شرکت‌کنندگان شامل ۱۶ فوتسالیست بودند که به‌طور تصادفی در دو گروه تجربی (۸ نفر) و کنترل (۸ نفر) قرار گرفتند. گروه تجربی به مدت شش هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا روی تردمیل آبی را دریافت کردند. متغیرهای پژوهش شامل کنترل پاسچر ایستا و پویا و بیومکانیک پرش-فرود بودند. داده‌ها با استفاده از آزمون‌های تی‌زوجی و مستقل تحلیل شدند ($p < 0.05$).

یافته‌ها نتایج نشان داد که تمرینات تناوبی با شدت بالا روی تردمیل آبی تأثیر معناداری بر کنترل پاسچر ایستا و برخی مؤلفه‌های کنترل پاسچر پویا داشت ($p < 0.05$)، درحالی‌که، تمرینات پژوهش حاضر اثر معناداری بر بیومکانیک پرش-فرود و پارامترهای کینماتیکی مرتبط با آن نداشت ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی می‌تواند کنترل پاسچر ایستا و برخی مؤلفه‌های کنترل پاسچر پویا را در فوتسالیست‌های حرفه‌ای بهبود بخشد. پیشنهاد می‌شود دوره‌های تمرینی طولانی‌تر در تعداد نمونه بیشتر روی تردمیل آبی در دستور کار محققان آینده قرار گیرد.

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲ شهریور ۱۴۰۵

پذیرش: ۱۷ مهر ۱۴۰۵

انتشار: ۱۸ مهر ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

کنترل پاسچر، بیومکانیک پرش-فرود، تمرین تناوبی با شدت بالا، تردمیل آبی، فوتسال حرفه‌ای

* نویسنده مسئول:

صفورا قاسمی

s.ghasemi@hut.ac.ir

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/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.
© 2027 The Author(s). Journal of Sport Biomechanics published by Islamic Azad University, Hamedan Branch.

مقدمه

کنترل پاسچر به عنوان یکی از ارکان اساسی فعالیت‌های روزمره و مهارت‌های ورزشی، نقشی کلیدی در اجرای بهینه‌ی حرکات و پیشگیری از آسیب‌های اسکلتی-عضلانی ایفا می‌کند. این توانایی پیچیده، حاصل تعامل سه سیستم اصلی اطلاعات حسی (بینایی، دهلیزی و حس عمقی)، دامنه‌ی حرکتی مفاصل و قدرت و هماهنگی عضلانی است (۱، ۲). در میان ورزشکاران، به‌ویژه نوجوانان، اختلال در تعادل به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل خطر ساز داخلی شناخته می‌شود؛ در این راستا، فرهادی (۲۰۱۳) دریافت که رابطه معکوس مهمی بین نمرات تعادل ایستا و پویا و فراوانی آسیب‌های اندام تحتانی در بین ورزشکاران نوجوان وجود دارد، به‌طوری‌که تعادل ضعیف احتمال آسیب‌دیدگی را افزایش می‌دهد (۳). ورزشکاران حرفه‌ای در مقایسه با افراد مبتدی، الگوهای پاسخ مرکز فشار متفاوتی در حین فرودهای دفاعی از خود نشان می‌دهند که این تفاوت می‌تواند بر کنترل پاسچر و ریسک آسیب‌های اندام تحتانی تأثیر بگذارد (۴). شیوع بالای آسیب‌های غیربرخوردی در رشته‌های پرشی و برشی نظیر فوتسال، توجه پژوهشگران را به شناسایی و اصلاح ریسک فاکتورهای بیومکانیکی معطوف ساخته است (۵، ۶).

آسیب رباط صلیبی قدامی (ACL) یکی از شایع‌ترین آسیب‌های غیربرخوردی اندام تحتانی در ورزشکاران رشته‌های توپی به شمار می‌رود که اغلب طی مانورهای نظیر کاهش شتاب ناگهانی، تغییر مسیرهای برشی و فرود نایمن پس از پرش رخ می‌دهد (۷). بیومکانیک معیوب پرش-فرود به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل خطر زای این آسیب شناخته می‌شود (۷)؛ به‌گونه‌ای که کاهش زاویه فلکشن زانو، والگوس پویای زانو و چرخش داخلی ران در حین فرود، بارگذاری رباط را به‌طور معناداری افزایش می‌دهند (۸، ۷). همچنین، الگوی فرود با تنه صاف (کاهش فلکشن تنه) و جابه‌جایی جانبی تنه به سمت اندام حمایت‌کننده، خطر آسیب ACL را تشدید می‌کند (۹، ۷). از آنجا که آسیب‌های غیربرخوردی ACL اغلب در الگوهای حرکتی چندمرحله‌ای و با ترکیبی از والگوس زانو، چرخش داخلی ران و کاهش فلکشن زانو رخ می‌دهند (۱۰)، اصلاح الگوی حرکتی در مانور فرود به عنوان یک راهبرد کلیدی در پیشگیری از این آسیب محسوب می‌شود (۷، ۱۱).

برای ارزیابی دقیق و مقرون به صرفه‌ی ریسک فاکتورهای فرود، ابزارهای میدانی معتبری نظیر سیستم امتیازدهی خطای پرش-فرود (LESS) توسعه یافته‌اند. این آزمون که پایایی بین آزمونگر و درون آزمونگر آن خوب تا عالی گزارش شده است، امکان بررسی خطاهای تکنیکی نظیر والگوس زانو، فلکشن تنه و زاویه‌ی میچ پا را بدون نیاز به تجهیزات گران‌قیمت آزمایشگاهی فراهم می‌سازد (۱۲، ۱۳). هرچند دستگاه‌های آنالیز حرکت آزمایشگاهی دقیق‌ترین روش محسوب می‌شوند، اما محدودیت‌های مالی و زمانی، استفاده از آن‌ها را در گروه‌های بزرگ با چالش مواجه می‌سازد و آزمون LESS را به ابزاری کاربردی در محیط‌های بالینی و میدانی ورزشی تبدیل کرده است (۱۴).

در سال‌های اخیر، تمرین در محیط آبی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد فیزیکی آب از جمله شناوری (کاهش وزن بدن)، مقاومت و امواج سطحی، به عنوان یک راهبرد مؤثر در توان بخشی و بهبود عملکرد ورزشی مورد توجه قرار گرفته است. شناوری آب باعث کاهش بار وارده بر مفاصل شده و امواج آب به عنوان یک محرک تعادلی خارجی، سیستم کنترل پاسچر را به چالش می‌کشد و در نتیجه موجب بهبود تعادل ایستا و پویا می‌شود (۱۵، ۱۶). از منظر عصبی-عضلانی، تمرینات تناوبی با شدت بالا می‌توانند از طریق ایجاد خستگی کنترل‌شده، الگوهای حرکتی را تغییر دهند، ورملن و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که یک پروتکل خستگی تناوبی با شدت بالا در بازیکنان والیبال منجر به تغییرات معنادار در کینماتیک فرود از جمله استراتژی فرود سخت‌تر در اندام تحتانی (کاهش فلکشن زانو و ران) و فلکشن طولانی‌مدت‌تر لگن-تنه می‌شود که به عنوان یک مکانیسم محافظتی برای کاهش نیروهای وارده بر

تاندون پاتلا تفسیر شده است (۱۷). در این میان، تردمیل آبی به عنوان یکی از تجهیزات پیشرفته، امکان انجام تمرینات هوازی و تناوبی را در آب برای طیف وسیعی از افراد با سطوح مختلف آمادگی جسمانی فراهم کرده است (۱۸). از سوی دیگر، مطالعات زیست مکانیکی نشان داده اند که انجام تمرینات پرشی در آب منجر به کاهش ۳۳ تا ۵۴ درصدی در نیروهای اوج ضربه، کاهش ۱۹ تا ۵۴ درصدی در ایمپالس و کاهش ۳۳ تا ۶۲ درصدی در نرخ توسعه نیرو نسبت به خشکی می شود (۱۹). این کاهش بار مکانیکی، محیط آب را به یک بستر ایمن برای بازآموزی الگوهای عصبی-عضلانی فرود تبدیل می کند. پژوهش ها نشان داده اند که این نوع تمرینات می تواند منجر به افزایش حجم عضلات چهار سر ران، کاهش التهاب مفصل و بهبود دامنه ی حرکتی پس از آسیب های ACL شود (۲۰). همچنین، هاسکین و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که تمرینات آبی نسبت به دویدن در تردمیل آبی سرد و گرم، تأثیر بیشتری بر بهبود پرش و انعطاف پذیری فوتبالیست ها دارد (۲۱). لی و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) نیز بهبود قابل توجهی در تقارن راه رفتن، تعادل و قدرت ایستا در بیماران سکنه مغزی متعاقب تمرینات تردمیل آبی مشاهده کردند (۲۲، ۲۳). صفری و همکاران (۲۰۲۲) و سبزی و همکاران (۲۰۲۱ و ۲۰۲۲) بر تأثیر مثبت تمرینات ثبات مرکزی و تردمیل آبی بر بهبود الگوی فرود و تعادل سالمندان و کودکان بیش فعال تأکید کرده اند (۲۴، ۱۸، ۱۲).

با وجود شواهد مثبت مبنی بر تأثیر تمرینات آبی بر تعادل و توان بخشی، تاکنون پژوهشی به بررسی تأثیر یک دوره تمرینات تناوبی با شدت بالا بر روی تردمیل آبی بر کینماتیک الگوی پرش-فرود و تعادل در فوتبالیست های حرفه ای نپرداخته است. فرضیه های پژوهش حاضر این بود که شش هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا روی تردمیل آبی بر کنترل پاسچر (تعادل ایستا و پویا) و بیومکانیک پرش-فرود (نمره LESS و پارامترهای کینماتیکی منتخب) در فوتبالیست های حرفه ای تأثیر معناداری دارد. با توجه به خلأ تحقیقاتی موجود و شیوع بالای آسیب های اندام تحتانی در فوتسال، پژوهش حاضر با هدف تعیین تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا روی تردمیل آبی بر کنترل پاسچر و بیومکانیک پرش-فرود فوتبالیست های حرفه ای طراحی شد.

روش ها

آزمودنی ها

پژوهش حاضر از نوع کارآزمایی بالینی تصادفی شده با طرح پیش آزمون-پس آزمون همراه با گروه کنترل انجام شد. آزمودنی ها در دو گروه تجربی (تمرینات تناوبی با شدت بالا روی تردمیل آبی) و کنترل (بدون مداخله) مورد بررسی قرار گرفتند. جامعه ی آماری را کلیه ی بازیکنان تیم فوتسال حرفه ای آلومینیوم اراک در فصل ۱۴۰۱-۱۴۰۲ تشکیل دادند که تعداد آن ها ۱۶ نفر بود (دامنه ی سنی: ۱۸ تا ۳۲ سال). با توجه به محدود بودن جامعه، نمونه ی آماری به صورت تمام شماری (کل جامعه) انتخاب شد و آزمودنی ها به صورت تصادفی ساده در دو گروه مساوی تجربی (۸ نفر) و کنترل (۸ نفر) تقسیم شدند. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از: عدم وجود هرگونه آسیب اسکلتی-عضلانی در اندام تحتانی طی سه ماه گذشته؛ نداشتن سابقه ی عمل جراحی در مفاصل یا استخوان های اندام تحتانی؛ داشتن حداقل سه سال سابقه ی بازی حرفه ای فوتسال. معیارهای خروج از مطالعه نیز شامل: غیبت بیش از دو جلسه در جلسات تمرینی؛ بروز هرگونه آسیب حین دوره ی تمرینات تخصصی فوتسال. پیش از آغاز پژوهش، کلیه ی آزمودنی ها رضایت نامه ی کتبی آگاهانه امضا کردند و از اهداف، روند اجرا و خطرات احتمالی پژوهش مطلع شدند. این پژوهش با تأیید کمیته ی اخلاق دانشگاه اراک انجام شد.

ابزارهای پژوهش

برای دستیابی به اهداف پژوهش، از ابزارهای مختلفی استفاده شد. تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی (HydroTrack، مدل-HT-1000، ساخت استرالیا) با قابلیت تنظیم سرعت و عمق آب انجام شد (۲۵). برای ارزیابی بیومکانیک پرش-فرود از سیستم امتیازدهی خطای پرش-فرود (LESS) استفاده شد. بدین منظور، دو دوربین فیلم‌برداری دیجیتال (Sony، مدل HDR-CX405، ساخت ژاپن) با نرخ نمونه‌برداری ۶۰ هرتز در فواصل ۸/۴ متر (نمای فرونتال) و ۴ متر (نمای ساجیتال) از آزمودنی‌ها فیلم‌برداری کردند. تصاویر ثبت‌شده به‌منظور امتیازدهی LESS و استخراج پارامترهای کینماتیکی شامل والگوس زانو، فلکشن زانو، فلکشن تنه و فلکشن جانبی تنه با استفاده از نرم‌افزار Kinovea تحلیل شدند (۲۶). کنترل پاسچر از طریق اندازه‌گیری تعادل ایستا و پویا ارزیابی شد. برای سنجش تعادل ایستا، از آزمون لک‌لک استفاده شد و زمان حفظ تعادل روی پای برتر با استفاده از کرومومتر دیجیتال (Casio، مدل HS-80TW، ساخت ژاپن) ثبت گردید (۲۷). تعادل پویا با استفاده از آزمون تعادل Y و کیت مخصوص آن (Perform Better، مدل YBT-Kit) در سه جهت دستیابی ارزیابی شد. همچنین، طول واقعی پای آزمودنی‌ها با استفاده از متر نواری استاندارد (SECA، مدل ۲۰۱، ساخت آلمان) اندازه‌گیری گردید (۲۸). علاوه بر این، از پرسشنامه مشخصات فردی و رضایت‌نامه کتبی برای ثبت اطلاعات جمعیت‌شناختی و اخذ رضایت آگاهانه از شرکت‌کنندگان استفاده شد.

روش اجرای آزمون‌ها

پیش از اجرای آزمون‌ها، پای برتر آزمودنی‌ها با استفاده از روش پای ترجیحی برای شوت کردن و گام برداشتن تعیین شد (۲۹). بر اساس این روش، پای راست به‌عنوان پای برتر تمامی شرکت‌کنندگان شناسایی گردید. همچنین، به‌منظور کنترل شرایط محیطی و کاهش اثر متغیرهای مخدوش‌گر، دمای سالن در محدوده ۲۴ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد و تمامی آزمون‌ها در ساعات ۹ تا ۱۱ صبح اجرا شدند. به گروه کنترل نیز توصیه شد که هیچ فعالیت ورزشی منظمی خارج از برنامه معمول تیم انجام ندهند. مرحله پیش‌آزمون: در این مرحله، ابتدا آزمون خطای فرود (LESS) اجرا شد. بدین منظور، آزمودنی‌ها از روی سکوی ۳۰ سانتی‌متری به فاصله نصف قد خود پریده و بلافاصله یک پرش عمودی حداکثری انجام دادند. پس از اجرای دو پرش تمرینی، سه پرش معتبر ثبت شد و میانگین امتیاز سه پرش به‌عنوان امتیاز نهایی LESS محاسبه گردید. امتیازدهی بر اساس چک‌لیست ده‌سؤالی LESS انجام شد (۲۶، ۱۳). برای ارزیابی تعادل ایستا از آزمون لک‌لک استفاده شد. در این آزمون، آزمودنی‌ها روی پای برتر ایستاده، دست‌ها را روی کمر قرار داده و پای غیربرتر را روی زانوی پای اتکا گذاشتند. سپس با فرمان آزمونگر، روی پنجه پا بلند شدند و زمان حفظ تعادل آن‌ها ثبت گردید. این آزمون سه بار تکرار شد و بهترین زمان به‌عنوان امتیاز نهایی در نظر گرفته شد (۲۷). برای ارزیابی تعادل پویا نیز از آزمون تعادل Y (YBT) استفاده شد. در این آزمون، آزمودنی‌ها در مرکز دستگاه Y بالانس روی پای برتر ایستاده و با پای دیگر در سه جهت قدامی، خلفی داخلی و خلفی خارجی، حداکثر فاصله دستیابی ممکن را ثبت کردند. هر جهت سه بار اجرا شد و میانگین سه تکرار محاسبه گردید. نمرات نیز بر اساس درصد طول پا گزارش شدند (۲۸). همچنین، به‌منظور بررسی بیومکانیک پرش، پارامترهای کینماتیکی شامل زوایای فلکشن تنه، فلکشن جانبی تنه، والگوس زانو و فلکشن زانو، هم‌زمان با اجرای آزمون LESS، از طریق تحلیل تصاویر ثبت‌شده با استفاده از نرم‌افزار Kinovea استخراج شدند. مرحله پس‌آزمون: بلافاصله پس از اتمام دوره شش‌هفته‌ای تمرینی، تمامی آزمودنی‌های هر دو گروه، همان آزمون‌های مرحله پیش‌آزمون را با شرایط و ابزارهای یکسان مجدداً انجام دادند.

پروتکل تمرینی

گروه تجربی یک دوره‌ی شش هفته‌ای تمرینات تناوبی با شدت بالا روی تردمیل آبی را انجام دادند درحالی که گروه کنترل هیچ مداخله‌ای دریافت نکرد. پروتکل بر اساس مطالعه‌ی برسل و همکاران (۲۰۱۴) طراحی شد (۲۵). هر جلسه شامل ۵ دقیقه گرم کردن (۵۰ درصد سرعت بیشینه) و ۵ دقیقه سردکردن (۵۰ درصد سرعت بیشینه) بود. عمق آب در طول جلسات تمرینی تا سطح جناغ سینه‌ای (زائده خنجر) تنظیم و دمای آب در محدوده ۲۸ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد حفظ گردید. جدول ۱ مشخصات کامل پروتکل تمرینی را نشان می‌دهد. تمامی جلسات توسط یک مربی با تجربه نظارت شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

از میانگین و انحراف معیار برای آمار توصیفی استفاده گردید. آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها و آزمون لون برای بررسی همگنی واریانس‌ها به کار گرفته شد. سطح معناداری $p < 0.05$ در نظر گرفته شد. برای تحلیل داده‌ها، از آزمون تی‌زوجی جهت مقایسه‌های درون‌گروهی و آزمون تی‌مستقل جهت مقایسه‌های بین‌گروهی استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ تحلیل شدند.

یافته‌ها

در این پژوهش ۱۶ نفر از بازیکنان تیم فوتسال حرفه‌ای آلومینیوم اراک با دامنه‌ی سنی ۱۸ تا ۳۲ سال شرکت داشتند. اطلاعات توصیفی مربوط به متغیرهای جمعیت‌شناختی کلیه‌ی آزمودنی‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج آزمون تی-تست مستقل نشان داد که بین دو گروه تجربی و کنترل از نظر متغیرهای سن، قد، وزن، شاخص توده بدنی و طول پا هیچ اختلاف معناداری وجود ندارد ($p > 0.05$)، که حاکی از همگن بودن دو گروه در ابتدای پژوهش است (جدول ۲). پیش از تحلیل استنباطی، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون (جدول ۳) تأیید شد ($p > 0.05$). بنابراین از آزمون‌های پارامتریک شامل تی-تست زوجی (مقایسه‌های درون‌گروهی) و تی-تست مستقل (مقایسه‌های بین‌گروهی برای تحلیل داده‌ها

جدول ۱. مشخصات پروتکل تمرین تناوبی با شدت بالا شش هفته‌ای روی تردمیل آبی.

هفته	تعداد جلسه در هفته	زمان کل تمرین (دقیقه)	گرم کردن (دقیقه و شدت)	تعداد تناوب‌ها / مدت هر تناوب (ثانیه)	شدت تمرین (درصد جت تردمیل)	استراحت بین تناوب‌ها / شدت استراحت (ثانیه)	شدت تناوب‌ها مقیاس (RPE)	سردکردن (دقیقه و شدت)
۱	۲	۱۸	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت	۳ × ۳۰ ثانیه	۵۵٪	۶۰ ثانیه با ۵۰٪ جت	۱۳	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت
۲	۲	۲۰	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت	۴ × ۵۰ ثانیه	۵۸٪	۶۰ ثانیه با ۵۰٪ جت	۱۴	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت
۳	۲	۲۰	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت	۴ × ۹۰ ثانیه	۶۳٪	۹۰ ثانیه با ۵۰٪ جت	۱۶	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت
۴	۲	۳۰	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت	۴ × ۱۵۰ ثانیه	۶۹٪	۱۵۰ ثانیه با ۵۰٪ جت	۱۷	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت
۵	۳	۳۰	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت	۶ × ۸۰ ثانیه	۷۵٪	۸۰ ثانیه با ۵۰٪ جت	۱۸	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت
۶	۳	۳۰	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت	۶ × ۷۰ ثانیه	۸۰٪	۷۰ ثانیه با ۵۰٪ جت	۱۶	۵ دقیقه با ۵۰٪ جت

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های دموگرافیک بین دو گروه (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد)

متغیرها	گروه کنترل (n=۸)	گروه تجربی (n=۸)	مقدار t	مقدار P
سن (سال)	27.00 ± 4.63	25.63 ± 5.13	۰/۵۶	۰/۵۸
قد (سانتی‌متر)	181.00 ± 5.63	177.75 ± 6.43	۱/۰۸	۰/۳۰
وزن (کیلوگرم)	77.63 ± 7.13	71.63 ± 3.85	۲/۰۹	۰/۰۶
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	23.73 ± 2.06	22.74 ± 1.46	۱/۱۲	۰/۲۸
طول پا (سانتی‌متر)	90.88 ± 2.69	90.00 ± 2.78	۰/۶۴	۰/۵۳

جدول ۳. نتایج آزمون لون برای بررسی همگنی واریانس‌ها بین دو گروه کنترل و تجربی

نام متغیر	F	P-Value
الگوی پرش فرود	۰/۰۳	۰/۸۸
تعادل ایستا	۰/۲۸	۰/۶۱
تعادل پویا	۱/۰۴	۰/۳۳
تعادل پویا	۱/۷۳	۰/۲۱
تعادل پویا	۰/۷۱	۰/۴۱
تعادل پویا	۰/۷۳	۰/۴۱
تعادل پویا	۳/۳۰	۰/۰۶
تعادل پویا	۲/۰۴	۰/۰۶
تعادل پویا	۳/۴۶	۰/۰۸
تعادل پویا	۰/۱۹	۰/۶۸
تعادل پویا	۰/۲۷	۰/۶۱
تعادل پویا	۰/۰۱	۰/۹۴

استفاده شد. نتایج مربوط به متغیرهای الگوی پرش-فرود و تعادل ایستا در جدول ۴ ارائه شده است. در متغیر الگوی پرش-فرود، نتایج آزمون تی-تست مستقل نشان داد که در مرحله‌ی پیش‌آزمون ($p=0.49$)، پس‌آزمون ($p=0.55$) و میزان تغییرات ($p=0.59$) هیچ اختلاف معناداری بین دو گروه مشاهده نشد. همچنین آزمون تی-تست زوجی نشان داد که تغییرات درون‌گروهی از پیش‌آزمون به پس‌آزمون در هر دو گروه کنترل ($p=0.35$) و تجربی ($p=1.00$) معنادار نبود. بنابراین، تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی تأثیر معناداری بر الگوی پرش-فرود فوتسالیست‌های حرفه‌ای نداشت.

در متغیر تعادل ایستا، آزمون تی-تست مستقل نشان داد که در مرحله‌ی پیش‌آزمون ($p=0.59$) و پس‌آزمون ($p=0.53$) هیچ اختلاف معناداری بین دو گروه وجود ندارد. باین‌حال، میزان تغییرات بین دو گروه معنادار بود ($p=0.01$). آزمون تی-تست زوجی نیز نشان داد که تغییرات درون‌گروهی در گروه کنترل معنادار نبود ($p=0.32$)، اما در گروه تجربی افزایش معناداری مشاهده شد ($p=0.24$). بنابراین، تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی تأثیر معناداری بر تعادل ایستا فوتسالیست‌های حرفه‌ای داشت. نتایج مربوط به تعادل پویا (آزمون YBT) در شش جهت (سه جهت برای پای راست و سه جهت برای پای چپ) در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج آزمون تی-تست مستقل نشان داد که در جهت قدامی پای راست، میزان تغییرات بین دو گروه معنادار بود ($p=0.01$). آزمون تی-تست زوجی افزایش معناداری را در گروه تجربی نشان داد ($p<0.001$). در جهت خلفی داخلی پای چپ، میزان تغییرات بین دو گروه معنادار بود ($p=0.46$) و آزمون تی-تست زوجی افزایش معناداری را در گروه تجربی نشان داد ($p=0.21$). در جهت خلفی خارجی پای چپ نیز میزان تغییرات بین دو گروه معنادار بود ($p=0.32$) و آزمون تی-تست زوجی افزایش معناداری را در گروه تجربی نشان داد ($p=0.02$). در سایر جهات، تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p>0.05$).

جدول ۴. مقایسه الگوی فرود-پرش و تعادل ایستا بین دو گروه (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد)

متغیر	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	تغییرات (پس‌آزمون - پیش‌آزمون)	مقدار p اندازه اثر (درون گروهی)	مقدار p اندازه اثر (بین گروهی)	اندازه اثر
الگوی	کنترل	۶/۲۵ $\pm$ ۱/۹۱	۶/۳۸ $\pm$ ۱/۹۹	۰/۱۳ $\pm$ ۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۴۹	۰/۲۸
پرش-فرود	تجربی	۷/۱۳ $\pm$ ۲/۹۰	۷/۰۳ $\pm$ ۲/۸۵	۰/۰۰ $\pm$ ۰/۵۳	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
تعادل ایستا	کنترل	۱۹/۹۶ $\pm$ ۸/۶۱	۱۹/۸۸ $\pm$ ۸/۴۴	-۰/۰۹ $\pm$ ۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۰۱*	۱/۴۸
	تجربی	۲۲/۱۸ $\pm$ ۷/۴۹	۲۲/۵۰ $\pm$ ۷/۷۵	۰/۳۳ $\pm$ ۰/۳۲	۰/۰۲۴*	۰/۰۲	۱/۰۲

جدول ۵. مقایسه تعادل پویا (YBT) در شش جهت بین دو گروه (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد)

جهت	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	تغییرات (پس‌آزمون - پیش‌آزمون)	مقدار P اندازه اثر (درون گروهی)	مقدار P اندازه اثر (بین گروهی)	اندازه اثر (d_z)	اندازه اثر (d)
قدامی	کنترل	۶۲/۹۷ $\pm$ ۱۱/۵۱	۶۲/۴۲ $\pm$ ۱۰/۶۴	-۰/۵۶ $\pm$ ۰/۷۳	۰/۴۷	۰/۰۰۱	۰/۲۷	۲/۱۳
(پای راست)	تجربی	۶۷/۷۷ $\pm$ ۷/۱۲	۷۰/۵۴ $\pm$ ۷/۰۱	۲/۷۷ $\pm$ ۰/۸۲	< ۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۳/۳۸	۲/۱۳
خلفی-داخلی (پای)	کنترل	۱۳۹/۲۹ $\pm$ ۷/۲۵	۱۳۹/۵۷ $\pm$ ۶/۸۱	۰/۲۷ $\pm$ ۰/۱۲	۰/۱۷۱	۰/۱۱	۰/۵۴	۰/۸۷
راست)	تجربی	۱۲۷/۲۰ $\pm$ ۱۲/۸۶	۱۲۸/۱۹ $\pm$ ۱۲/۹۰	۰/۹۹ $\pm$ ۰/۳۹	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۹	۰/۸۷
خلفی-خارجی (پای)	کنترل	۱۴۰/۹۶ $\pm$ ۴/۶۴	۱۴۰/۴۰ $\pm$ ۵/۲۲	-۰/۵۶ $\pm$ ۰/۷۳	۰/۴۷	۰/۰۷۹	۰/۲۷	۰/۹۵
راست)	تجربی	۱۳۵/۲۱ $\pm$ ۱۱/۶۸	۱۳۶/۱۹ $\pm$ ۱۰/۷۷	۰/۹۹ $\pm$ ۰/۳۷	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۹۳	۰/۹۵
قدامی (پای چپ)	کنترل	۶۲/۰۰ $\pm$ ۶/۶۱	۶۲/۳۹ $\pm$ ۶/۹۲	۰/۳۹ $\pm$ ۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۰۵۱	۰/۳۴	۱/۰۷
	تجربی	۶۸/۶۶ $\pm$ ۶/۹۶	۷۰/۹۱ $\pm$ ۶/۲۰	۲/۲۵ $\pm$ ۰/۷۷	۰/۰۲۲	۰/۰۵۱	۱/۰۳	۱/۰۷
خلفی-داخلی (پای)	کنترل	۱۳۹/۹۸ $\pm$ ۵/۹۵	۱۴۰/۱۱ $\pm$ ۵/۷۹	۰/۱۳ $\pm$ ۰/۱۴	۰/۳۵	۰/۰۴۶	۰/۳۵	۱/۱۶
چپ)	تجربی	۱۳۸/۳۸ $\pm$ ۴/۶۶	۱۳۹/۲۳ $\pm$ ۴/۶۰	۰/۸۵ $\pm$ ۰/۲۸	۰/۰۲۱	۰/۰۴۶	۱/۰۵	۱/۱۶
خلفی-خارجی (پای)	کنترل	۱۴۰/۲۶ $\pm$ ۵/۴۵	۱۴۰/۴۰ $\pm$ ۵/۶۲	۰/۱۴ $\pm$ ۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۰۳۲	۰/۳۵	۱/۳۰
چپ)	تجربی	۱۳۰/۱۳ $\pm$ ۹/۱۸	۱۳۱/۵۳ $\pm$ ۹/۰۶	۱/۴۰ $\pm$ ۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۰۳۲	۱/۰۵	۱/۳۰

نتایج پارامترهای کینماتیکی در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد که تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی تأثیر معناداری بر بیومکانیک پرش-فرود نداشت؛ به گونه‌ای که نه نمره کلی LESS و نه هیچ‌یک از پارامترهای کینماتیکی (والگوس زانو، فلکشن زانو، فلکشن تنه و فلکشن جانبی تنه) در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون تغییر معناداری نشان ندادند. همچنین تغییرات درون گروهی در هر دو گروه معنادار نبود ($p > ۰/۰۵$).

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که شش هفته تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی تأثیر معناداری بر تعادل ایستا و برخی جهات تعادل پویا دارد، اما بر الگوی پرش-فرود و پارامترهای کینماتیکی تأثیر معناداری نداشته است. این نتایج نشان می‌دهد که اگرچه تمرینات آبی می‌توانند به عنوان یک راهبرد مؤثر برای بهبود کنترل پاسچر در ورزشکاران حرفه‌ای مورد استفاده قرار گیرند، اما برای اصلاح الگوهای حرکتی مرتبط با آسیب ACL کافی نیستند. نتایج مربوط به الگوی پرش-فرود نشان داد که تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی نتوانسته است نمره‌ی LESS را بهبود بخشد. این یافته با پژوهش صفری بک و همکاران (۲۰۲۰) که نشان دادند افزایش قدرت عضلات دورکننده و چرخاننده خارجی ران طی ۶ تا ۸ هفته می‌تواند مکانیک فرود را اصلاح کند، همسو نیست (۱۳). به نظر می‌رسد با وجود مقاومت آب، این تمرینات به اندازه‌ی کافی بر گروه‌های عضلانی خاص که نقش کلیدی در کنترل والگوس و اصلاح

جدول ۶. مقایسه پارامترهای کینماتیکی بین دو گروه (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد)

پارامتر	گروه	تغییرات (پس آزمون - پیش آزمون)	مقدار p (درون گروهی)	اندازه اثر (d_z)	مقدار p (بین - گروهی)	اندازه اثر (d)
والگوس زانو	کنترل	-0.16 ± 0.09	۰/۱۴	۰/۵۹	۰/۹۶	۰/۰۳
	تجربی	-0.15 ± 0.19	۰/۴۷	۰/۲۷		
فلکشن جانبی	کنترل	0.14 ± 0.14	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۷۸۹	۰/۱۴
تنه	تجربی	0.09 ± 0.11	۰/۴۸	۰/۲۶		
فلکشن زانو	کنترل	-0.21 ± 0.24	۰/۴۲	۰/۳۰	۰/۸۵	۰/۰۹
	تجربی	-0.27 ± 0.22	۰/۲۵۵	۰/۴۴		
فلکشن تنه	کنترل	0.11 ± 0.28	۰/۷۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۶۱
	تجربی	-0.53 ± 0.44	۰/۲۷	۰/۴۲		

الگوی فرود دارند، تأثیر نگذاشته است. علاوه بر این، مطالعه‌ی علیمردادی و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که برنامه‌ی ۱۱+ که شامل ترکیبی از تمرینات قدرتی، پلايومتریک و تعادلی است، پس از ۱۶ هفته باعث بهبود نمرات LESS می‌شود (۳۰)، درحالی‌که پروتکل پژوهش حاضر صرفاً بر تمرینات تناوبی هوازی در آب متمرکز بود و فاقد مؤلفه‌های اصلاحی و پلايومتریک بود. از سوی دیگر، خستگی ناشی از شدت بالای تمرینات و سطح بالای آمادگی اولیه‌ی آزمودنی‌ها که موجب محدودیت سقف بهبود شده است، از دیگر عواملی هستند که ممکن است در عدم تغییرات نمره‌ی LESS نقش داشته باشند (۳۱). با توجه به اینکه آزمودنی‌های این پژوهش را ورزشکاران حرفه‌ای تشکیل می‌دادند، احتمالاً نمرات LESS آن‌ها در ابتدای پژوهش در سطح پایین‌تری قرار داشت و دامنه‌ی بهبود ممکن محدود بوده است. در مقابل، تأثیر معنادار تمرینات بر تعادل ایستا و پویا با پژوهش‌های پیشین همسو است. سبزی و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که تمرینات تردمیل آبی باعث بهبود تعادل ایستا به میزان ۶۲ درصد و تعادل پویا به میزان ۷۱ درصد در زنان سالمند می‌شود (۱۸). همچنین صفری و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر ۸ هفته تمرینات ثبات مرکزی بر تعادل ایستا و پویا را تأیید کردند (۱۲). سیدجعفری و همکاران (۲۰۱۷) و طاهری (۲۰۱۵) نیز به نتایج مشابهی در مورد تأثیر مثبت تمرینات آبی بر تعادل سالمندان دست یافتند (۳۲، ۳۳). از نظر فیزیولوژیکی، سه عامل کلیدی در بهبود تعادل در آب نقش دارند: نخست، شناوری آب با کاهش بارگذاری بر روی مفاصل، به افراد اجازه می‌دهد تا با دامنه‌ی حرکتی بیشتری تمرین کنند و حس عمقی بهتری را تجربه کنند. دوم، ویسکوزیته و مقاومت آب به‌عنوان یک محرک حسی مداوم عمل کرده و گیرنده‌های پوستی و مفصلی را تحریک می‌کند که منجر به بهبود پردازش اطلاعات حس عمقی در سیستم عصبی مرکزی می‌شود. سوم، امواج و جریان‌های آب سیستم دهلیزی را به چالش می‌کشند و باعث بهبود ادغام اطلاعات حسی و پاسخ‌های حرکتی می‌شوند. این سه عامل به‌صورت هم‌زمان باعث بهبود کنترل پاسچر و افزایش تعادل در افراد می‌شوند.

در مورد پارامترهای کینماتیکی، نتایج نشان داد که تمرینات تردمیل آبی بر هیچ‌یک از چهار پارامتر والگوس زانو، فلکشن جانبی تنه، فلکشن زانو و فلکشن تنه تأثیر معناداری نداشته است. این یافته با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱۰) همسو است که نشان دادند غوطه‌وری در آب سرد هیچ تأثیری بر مکانیک فرود ندارد (۳۴). همچنین، برسل و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که شش هفته تمرین روی تردمیل آبی، کینماتیک دویدن روی تردمیل خشکی را تغییر نمی‌دهد (۳۵). این یافته‌ها حاکی از آن است که محیط آب ممکن است محرک کافی برای بازآموزی الگوهای حرکتی خاص فرود در خشکی فراهم نکند و تغییرات کینماتیکی حین تمرین در آب، لزوماً به تکالیف در خشکی منتقل نمی‌شود. به‌بیان دیگر، اگرچه شناوری آب بار مفصلی را کاهش می‌دهد و می‌تواند به بهبود

تعادل کمک کند، اما احتمالاً برای اصلاح الگوهای حرکتی خاص فرود در خشکی، نیاز به تمرینات اختصاصی تر و شبیه سازی شده تر در همان محیط وجود دارد.

در مقابل، سماکوش و نورسته (۲۰۲۱) نشان دادند که تمرینات عصبی-عضلانی می تواند والگوس زانو را بهبود بخشد که حاکی از نقش کلیدی سیستم عصبی-عضلانی در کنترل این ناهنجاری است (۳۶). به نظر می رسد تمرینات تناوبی در تردمیل آبی به اندازه ی کافی بر بهبود عملکرد عصبی-عضلانی تأثیر نگذاشته است. در خصوص فلکشن زانو، نتایج پژوهش حاضر با مطالعه ی فتاحی و همکاران (۲۰۱۸) که نشان دادند ۸ هفته تمرینات ثبات مرکزی باعث افزایش فلکشن زانو و کاهش نیروی برشی قدامی می شود، همسو نیست (۳۷). این تفاوت احتمالاً به دلیل ماهیت متفاوت تمرینات است؛ تمرینات ثبات مرکزی مستقیماً بر کنترل تنه و لگن تأثیر می گذارند که می تواند الگوی فلکشن زانو را تغییر دهد، درحالی که تمرینات تناوبی در تردمیل آبی بیشتر بر استقامت قلبی-تنفسی و قدرت عمومی عضلات متمرکز است. همچنین پژوهش موردی ماروزسکا و پاناسوک (۲۰۲۰) نشان داد که تمرینات تردمیل آبی می تواند دامنه ی حرکتی زانو را افزایش دهد (۲۰)، اما در پژوهش حاضر که به صورت کلی انجام شد، چنین اثری مشاهده نشد که احتمالاً به دلیل حجم نمونه ی کوچک و ویژگی های فردی در مطالعه ی موردی است. در مورد فلکشن جانبی تنه، عدم تأثیر تمرینات با نتایج پژوهش مهاجران و همکاران (۲۰۱۷) که نشان دادند تمرینات عصبی-عضلانی بر فلکشن جانبی تنه مؤثر است، همسو نیست (۳۸). مهم ترین دلیل این ناهمبوسی، ماهیت اجرای پروتکل تمرینی است؛ تمرینات روی تردمیل آبی عمدتاً در صفحه ی ساجیتال (حرکت رو به جلو) انجام می شود و تأثیر چندانی بر صفحه ی فرونتال (فلکشن جانبی) ندارد. نهایتاً، عدم تأثیر بر فلکشن تنه با نتایج پژوهش یداللهی و همکاران (۲۰۲۲) که نشان دادند تمرینات عصبی-عضلانی بر فلکشن تنه تأثیری ندارد، همسو است (۳۹). شناوری آب موجب می شود بدن تمایل به وضعیت اکستنشن داشته باشد و تنه در وضعیت عمودی تری قرار گیرد، بنابراین افراد در طول تمرینات روی تردمیل آبی به طور طبیعی وضعیت فلکشن تنه را تجربه نمی کنند و در نتیجه این الگوی حرکتی بهبود نمی یابد. همچنین، رجبی و محمدپور (۲۰۱۴) به ارتباط معنادار بین فلکشن تنه و نیروی برشی قدامی تیپا اشاره کردند (۴۰) در حالی که بلکبرن و پادوا (۲۰۰۹، ۲۰۰۸) نشان دادند که فلکشن تنه باعث کاهش نیروی عکس العمل زمین و افزایش فلکشن ران و زانو می شود (۴۱، ۴۲). با این حال، عدم تأثیر تمرینات تردمیل آبی بر فلکشن تنه در پژوهش حاضر، احتمالاً به دلیل ماهیت شناوری آب و قرارگیری تنه در وضعیت اکستنشن است.

پژوهش حاضر با محدودیت هایی نیز مواجه بود. حجم نمونه کم (۱۶ نفر) از محدودیت های اصلی این پژوهش بود که ناشی از ماهیت مطالعه و محدود بودن جامعه آماری به یک تیم حرفه ای واحد بود؛ بنابراین تعمیم نتایج به کل فوتسالیست های حرفه ای باید با احتیاط انجام شود. همچنین، دوره تمرینی شش هفته ممکن است برای ایجاد تغییرات ساختاری و عصبی-عضلانی پایدار در پارامترهای کینماتیکی کافی نبوده باشد. استفاده از تحلیل حرکت دوبعدی نیز از دیگر محدودیت های این پژوهش بودند. با وجود این محدودیت ها، یافته های این پژوهش می تواند مبنایی برای پژوهش های آینده با روش شناسی دقیق تر قرار گیرد.

نتیجه گیری نهایی

شش هفته تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی به بهبود کنترل پاسچر (تعادل ایستا و برخی مؤلفه های تعادل پویا) در فوتسالیست های حرفه ای منجر شد. با این حال، این تمرینات بر الگوی پرش-فرود و پارامترهای کینماتیکی مرتبط با ریسک آسیب ACL (والگوس زانو، فلکشن زانو، فلکشن تنه و فلکشن جانبی تنه) تأثیر معناداری نداشتند. از آنجاکه نحوه ی فرود یکی از ریسک فاکتورهای اصلی آسیب رباط صلیبی قدامی محسوب می شود، یافته های این پژوهش حاکی از آن است که تمرینات تناوبی روی تردمیل آبی به تنهایی

نمی‌توانند به‌عنوان یک مداخله‌ی کاربردی برای بهبود این ریسک فاکتور و پیشگیری از آسیب ACL در فوتسالیست‌های حرفه‌ای توصیه شوند. بر این اساس، این تمرینات صرفاً برای بهبود کنترل پاسچر مفید هستند و برای اصلاح بیومکانیک فرود کافی نیستند. با توجه به شیوع بالای آسیب‌های ACL در فوتسال و ماهیت چندعاملی این آسیب، طراحی برنامه‌های تمرینی ترکیبی که در کنار تمرینات آبی، شامل تمرینات عصبی-عضلانی، ثبات مرکزی و پلائیومتریک باشد، رویکردی منطقی‌تر و کارآمدتر برای پیشگیری خواهد بود. به پژوهشگران آینده پیشنهاد می‌شود که این مداخله را با حجم نمونه‌ی بزرگ‌تر و در هر دو جنس، با دوره‌ی تمرینی طولانی‌تر (۸ تا ۱۲ هفته)، با استفاده از سیستم‌های آنالیز حرکت سه‌بعدی و اندازه‌گیری هم‌زمان فعالیت الکترومایوگرافی عضلات، بر روی ورزشکاران رشته‌های مختلف ورزشی انجام دهند و اثرات بلندمدت آن را نیز ارزیابی کنند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمام ملاحظات اخلاقی در این مطالعه به‌طور کامل رعایت شد. شرکت‌کنندگان قبل از شرکت در مطالعه، به‌طور مفصل در مورد مراحل تحقیق مطلع شده و رضایت کتبی خود را ارائه دادند. همچنین به آن‌ها اطمینان داده شد که حق انصراف از مطالعه در هر زمان را دارند. علاوه بر این، تمام اطلاعات شخصی کاملاً محرمانه نگه داشته شده و صرفاً برای اهداف تحقیقاتی استفاده می‌شود. این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه اراک با کد اخلاق IR.ARAKU.REC.1402.012 تأیید شده است.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی اختصاصی از سوی سازمان‌های تأمین‌کننده بودجه در بخش‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

صفورا قاسمی: مفهوم‌پردازی، روش‌شناسی، تحلیل داده‌ها، نظارت، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازبینی و ویرایش متن.
امیرحسین نجیمی: انجام پژوهش، مدیریت اجرایی پروژه، بازبینی و ویرایش متن.
مسعود گلپایگانی: نظارت، بازبینی و ویرایش متن.
تمامی نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کردند.

تعارض

نویسندگان اعلام می‌کنند که در ارتباط با انتشار این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

References

1. Feizolahi F, Azarbayjani MA. Comparison of static and dynamic balance in amateur male athletes. *Rehabilitation Medicine*. 2015;3(4):89-98.
2. Nourizadeh S, Daneshmandi H. Comparison of upper extremity function test and balance between different sports. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2017;6(2):110-121.

3. Farhadi H. The relationship between static and dynamic balances and lower extremity injuries in the adolescent athlete. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*. 2013;8(6):1159-1168.
4. Darvishi S, Majlesi M, Azadian E. Comparative analysis of center of pressure responses during defensive landing in professional and novice volleyball players. *Journal of Sport Biomechanics*. 2025;11(2):162-174. [DOI:10.61186/JSportBiomech.11.2.162]
5. Shadkanlu Ostad M, Norasteh AA, Babagoltabar Samakoush H. Comparison of static and dynamic balance of athletes of different sports in conditions with and without posture disturbances. *Journal of Sport Biomechanics*. 2019;4(4):16-27. [DOI:10.32598/biomechanics.4.4.16]
6. Roshandel Hesari A, Roshandel Hesari A. Investigation of static and dynamic balance in school basketball players with a history of ankle injury. *Journal of Sport Biomechanics*. 2020;6(2):86-97. [DOI:10.32598/biomechanics.6.2.1]
7. Belkhelladi M, Cierson T, Martineau PA. Biomechanical risk factors for increased anterior cruciate ligament loading and injury: a systematic review. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2025;13(2):23259671241312681. [DOI:10.1177/23259671241312681]
8. Sloma K, Erdman A, Davis A, Loewen A, Ellis H, Wilson P, et al. Kinematic and kinetic risk factors exist bilaterally during the first and second landing of the drop vertical jump in adolescent patients following ACL reconstruction. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2025;20(10):1436. [DOI:10.26603/001c.144188]
9. Lynch B, Bond C, Noonan B. Knee and trunk biomechanics during a single leg drop vertical jump: the effects of horizontal distance, sex, and limb dominance. *Gait & Posture*. 2026;128:110190. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2026.110190]
10. Miralles-Iborra A, Vera-Garcia FJ, Elvira JL, Del Coso J, Buckthorpe M, Manchón-Davó M, et al. Mechanisms, injury patterns and biomechanical factors of anterior cruciate ligament injuries in football (soccer): a systematic review and meta-analysis of video-analysis studies. *Sports Medicine*. 2026;56(2):465-480. [DOI:10.1007/s40279-025-02345-9]
11. Hodel S, Imhoff FB, Strutzenberger G, Fitze D, Obrist S, Vlachopoulos L, et al. Greater hip internal rotation range of motion is associated with increased dynamic knee valgus during jump landing, both before and after fatigue. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2025;33(5):1560-1568. [DOI:10.1002/ksa.12447]
12. Safari H, Fallah Mohammadi M. Investigating the effect of 8-week central stability training program on jump-landing pattern and balance of active students with trunk problems. *Journal of Research in Management and Teaching in Marine Sciences*. 2022;9(3):145-157.
13. Safari Bak M, Khayambashi K, Esmaeili H, Lenjannejadian S. The effects of isolated hip abductor and external rotator muscles strengthening on concentric and eccentric strength and jump-landing mechanics using Landing Error Scoring System. *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*. 2020;8(3):139-148.
14. Mokhtari Fard Z, Sabbagh Langeroudi M. The effects of 8 weeks TRX exercises and core stability in the stable level on the landing pattern, the stability of the core area and balance of girls football players. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2021;10(3):546-561. [DOI:10.32598/SJRM.10.3.14]
15. Shafiee A, Daneshjoo A, Sahebozamani M. The effect of eight weeks of water training on postural control and balance recovery strategies in 60-70 years old elderly men. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2022;10(6):1326-1337. [DOI:10.32598/SJRM.10.6.20]

16. Abbasi H, Akhonda A, Sharifatpour R, Abedinzadeh S, Ayatizadeh F. Comparison of the effect of 8 weeks of training in water and land environment on pain and range of motion of athletes with acute ankle sprain: a semi-experimental study. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*. 2023;22(1):65-78. [DOI:10.52547/jrums.22.1.65]
17. Vermeulen S, De Bleecker C, Spanhove V, Segers V, Willems T, Roosen P, et al. The effect of fatigue on spike jump biomechanics in view of patellar tendon loading in volleyball. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2023;33(11):2208-2218. [DOI:10.1111/sms.14458]
18. Sabzi AH, Gholami A, Naeimikia M, Rouzbahani M. The effect of underwater treadmill training on static balance, dynamic balance, and cognitive ability of sedentary elderly women. *Middle Eastern Journal of Disability Studies*. 2022;12:2.
19. Donoghue OA, Shimojo H, Takagi H. Impact forces of plyometric exercises performed on land and in water. *Sports Health*. 2011;3(3):303-309. [DOI:10.1177/1941738111403872]
20. Maruszevska A, Panasiuk L. Water treadmill therapy after reconstruction of the anterior cruciate ligament ACL: case report. *Acta Balneologica*. 2020;160(2):99. [DOI:10.36740/ABal202002105]
21. Hoskin K, Dodd K, Chan SP, Rosengarten S, Heywood S. Aquatic exercise compared to contrast therapy with shallow water treadmill running to assist recovery in elite Australian rules footballers. *International Journal of Aquatic Research and Education*. 2013;7(4):5. [DOI:10.25035/ijare.07.04.05]
22. Lee ME, Jo GY, Do HK, Choi HE, Kim WJ. Efficacy of aquatic treadmill training on gait symmetry and balance in subacute stroke patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2017;41(3):376. [DOI:10.5535/arm.2017.41.3.376]
23. Lee SY, Im SH, Kim BR, Han EY. The effects of a motorized aquatic treadmill exercise program on muscle strength, cardiorespiratory fitness, and clinical function in subacute stroke patients: a randomized controlled pilot trial. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2018;97(8):533-540. [DOI:10.1097/PHM.0000000000000920]
24. Sabzi AH, Dana A, Salehian MH, Shaygan Yekta H. The effect of water treadmill exercise on children with attention deficit hyperactivity disorder. *International Journal of Pediatrics*. 2021;9(6):13671-13681.
25. Bressel E, Wing JE, Miller AI, Dolny DG. High-intensity interval training on an aquatic treadmill in adults with osteoarthritis: effect on pain, balance, function, and mobility. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014;28(8):2088-2096. [DOI:10.1519/JSC.0000000000000258]
26. Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WE Jr, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: the JUMP-ACL study. *The American Journal of Sports Medicine*. 2009;37(10):1996-2002. [DOI:10.1177/0363546509343200]
27. Duquette AM, Senia M, van Wyk PM, Baker J, Paquin KC, Horton S. Re-examining the relationship between measures of static and dynamic balance among young adults. *Current Issues in Sport Science*. 2022;8(1). [DOI:10.36950/2022ciss012]
28. Plisky P, Schwartkopf-Phifer K, Huebner B, Garner MB, Bullock G. Systematic review and meta-analysis of the Y-Balance Test lower quarter: reliability, discriminant validity, and predictive validity. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2021;16(5):1190. [DOI:10.26603/001c.27634]
29. Hoffman M, Schrader J, Applegate T, Kocaja D. Unilateral postural control of the functionally dominant and nondominant extremities of healthy subjects. *Journal of Athletic Training*. 1998;33(4):319.

30. Alimoradi M, Sahebazamini M, Bigtashkhani R. The effect of +11 injury prevention program on the jumping-landing error in female amateur soccer players. *Research in Sport Medicine and Technology*. 2021;19:91-102.
31. Parsa A, Daneshmandi H, Majelan AS. The ground reaction force in jump-landing maneuver after soccer specific fatigue protocol (SAFT90) in elite soccer players. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences*. 2017;39(2):19-26.
32. Seyedjafari E, Sahebozamani M, Ebrahimipour E. Effect of eight weeks of water exercises on deep part of the pool on the static balance of the elderly man. *Iranian Journal of Ageing*. 2017;12(3):384-393. [DOI:10.21859/sija.12.3.384]
33. Taheri MO. Effect of hydrotherapy on lower body strength and balance among elderly women. *Journal of Physical Education Research*. 2015;2(4):19-26.
34. Wang H, Toner MM, Lemonda TJ, Zohar M. Changes in landing mechanics after cold-water immersion. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2010;81(2):127-132. [DOI:10.1080/02701367.2010.10599659]
35. Bressel E, Louder TJ, Hoover JP, Roberts LC, Dolny DG. Acute and chronic effects of aquatic treadmill training on land treadmill running kinematics: a cross-over and single-subject design approach. *Journal of Sports Sciences*. 2017;35(21):2105-2113. [DOI:10.1080/02640414.2016.1256493]
36. Samakoush HB, Norasteh A. The effect and persistence of neuromuscular correction program on landing position, static and dynamic balance of athletes with dynamic knee valgus defects. *Rehabilitation Medicine*. 2021;8(1):45-57.
37. Fatahi F, Ghasemi GA, Karimi MT, Beyranvand R. Can eight weeks of stabilization exercise change the amount of knee flexion and anterior shear force. *Journal of Clinical and Analytical Medicine*. 2018;9(3):203-208.
38. Mohajeran ES, Khoshraftar Yazdi N, Mohammadi MR. The effect of eight weeks of training on core stability and proprioceptive neuromuscular trunk women basketball elite. *Journal of Research in Sport Rehabilitation*. 2017;5(9):67-74.
39. Yadollahi A, Zarei M, Gheitiasi M. The effect of eight weeks reactive neuromuscular training on lower extremity kinematics during landing in female basketball players. *Studies in Sport Medicine*. 2022;14(33):59-80.
40. Rajabi R, Mohammadpour S. The relationship of kinematics of trunk and knee in sagittal plane with anterior tibia shear force during single leg landing. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*. 2014;19(2):47-56.
41. Blackburn JT, Padua DA. Influence of trunk flexion on hip and knee joint kinematics during a controlled drop landing. *Clinical Biomechanics*. 2008;23(3):313-319. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2007.10.003]
42. Blackburn JT, Padua DA. Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. *Journal of Athletic Training*. 2009;44(2):174-179. [DOI:10.4085/1062-6050-44.2.174]