

Research Paper



Effects of High-Intensity Plyometric Training on Force-Time Characteristics During Volleyball Spike and Block Jumps

Moneer Fadel Ali Hassan^{*1} , Omar Waleed Abdulkareem¹ , Linha Safaa Ali¹

1. Physical Education and Sports Sciences College, Baghdad University, Baghdad, Iraq.



Citation: Ali Hassan MF, Abdulkareem OW, Ali LS. Effects of High-Intensity Plyometric Training on Force-Time Characteristics During Volleyball Spike and Block Jumps. Journal of Sport Biomechanics. 2027;12(4):732–755. <https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.4.732>



Article Info:

Received: 15 July 2026

Accepted: 12 October 2026

Published: 15 October 2026

Keywords:

Volleyball, Plyometric training, Vertical ground reaction force, Spike jump, Block jump

ABSTRACT

Objective This study examined the effects of an 8-week high-intensity plyometric training (HPT) program on the temporal and kinetic characteristics of vertical ground reaction forces (vGRFs) during volleyball spike and block jumps.

Methods Forty male recreational volleyball players were randomly assigned to an experimental group (EG, $n = 20$), which completed a 3-day/week HPT program alongside their regular volleyball training, or a control group (CG, $n = 20$), which maintained their usual training regimen. vGRFs were measured using a force platform. Peak force (PF), rate of force development (RFD), and time to peak force (TPF) were extracted from the force-time curves. Data were analyzed using a two-way mixed-design repeated-measures ANOVA, and effect sizes were calculated using partial eta squared (η^2).

Results Significant Time $\times$ Group interactions were identified for PF, RFD, and TPF in both the spike and block jump tasks ($p < 0.001$). Following the intervention, the EG exhibited higher PF and RFD values and lower TPF values across both jumping tasks, while the CG remained statistically unchanged.

Conclusion The 8-week HPT program was associated with improved force-production magnitude and temporal characteristics during volleyball-specific spike and block jumps in the present sample. These findings support the consideration of HPT as a component of volleyball training aimed at developing rapid force-production characteristics during sport-specific jumping tasks.

* Corresponding Author:

Moneer Fadel Ali Hassan

Moneer.Fadel1104A@cope.uobaghdad.edu.iq

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

The performance of volleyball athletes depends greatly on their ability to perform explosive actions such as spike and block jumps, which require rapid force production and effective application of vertical ground reaction forces (vGRFs). From a biomechanical perspective, the analysis of force-time characteristics provides information about both the magnitude and timing of force application during explosive movements. In volleyball, these characteristics are particularly relevant because spike and block jumps require athletes to generate substantial force within a limited time period (1). Previous research has demonstrated the importance of lower-limb force production and jumping biomechanics for volleyball performance, including the contribution of lower-limb kinetics to spike-jump performance (2–4).

Plyometric training has been widely used to improve jump performance, reactive strength, and the effectiveness of the stretch-shortening cycle in volleyball athletes (5–7). Previous studies have reported improvements in jumping ability and physical performance following plyometric interventions; however, many investigations have emphasized outcome measures such as jump height, power, or peak force rather than the temporal characteristics of force production (8,9). Rate of force development (RFD) provides information about how rapidly force is generated, whereas time to peak force (TPF) reflects the time required to reach peak force. These force-time variables may therefore provide additional information about explosive force-production characteristics that cannot be captured by jump height or peak force alone. Although plyometric training has been shown to improve general jumping performance in volleyball players (10–12), limited evidence is available regarding changes in force-time characteristics during volleyball-specific spike and block jumps following high-intensity plyometric training (HPT).

Recent advances in sports biomechanics have emphasized the value of force-time analysis for examining the magnitude and temporal characteristics of force application during explosive movements (13,14). Spike and block jumps also differ in their initial movement configurations. A spike jump typically involves an approach phase before take-off, whereas a block jump is performed from a stationary bilateral stance. These differences provide distinct movement contexts in which force-time characteristics can be examined. The extent to which a structured HPT program influences peak force (PF), RFD, and TPF during these two volleyball-specific jumping tasks remains insufficiently documented.

The present study examined the effects of an 8-week HPT program on the force-time characteristics of vGRFs during volleyball spike and block jumps. The primary novelty of the study was the simultaneous assessment of three complementary force-time variables—PF, RFD, and TPF—during two sport-specific volleyball jumping tasks following a standardized HPT intervention. This approach provides a more detailed characterization of changes in force-production characteristics than assessments based solely on jump height or peak force (15,16). Based on these objectives, it was hypothesized that HPT would significantly increase PF and RFD while concurrently decreasing TPF during both volleyball spike and block jumps.

The scientific significance of this study lies in its contribution to sport biomechanics and strength and conditioning research by providing detailed information about HPT-related changes in force-time characteristics during volleyball-specific jumping tasks. Examining both the magnitude and timing of force production may provide additional information for evidence-based training design and task-specific programming in volleyball players (8,13).

Methods

Research Design

A randomized controlled pretest-posttest design was used to examine the effects of an 8-week HPT program on the force-time characteristics of vGRFs. Participants were randomly allocated to either the EG, which received the HPT intervention in addition to regular volleyball training, or the CG,

which maintained its regular training regimen. The independent variable was the training protocol (HPT plus regular training vs. regular training), whereas the dependent variables were PF, RFD, and TPF during volleyball spike and block jumps. Following eligibility screening and baseline assessments, the 40 participants were randomly assigned in equal proportions to either the EG ($n = 20$) or the CG ($n = 20$) using a simple lottery-based allocation procedure. Each participant had an equal probability of allocation to either study group. The assessor conducting the baseline and post-intervention assessments was unaware of the participants' group assignments at the time of testing, thereby minimizing the possibility of assessment bias. The study included 40 eligible participants, with 20 allocated to each group. An a priori power analysis was not performed before data collection. The sample size was based on the number of eligible participants available during the recruitment period and the predefined inclusion and exclusion criteria. All 40 participants completed the 8-week intervention and post-test assessments, with no dropout or loss to follow-up.

Participants

Forty physically active male undergraduate students from the College of Physical Education and Sport Sciences, University of Baghdad, participated in the study. Participants were classified as recreational volleyball players because they were not professional or elite athletes, although they were members of a university volleyball team and participated in formal volleyball competitions. Their ages ranged from 19 to 22 years. The inclusion criteria were at least one year of regular volleyball participation and the absence of a lower-extremity injury during the previous six months. Participants were excluded if they had a chronic musculoskeletal condition or were unable to safely perform the spike and block jump tasks. All participants provided informed consent before participation. The study protocol was approved by the Institutional Review Board (IRB) of the College of Physical Education and Sport Sciences, University of Baghdad (Approval Code: IRB-PESS-2026-05). The sample included five volleyball playing positions: setters, middle blockers, outside hitters, opposites, and liberos. Each position was equally represented, with eight players in each position across the total sample. Following random allocation, each study group included four setters, four middle blockers, four outside hitters, four opposites, and four liberos. The EG and CG were therefore balanced with respect to playing position, with each group comprising 20 participants. Participants had approximately two years of volleyball experience and regularly participated in volleyball training and formal university-level competitions. They also had experience with resistance/weight training as part of their usual physical preparation before and during the study period. The resistance training component was not part of the experimental intervention and was maintained as part of their usual training activities. Throughout the 8-week intervention, both groups maintained their standard volleyball training schedule, consisting of three sessions per week of approximately 90 minutes each, with an emphasis on technical and tactical volleyball skills. The EG supplemented this routine with the HPT program, whereas the CG followed the same regular volleyball training schedule without receiving the additional plyometric intervention. After eligibility screening and completion of the baseline procedures, participants were assigned equally to the EG ($n = 20$) and the CG ($n = 20$) using a simple lottery-based randomization procedure. The assessor responsible for conducting the baseline and post-intervention assessments remained blinded to the participants' group allocation before each assessment. All 40 participants completed the 8-week intervention and post-test assessments, with no dropout or loss to follow-up. Participants were randomly assigned to two groups: an EG ($n = 20$) that underwent HPT and a CG ($n = 20$) that continued their regular volleyball training. No significant differences were found between groups in baseline characteristics ($p > 0.05$), as shown in [Table 1](#).

Equipment and Measurement Tools

vGRFs were collected using a calibrated force platform (model OR6-7, AMTI, Watertown, MA, USA) securely embedded in and flush with the laboratory floor. Analog signals from the platform were sampled at a frequency of 1000 Hz using a data acquisition system and stored for subsequent offline analysis. Before each testing session, the force platform was calibrated according to the

Table 1. Baseline Characteristics (Mean $\pm$ SD) of the Experimental and Control Groups (n = 40)

Variable	EG (n = 20)	CG (n = 20)	p-value
Age (years)	20.6 $\pm$ 1.1	20.4 $\pm$ 1.3	0.64*
Body Mass (kg)	78.7 $\pm$ 6.0	78.1 $\pm$ 6.4	0.72*
Height (cm)	178.5 $\pm$ 5.2	177.9 $\pm$ 5.6	0.68*
Volleyball Experience (years)	1.8 $\pm$ 0.6	1.7 $\pm$ 0.5	0.59*

Note. * = non-significant at $p > 0.05$

manufacturer's instructions to ensure signal accuracy and linearity. Participants performed two distinct volleyball-specific jumping tasks: the spike jump (with a three-step approach) and the block jump (from a stationary bilateral position). For the spike jump, participants were instructed to use a standard three-step approach, plant both feet simultaneously on the center of the force platform to ensure accurate force capture, and execute a maximal vertical jump simulating an attack hit while swinging both arms vigorously upward (17). For the block jump, participants started in an athletic stance with their feet shoulder-width apart on the platform, performed a rapid self-selected countermovement, and executed a maximal vertical jump with both arms reaching upward to simulate a defensive block (17).

The sequence of the two jumping tasks was randomized to reduce potential effects related to test order and fatigue. Participants performed three maximal-effort trials. A standardized rest interval was provided between trials to limit fatigue and maintain maximal neuromuscular performance during the explosive efforts (18). If a participant stepped off the platform during the jump or demonstrated improper technique, the trial was discarded and immediately repeated. The mean value of the three successful trials was calculated and used for subsequent statistical analysis. Before data collection, all participants completed a standardized 10-minute dynamic warm-up consisting of light jogging, lower-limb dynamic stretching, and familiarization jumps performed at submaximal intensity. For the analysis of force-time characteristics, force onset was identified manually from the vertical ground reaction force-time curve using the participant's baseline standing force as the reference. Baseline force was determined from the quiet-standing period recorded before each jumping task. The same manual identification procedure was applied consistently across all participants, jumping tasks, and measurement occasions. The analyst responsible for extracting the force-time variables was blinded to the participants' group allocation and measurement time (pretest or posttest) to minimize potential measurement bias.

Procedures

Throughout the 8-week intervention, the EG maintained its regular volleyball training schedule, which comprised three weekly sessions focused on technical and tactical development, while additionally completing the HPT program. Each regular volleyball session lasted approximately 90 minutes. The CG continued with its usual volleyball training without receiving the supplementary HPT intervention. Plyometric sessions were scheduled on nonconsecutive days (Monday, Wednesday, and Friday) to provide sufficient recovery between training sessions and were conducted under the supervision of qualified strength and conditioning staff. Each HPT session began with a 10-minute dynamic warm-up involving light jogging, dynamic stretching, and submaximal jumps, followed by approximately 35–40 minutes of plyometric training, and concluded with a 10-minute static-stretching cool-down. The HPT program was structured into four progressive two-week phases, as presented in Table 2. Progression was achieved by increasing the mechanical and neuromuscular demands of the exercises through changes in exercise complexity, jump height, unilateral loading demands, and reactive requirements. Rest intervals between sets were controlled at 90–120 seconds according to the training phase to provide adequate recovery between explosive sets. Adequate recovery between sets was maintained to support high-quality explosive performance throughout the training sessions (18). Phase 1 (Weeks 1–2; Adaptation) focused on neuromuscular adaptation, movement familiarization, and safe landing techniques. The exercises included basic bilateral movements such as squat jumps and countermovement jumps

Table 2. 8-Week HPT Program

Weeks	Phase	Objective	Exercises	Sets × Rep	Contacts	Intensity	Rest	Frequency
1–2	Adaptation	Neuromuscular adaptation and movement technique	Squat Jumps; Countermovement Jumps (CMJ); Lateral Bounds	3 × 8	72	Moderate	90 s	3 sessions/week
3–4	Strength	Improve lower-limb force production	Tuck Jumps; Split Jumps; Alternate-Leg Bounds	3 × 10	90	Moderate–High	90 s	3 sessions/week
5–6	Power	Maximize explosive power and stretch-shortening cycle efficiency	Depth Jumps (30-cm box); Single-Leg Hops	4 × 8	96	High	120 s	3 sessions/week
7–8	Peaking	Enhance reactive strength and volleyball-specific jumping performance	Drop Jumps (45-cm box); Reactive Block Jumps	4 × 6	72	Very High	120 s	3 sessions/week

Note. CMJ = countermovement jump. Training intensity was progressively increased according to the mechanical and neuromuscular demands of the exercises, including exercise complexity, jump height, unilateral loading demands, and reactive requirements. Ground-contact values represent the HPT component only and do not include contacts generated during regular volleyball training.

(CMJ), performed with an emphasis on controlled landing mechanics and maximal vertical effort. Lateral bounds were also included to introduce multidirectional lower-limb loading. Phase 2 (Weeks 3–4; Strength) focused on increasing lower-limb force-production demands through more challenging plyometric exercises. The training included tuck jumps, split jumps, and alternate-leg bounds, with an emphasis on forceful take-off and controlled landing. Phase 3 (Weeks 5–6; Power) introduced higher-intensity stretch-shortening-cycle exercises. Depth jumps from a 30-cm box and single-leg hops were performed to increase the explosive and reactive demands of the training. For the depth jumps, participants stepped down from the box rather than jumping from it, landed bilaterally, and immediately performed a maximal vertical response with a rapid transition from landing to take-off. The use of depth-jump exercises was consistent with previously reported approaches for developing reactive and explosive lower-limb performance (19). Phase 4 (Weeks 7–8; Peaking) emphasized reactive strength and volleyball-specific jumping demands. Drop jumps from a 45-cm box and reactive block jumps were performed. Reactive block jumps involved a rapid maximal vertical jump following the preceding landing action, providing a task-specific stimulus related to the rapid jumping demands encountered during volleyball blocking (20).

The HPT volume ranged from approximately 216 to 288 ground contacts per week across the four phases. These values represented the HPT component only and did not include ground contacts generated during the participants' regular volleyball training. The selected progression in plyometric volume was consistent with previously reported training approaches for developing explosive performance in trained athletes (21). All 20 participants assigned to the EG completed the prescribed 24 HPT sessions over the 8-week intervention, corresponding to a 100% adherence rate.

No training-related adverse events or injuries were reported during the intervention, and no participant was lost to follow-up.

Data Analysis

All vGRF signals were filtered using a fourth-order, zero-phase Butterworth low-pass filter with a cutoff frequency of 20 Hz (22). From the filtered force-time curves, three primary dependent variables were extracted for both spike and block jumps: PF, defined as the maximum vertical force value during the propulsive phase; RFD, calculated as the average slope of the force-time curve from force onset to peak force (N/s); and TPF, representing the time elapsed from force onset to the achievement of PF (ms). Force onset was defined as the instant at which the vertical ground reaction force exceeded the baseline standing body weight by 5 standard deviations (SD) for at least 30 milliseconds, ensuring that the detected onset represented an actual change in force production rather than signal noise. Descriptive statistics (mean $\pm$ SD) were calculated for all variables. Data normality was assessed using the Shapiro-Wilk test, and homogeneity of variances was verified using Levene's test. To evaluate the effects of the intervention, a two-way mixed-design repeated-measures ANOVA (2 Groups [EG, CG] $\times$ 2 Times [Pretest, Posttest]) was conducted for each dependent variable. If a significant Time $\times$ Group interaction was found, post hoc pairwise comparisons with Bonferroni correction were performed. Effect sizes were calculated using η^2 and interpreted as small (0.01), medium (0.06), and large (0.14). Statistical significance was set at $p < 0.05$. All analyses were performed using SPSS (version 25.0, IBM Corp., USA).

Results

The effects of the 8-week HPT program on vGRF variables during the spike and block jump tests were analyzed using a two-way mixed-design repeated-measures analysis of variance (ANOVA), with Time as the within-subjects factor and Group as the between-subjects factor. The ANOVA revealed significant Time $\times$ Group interactions for all three variables in both jumping tasks. For the spike jump task (Table 3), significant Time $\times$ Group interactions were observed for PF, RFD, and TPF ($p < 0.001$). PF increased significantly in the EG following the intervention, whereas no significant change was observed in the CG ($F(1,38) = 31.84$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.456$). RFD increased significantly in the EG, while no significant change was observed in the CG ($F(1,38) = 27.63$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.421$). TPF decreased significantly in the EG, whereas no significant change was observed in the CG ($F(1,38) = 19.57$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.340$).

For the block jump task (Table 4), significant Time $\times$ Group interactions were also observed for PF, RFD, and TPF ($p < 0.001$). PF increased significantly in the EG following the intervention, whereas no significant change was observed in the CG ($F(1,38) = 29.91$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.440$). RFD increased significantly in the EG, while no significant change was observed in the CG ($F(1,38) = 25.18$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.399$). TPF decreased significantly in the EG, whereas no significant change was observed in the CG ($F(1,38) = 18.42$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.327$).

Fig. 1 presents the pretest and posttest values of PF, RFD, and TPF for the spike jump task in the EG and CG. In the EG, PF and RFD were higher at posttest than at pretest, whereas TPF was lower. The

Table 3. Two-Way Repeated-Measures ANOVA Results for Vertical Ground Reaction Force Variables in the Spike Jump Task

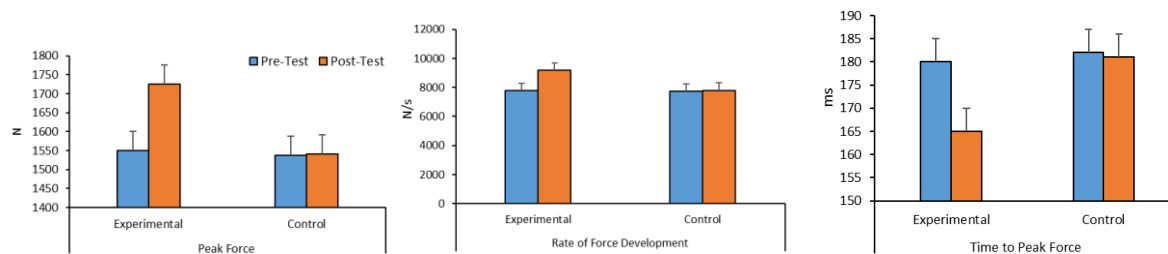
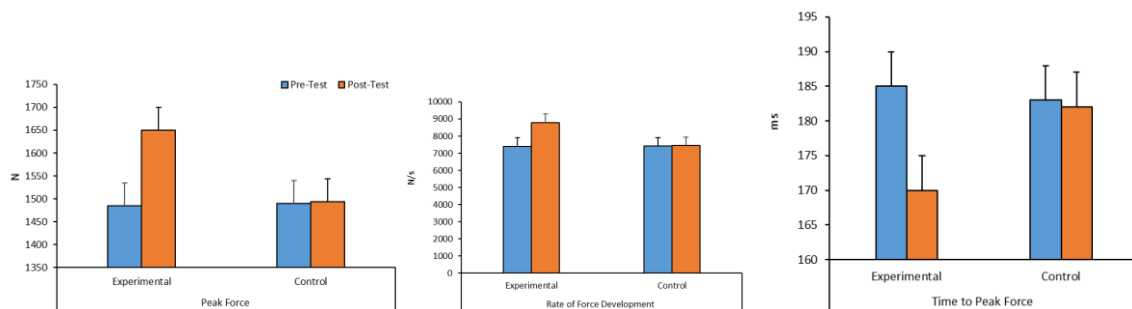
Variable	Group	Pre-Test (Mean $\pm$ SD)	Post-Test (Mean $\pm$ SD)	F (1,38)	p-value	η^2
PF (N)	Experimental	1550 $\pm$ 120	1725 $\pm$ 135	31.84	<0.001*	0.456
	Control	1538 $\pm$ 118	1542 $\pm$ 122			
RFD (N/s)	Experimental	7800 $\pm$ 650	9200 $\pm$ 710	27.63	<0.001*	0.421
	Control	7750 $\pm$ 640	7805 $\pm$ 660			
TPF (ms)	Experimental	180 $\pm$ 15	165 $\pm$ 12	19.57	<0.001*	0.340
	Control	182 $\pm$ 14	181 $\pm$ 13			

Note. * = significant at $p < 0.05$.

Table 4. Two-Way Repeated-Measures ANOVA Results for Vertical Ground Reaction Force Variables in the Block Jump Task

Variable	Group	Pre-Test (Mean $\pm$ SD)	Post-Test (Mean $\pm$ SD)	F (1,38)	p-value	ηp^2
PF (N)	Experimental	1485 $\pm$ 110	1650 $\pm$ 125	29.91	<0.001*	0.440
	Control	1490 $\pm$ 112	1493 $\pm$ 115			
RFD (N/s)	Experimental	7400 $\pm$ 610	8800 $\pm$ 670	25.18	<0.001*	0.399
	Control	7420 $\pm$ 600	7450 $\pm$ 625			
TPF (ms)	Experimental	185 $\pm$ 16	170 $\pm$ 13	18.42	<0.001*	0.327
	Control	183 $\pm$ 15	182 $\pm$ 14			

Note. * = significant at $p < 0.05$.

**Fig. 1.** Pre- and post-test comparisons of PF, RFD, and TPF during spike jumps for the EG and CG.**Fig. 2.** Pre- and post-test comparisons of PF, RFD, and TPF during block jumps for the EG and CG.

corresponding values in the CG remained relatively stable. Fig. 2 presents the same variables for the block jump task. In the EG, PF and RFD were higher at posttest than at pretest, whereas TPF was lower. The CG showed relatively stable values between the two measurement occasions.

Discussion

The main finding of this study was that the 8-week HPT intervention was associated with significant changes in the magnitude and temporal characteristics of vGRFs during volleyball-specific spike and block jumps. Consistent with the first hypothesis, participants in the EG demonstrated significant increases in PF and RFD, together with a significant reduction in TPF. Participants in the CG, who continued their regular volleyball training, did not demonstrate statistically significant changes in the examined variables. These findings suggest that the addition of HPT to regular volleyball training contributed to the observed changes in force-time characteristics in the present sample.

The higher PF recorded during both spike and block jumps suggests an enhanced ability to generate force during the jumping movement. Previous studies have indicated that plyometric training may influence neuromuscular properties, including motor unit recruitment, neural activation, and muscle-tendon stiffness (4,7). However, these mechanisms were not directly measured in the present study and should therefore be considered possible explanations rather than demonstrated adaptations. From a mechanical perspective, greater muscle-tendon stiffness has been associated

with more effective energy storage and return during the stretch-shortening cycle. The large effect sizes observed for PF ($\eta^2 > 0.44$) indicate substantial Time $\times$ Group interaction effects in the present sample. These findings suggest that the addition of HPT may produce changes in force-production characteristics beyond those observed during regular volleyball training (6).

The increased force production observed during the jumping tasks is also relevant to the biomechanical demands of volleyball spike and block movements. Although the present study focused on the propulsive phase, previous research has shown that landing characteristics and vGRFs can be influenced by neuromuscular fatigue in trained athletes (23,24). The present findings demonstrate improvements in force-production characteristics during the measured jumping tasks, but they do not establish whether these adaptations would improve landing mechanics or reduce the effects of fatigue. Future studies incorporating both take-off and landing kinetics could provide a more comprehensive assessment of the effects of HPT on the complete jump cycle.

From a temporal perspective, the increase in RFD observed in the EG is particularly relevant to volleyball because spike and block jumps require rapid force production. RFD describes the rate at which force is developed and is considered an important characteristic of explosive movements (25,26). Because force production during jumping occurs over a relatively short time interval, improvements in RFD may be functionally relevant to the rapid force-generation demands of volleyball movements. The increases in RFD observed in the present study are also consistent with previous evidence suggesting that plyometric training can improve explosive force-production characteristics and the utilization of the stretch-shortening cycle (8,14).

The decrease in TPF after the training period provides additional information regarding the temporal characteristics of force production during explosive jumping. This reduction indicates a shorter time required to reach PF during the jumping movement (27). From a mechanical perspective, the ability to generate high levels of force within a shorter period may be relevant to the development of take-off velocity (V_0), which is an important determinant of vertical displacement during jumping. However, take-off velocity and jump height were not directly assessed in the present study. Therefore, the findings should be interpreted as evidence of changes in force-time characteristics rather than direct evidence of improvements in jump height or flight time.

Changes in force-time characteristics were observed during both spike and block jumps despite differences in their initial movement configurations. In the spike jump, the approach phase involves horizontal movement before take-off, whereas the block jump begins from a stationary bilateral stance and emphasizes vertical force production. The significant changes in PF, RFD, and TPF in both tasks suggest that the HPT intervention was associated with improvements in force-time characteristics across these two volleyball-specific jumping conditions. However, because the statistical analysis did not include a direct Task $\times$ Time $\times$ Group interaction, it cannot be concluded that the magnitude of adaptation differed between spike and block jumps. The findings should therefore be interpreted as evidence of improvements across both tested tasks rather than differential task-specific adaptations.

This pattern is generally consistent with previous research indicating that plyometric training can produce broader neuromuscular adaptations (28). The present findings also complement studies examining both acute and chronic applications of plyometric and neuromuscular training approaches. For example, previous research has investigated acute interventions, such as PAP-based warm-ups, to influence upper-body striking velocity in combat sports (29), as well as longer-term training approaches targeting technical and kinematic performance in volleyball players (30). The present study extends this literature by examining changes in force-time characteristics during volleyball-specific spike and block jumps following an 8-week HPT intervention. However, the findings should be interpreted within the characteristics of the present sample and study design and should not be taken as evidence that HPT is superior to other training approaches or necessary for producing long-term kinetic adaptations.

Several limitations should be considered when interpreting the findings of this study. First, the study focused exclusively on kinetic variables derived from vGRF measurements and did not incorporate additional biomechanical variables, such as lower-limb joint angles, angular velocities, or joint moments. Therefore, the specific biomechanical mechanisms underlying the observed changes cannot be determined. Future studies should combine force-platform analysis with three-dimensional motion capture to provide a more comprehensive assessment of how HPT influences joint-level biomechanics during spike and block jumps. Second, the study did not directly measure maximal strength or neuromuscular mechanisms such as muscle activation. Consequently, conclusions regarding the relative importance of RFD versus maximal strength or changes in neuromuscular coordination cannot be established from the current data. Future research incorporating maximal-strength testing, electromyography, and other neuromuscular assessments may help clarify the mechanisms associated with changes in force-time characteristics. Third, although the study included an EG and a CG, it did not compare HPT with an alternative structured training program. Thus, the findings do not establish that HPT is superior to other forms of training or that conventional volleyball training is insufficient to produce similar adaptations. Comparative studies involving different training modalities would be valuable for determining the relative effects of HPT. Fourth, the findings are primarily applicable to the recreationally active male volleyball players included in this study and cannot necessarily be generalized to professional athletes, female players, or other populations. Future research should include larger and more heterogeneous samples, including female and professional volleyball players, to determine whether comparable force-time adaptations occur across different athlete populations. Finally, the present analysis was based on absolute kinetic values. Normalizing these variables to body mass could facilitate comparisons between athletes with different anthropometric characteristics. Future studies should consider reporting both absolute and body-mass-normalized force-time measures.

Based on the findings of this study, strength and conditioning coaches working with volleyball athletes may incorporate HPT programs to enhance rapid force-production characteristics. Exercises such as drop jumps and bounding can be introduced progressively according to athletes' training status and the specific goals of the program. However, because the present study did not compare HPT with other training modalities or directly assess maximal strength, RFD should not be considered a substitute for maximal-strength development. Rapid force-production capacity may be developed alongside other relevant physical qualities. Practitioners may also consider using force-platform measurements, when available, to complement conventional performance assessments such as jump height. Force-time variables, including PF, RFD, and TPF, can provide additional information about force-production characteristics during jumping and may help practitioners monitor changes in explosive performance. These measures should be interpreted alongside other performance and training indicators rather than used as the sole indicators of athletic performance.

Conclusion

The 8-week HPT program was associated with significant changes in the kinetic and temporal characteristics of vGRFs during volleyball-specific spike and block jumps in the present sample. PF and RFD increased, whereas TPF decreased in the EG, with significant Time $\times$ Group interactions observed for all examined variables. These findings indicate improved force-time characteristics during the tested jumping tasks following the HPT intervention. However, the study did not directly assess maximal strength, neuromuscular mechanisms, or alternative training programs. Therefore, the findings do not establish that HPT is superior to other training approaches or that conventional volleyball training is insufficient to produce similar adaptations. The results provide biomechanical evidence supporting the consideration of HPT as a component of volleyball training programs aimed at developing explosive force-production characteristics.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge all those who contributed to the successful completion of this study. Special thanks are extended to all participants for their valuable participation. The authors also sincerely thank the staff of the College of Physical Education and Sport Sciences at the University of Baghdad for their assistance and support throughout the study.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The study received ethical approval from the Institutional Review Board (IRB) of the College of Physical Education and Sport Sciences, University of Baghdad (Approval Code: IRB-PESS-2026-05). Written informed consent was obtained from all participants before their participation in the study. All study procedures were conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki, with appropriate measures taken to protect participants' confidentiality and anonymity.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

Moneer Fadel Ali Hassan: Conceived and designed the study, collected and statistically analyzed the data, and prepared the initial draft of the manuscript.

Omar Waleed Abdulkareem: Contributed to the study design, supervised data collection, reviewed the manuscript, and participated in its revision.

Linha Safaa Ali: Collected references, formatted the manuscript according to the journal's requirements, and assisted with manuscript editing.

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

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

Use of Artificial Intelligence

No artificial intelligence was employed in preparing this manuscript.

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات پلايومتریک با شدت بالا بر ویژگی‌های نیرو-زمان در پرش‌های اسپک و دفاع روی تور والیبال

منیر فاضل علی حسن*^۱، عمر ولید عبدالکریم^۱، لینه صفاء علی^۱

۱. دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بغداد، بغداد، عراق.



Citation: Ali Hassan MF, Abdulkareem OW, Ali LS. Effects of High-Intensity Plyometric Training on Force-Time Characteristics During Volleyball Spike and Block Jumps. Journal of Sport Biomechanics. 2027;12(4):732-755. <https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.4.732>

چکیده

هدف: پژوهش حاضر تأثیر یک دوره ۸ هفته‌ای تمرینات پلايومتریک با شدت بالا (HPT) را بر ویژگی‌های زمانی و جنبشی نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین (vGRFs) هنگام پرش‌های اسپک و دفاع روی تور در والیبال بررسی کرد. **روش‌ها:** چهل بازیکن مرد والیبال در سطح تفریحی به صورت تصادفی به دو گروه تجربی (EG، ۲۰ نفر) و کنترل (CG، ۲۰ نفر) تقسیم شدند. گروه تجربی، علاوه بر تمرینات معمول والیبال خود، یک برنامه تمرینات پلايومتریک با شدت بالا را به مدت ۸ هفته و سه جلسه در هفته اجرا کرد، درحالی‌که گروه کنترل برنامه تمرینی معمول خود را ادامه داد. نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین با استفاده از صفحه نیرو اندازه‌گیری شدند. نیروی اوج (PF)، نرخ توسعه نیرو (RFD) و زمان رسیدن به نیروی اوج (TPF) از منحنی‌های نیرو-زمان استخراج شدند. داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس دوطرفه با طرح آمیخته و اندازه‌گیری‌های مکرر تحلیل شدند و اندازه اثر با استفاده از مجذور اتای جزئی (η^2) محاسبه شد.

یافته‌ها: اثرات متقابل معنی‌داری بین زمان و گروه برای نیروی اوج، نرخ توسعه نیرو و زمان رسیدن به نیروی اوج در هر دو تکلیف پرش اسپک و دفاع روی تور مشاهده شد ($p < 0.001$). پس از مداخله، گروه تجربی در هر دو تکلیف پرش، مقادیر بیشتری از نیروی اوج و نرخ توسعه نیرو و مقادیر کمتری از زمان رسیدن به نیروی اوج را نشان داد، درحالی‌که در گروه کنترل تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبودند.

نتیجه‌گیری: برنامه ۸ هفته‌ای تمرینات پلايومتریک با شدت بالا در نمونه مورد مطالعه با بهبود میزان تولید نیرو و ویژگی‌های زمانی آن هنگام پرش‌های اختصاصی اسپک و دفاع روی تور والیبال همراه بود. این یافته‌ها استفاده از تمرینات پلايومتریک با شدت بالا را به عنوان بخشی از تمرینات والیبال با هدف توسعه ویژگی‌های تولید سریع نیرو هنگام تکالیف پرشی اختصاصی این رشته ورزشی مورد حمایت قرار می‌دهند.

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۴ تیر ۱۴۰۵

پذیرش: ۲۰ مهر ۱۴۰۵

انتشار: ۲۳ مهر ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

والیبال، تمرینات پلايومتریک، نیروی عکس‌العمل عمودی زمین، پرش اسپک، پرش دفاع روی تور

* نویسنده مسئول:

منیر فاضل علی حسن

Moneer.Fadel1104A@cope.uobaghdad.edu.iq

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

عملکرد بازیکنان والیبال تا حد زیادی به توانایی آن‌ها در اجرای حرکات انفجاری مانند پرش‌های اسپک و دفاع روی تور بستگی دارد که مستلزم تولید سریع نیرو و اعمال مؤثر نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین (vGRFs) هستند. از دیدگاه بیومکانیکی، تحلیل ویژگی‌های نیرو-زمان اطلاعاتی درباره میزان نیرو و زمان‌بندی اعمال آن در طول حرکات انفجاری فراهم می‌کند. در والیبال، این ویژگی‌ها اهمیت ویژه‌ای دارند؛ زیرا پرش‌های اسپک و دفاع روی تور مستلزم تولید نیروی قابل‌توجه در یک بازه زمانی محدود هستند (۱). پژوهش‌های پیشین اهمیت تولید نیروی اندام تحتانی و بیومکانیک پرش را در عملکرد والیبال، از جمله نقش ویژگی‌های جنبشی اندام تحتانی در عملکرد پرش اسپک، نشان داده‌اند (۲-۴).

تمرینات پلايومتریک به‌طور گسترده برای بهبود عملکرد پرش، قدرت واکنشی و کارایی چرخه کشش-کوتاه‌شدن در بازیکنان والیبال استفاده شده‌اند (۵-۷). مطالعات پیشین بهبود توانایی پرش و عملکرد جسمانی را پس از مداخلات پلايومتریک گزارش کرده‌اند؛ با این حال، بسیاری از پژوهش‌ها به جای ویژگی‌های زمانی تولید نیرو، بر شاخص‌های عملکردی مانند ارتفاع پرش، توان یا نیروی اوج تمرکز داشته‌اند (۸،۹). نرخ توسعه نیرو (RFD) اطلاعاتی درباره سرعت تولید نیرو فراهم می‌کند، درحالی‌که زمان رسیدن به نیروی اوج (TPF) نشان‌دهنده مدت‌زمان لازم برای دستیابی به نیروی اوج است. بنابراین، این متغیرهای نیرو-زمان می‌توانند اطلاعات تکمیلی درباره ویژگی‌های تولید نیروی انفجاری ارائه دهند که صرفاً از طریق ارتفاع پرش یا نیروی اوج قابل دستیابی نیستند. اگرچه نشان داده شده است که تمرینات پلايومتریک عملکرد عمومی پرش را در بازیکنان والیبال بهبود می‌بخشد (۱۰-۱۲)، شواهد محدودی درباره تغییرات ویژگی‌های نیرو-زمان در پرش‌های اختصاصی اسپک و دفاع روی تور پس از تمرینات پلايومتریک با شدت بالا (HPT) وجود دارد.

پیشرفت‌های اخیر در بیومکانیک ورزشی بر اهمیت تحلیل نیرو-زمان برای بررسی میزان نیرو و ویژگی‌های زمانی اعمال آن در طول حرکات انفجاری تأکید کرده‌اند (۱۳،۱۴). پرش‌های اسپک و دفاع روی تور از نظر وضعیت اولیه حرکت نیز با یکدیگر تفاوت دارند. پرش اسپک معمولاً شامل مرحله دورخیز پیش از جدا شدن از زمین است، درحالی‌که پرش دفاع روی تور از وضعیت ایستاده ثابت و با اتکای دوطرفه انجام می‌شود. این تفاوت‌ها شرایط حرکتی متمایزی را فراهم می‌کنند که می‌توان ویژگی‌های نیرو-زمان را در آن‌ها بررسی کرد. با این حال، میزان تأثیر یک برنامه ساختاریافته تمرینات پلايومتریک با شدت بالا بر نیروی اوج (PF)، نرخ توسعه نیرو و زمان رسیدن به نیروی اوج در این دو تکلیف پرشی اختصاصی والیبال هنوز به‌اندازه کافی بررسی و مستند نشده است. پژوهش حاضر تأثیر یک برنامه ۸ هفته‌ای تمرینات پلايومتریک با شدت بالا را بر ویژگی‌های نیرو-زمان نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین هنگام پرش‌های اسپک و دفاع روی تور والیبال بررسی کرد. نوآوری اصلی پژوهش، ارزیابی هم‌زمان سه متغیر مکمل نیرو-زمان شامل نیروی اوج، نرخ توسعه نیرو و زمان رسیدن به نیروی اوج در دو تکلیف پرشی اختصاصی والیبال پس از اجرای یک مداخله استاندارد تمرینات پلايومتریک با شدت بالا بود. این رویکرد در مقایسه با ارزیابی‌هایی که صرفاً بر ارتفاع پرش یا نیروی اوج مبتنی هستند، توصیف دقیق‌تری از تغییرات ویژگی‌های تولید نیرو فراهم می‌کند (۱۵،۱۶). بر اساس این اهداف، فرض بر این بود که تمرینات پلايومتریک با شدت بالا موجب افزایش معنی‌دار نیروی اوج و نرخ توسعه نیرو و هم‌زمان کاهش زمان رسیدن به نیروی اوج در هر دو نوع پرش اسپک و دفاع روی تور والیبال می‌شوند.

اهمیت علمی پژوهش حاضر در کمک به توسعه دانش بیومکانیک ورزشی و پژوهش‌های مرتبط با قدرت و آماده‌سازی جسمانی از طریق ارائه اطلاعات دقیق درباره تغییرات ویژگی‌های نیرو-زمان مرتبط با تمرینات پلايومتریک با شدت بالا در تکالیف پرشی

اختصاصی والیبال است. بررسی هم‌زمان میزان نیرو و زمان‌بندی تولید آن می‌تواند اطلاعات تکمیلی برای طراحی تمرینات مبتنی بر شواهد و برنامه‌ریزی تمرینی اختصاصی متناسب با نوع تکلیف در بازیکنان والیبال فراهم کند (۸،۱۳).

روش‌ها

طرح پژوهش

در این پژوهش از طرح تصادفی کنترل‌شده با پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای بررسی تأثیر یک برنامه ۸ هفته‌ای HPT بر ویژگی‌های نیرو-زمان نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین استفاده شد. شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی به گروه تجربی (EG) که علاوه بر تمرینات معمول والیبال، مداخله HPT را دریافت کرد، یا گروه کنترل (CG) که برنامه تمرینی معمول خود را ادامه داد، اختصاص یافتند. متغیر مستقل، پروتکل تمرینی (HPT همراه با تمرینات معمول در مقابل تمرینات معمول) بود، درحالی‌که متغیرهای وابسته شامل PF، RFD و TPF هنگام پرش‌های اسپک و دفاع روی تور والیبال بودند. پس از غربالگری معیارهای ورود و ارزیابی‌های اولیه، ۴۰ شرکت‌کننده با نسبت مساوی و از طریق روش تخصیص تصادفی مبتنی بر قرعه‌کشی ساده به گروه تجربی (۲۰ نفر) یا گروه کنترل (۲۰ نفر) اختصاص یافتند. هر شرکت‌کننده احتمال یکسانی برای قرار گرفتن در هر یک از دو گروه پژوهش داشت. ارزیابی‌کننده‌ای که آزمون‌های اولیه و پس از مداخله را انجام می‌داد، هنگام آزمون از تخصیص گروهی شرکت‌کنندگان آگاهی نداشت و بدین‌ترتیب احتمال سوگیری در ارزیابی کاهش یافت. پژوهش شامل ۴۰ شرکت‌کننده واجد شرایط بود که ۲۰ نفر در هر گروه قرار گرفتند. پیش از جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل توان آماری پیشینی انجام نشد. حجم نمونه بر اساس تعداد شرکت‌کنندگان واجد شرایط موجود در دوره نمونه‌گیری و معیارهای ورود و خروج از پیش تعیین‌شده انتخاب شد. تمام ۴۰ شرکت‌کننده، مداخله ۸ هفته‌ای و ارزیابی‌های پس‌آزمون را تکمیل کردند و هیچ‌گونه ریزش نمونه یا خروج از پیگیری رخ نداد.

شرکت‌کنندگان

چهل دانشجوی پسر فعال از نظر جسمانی از دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه بغداد در پژوهش شرکت کردند. شرکت‌کنندگان به‌عنوان بازیکنان والیبال در سطح تفریحی طبقه‌بندی شدند؛ زیرا ورزشکار حرفه‌ای یا نخبه نبودند، اگرچه عضو تیم والیبال دانشگاه بودند و در مسابقات رسمی والیبال شرکت می‌کردند. دامنه سنی آن‌ها بین ۱۹ تا ۲۲ سال بود. معیارهای ورود شامل حداقل یک سال سابقه فعالیت منظم در والیبال و نداشتن آسیب اندام تحتانی طی ۶ ماه گذشته بود. شرکت‌کنندگانی که دارای اختلال مزمن اسکلتی-عضلانی بودند یا توانایی اجرای ایمن تکالیف پرش اسپک و دفاع روی تور را نداشتند، از پژوهش کنار گذاشته شدند. تمام شرکت‌کنندگان پیش از ورود به پژوهش، رضایت‌نامه آگاهانه ارائه کردند. پروتکل پژوهش به تأیید کمیته بررسی نهادی (IRB) دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه بغداد رسید (کد تأیید: IRB-PESS-2026-05). نمونه پژوهش شامل بازیکنان پنج پست والیبال بود: پاسور، مدافع میانی، دریافت‌کننده قدرتی، پشت‌خطزن و لیبرو. هر پست به‌طور مساوی در نمونه حضور داشت، به‌طوری‌که در مجموع ۸ بازیکن از هر پست شرکت کردند. پس از تخصیص تصادفی، هر گروه شامل ۴ پاسور، ۴ مدافع میانی، ۴ دریافت‌کننده قدرتی، ۴ پشت‌خطزن و ۴ لیبرو بود. بنابراین، گروه‌های تجربی و کنترل از نظر پست بازی متعادل بودند و هر گروه شامل ۲۰ شرکت‌کننده بود. شرکت‌کنندگان حدود ۲ سال سابقه فعالیت در والیبال داشتند و به‌طور منظم در تمرینات والیبال و مسابقات رسمی در سطح دانشگاه شرکت می‌کردند. آن‌ها همچنین پیش از شروع پژوهش و در طول دوره مطالعه، به‌عنوان بخشی از برنامه معمول آماده‌سازی جسمانی خود، سابقه انجام تمرینات مقاومتی با وزنه را داشتند. تمرینات مقاومتی بخشی از مداخله تجربی

نمود و به عنوان بخشی از فعالیتهای تمرینی معمول شرکت کنندگان ادامه یافت. در طول مداخله ۸ هفته‌ای، هر دو گروه برنامه تمرینی معمول والیبال خود را حفظ کردند. این برنامه شامل ۳ جلسه تمرین در هفته بود که هر جلسه تقریباً ۹۰ دقیقه طول می کشید و بر مهارت‌های فنی و تاکتیکی والیبال تأکید داشت. گروه تجربی علاوه بر این برنامه، تمرینات HPT را نیز انجام داد، درحالی که گروه کنترل همان برنامه معمول والیبال را بدون دریافت مداخله پلائیومتریک اضافی ادامه داد. پس از غربالگری معیارهای ورود و تکمیل مراحل ارزیابی اولیه، شرکت کنندگان با استفاده از روش تصادفی سازی مبتنی بر قرعه کشی ساده، به طور مساوی به گروه تجربی (۲۰ نفر) و گروه کنترل (۲۰ نفر) اختصاص یافتند. ارزیابی کننده مسئول انجام ارزیابی‌های اولیه و پس از مداخله، پیش از هر ارزیابی نسبت به تخصیص گروهی شرکت کنندگان کور باقی ماند. تمام ۴۰ شرکت کننده، مداخله ۸ هفته‌ای و ارزیابی‌های پس از آزمون را تکمیل کردند و هیچ گونه ریزش نمونه یا خروج از پیگیری رخ نداد. شرکت کنندگان به صورت تصادفی به دو گروه تقسیم شدند: گروه تجربی (۲۰ نفر) که تمرینات HPT را انجام داد و گروه کنترل (۲۰ نفر) که تمرینات معمول والیبال خود را ادامه داد. همان طور که در **جدول ۱** نشان داده شده است، بین گروه‌ها از نظر ویژگی‌های پایه تفاوت معنی داری مشاهده نشد ($p > 0.05$).

تجهیزات و ابزارهای اندازه گیری

نیروهای عکس العمل عمودی زمین با استفاده از یک صفحه نیروی کالیبره شده (مدل ۷-OR6، شرکت AMTI، واترتاون، ماساچوست، ایالات متحده آمریکا) ثبت شدند که به طور محکم در کف آزمایشگاه نصب شده و سطح آن هم تراز با کف آزمایشگاه بود. سیگنال‌های آنالوگ صفحه نیرو با فرکانس نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز و با استفاده از سامانه جمع آوری داده ثبت و برای تحلیل آفلاین بعدی ذخیره شدند. پیش از هر جلسه آزمون، صفحه نیرو مطابق دستورالعمل‌های شرکت سازنده کالیبره شد تا دقت و خطی بودن سیگنال‌ها تضمین شود. شرکت کنندگان دو تکلیف پرشی اختصاصی والیبال را انجام دادند: پرش اسپک با دورخیز ۳ گامی و پرش دفاع روی تور از وضعیت ایستاده ثابت با اتکای دوطرفه. برای پرش اسپک، از شرکت کنندگان خواسته شد یک دورخیز استاندارد ۳ گامی انجام دهند، هر دو پا را به طور هم زمان در مرکز صفحه نیرو قرار دهند تا ثبت دقیق نیرو امکان پذیر شود و سپس با تاب دادن شدید هر دو دست به سمت بالا، یک پرش عمودی بیشینه را با شبیه سازی حرکت ضربه حمله اجرا کنند (۱۷). برای پرش دفاع روی تور، شرکت کنندگان در وضعیت آماده ورزشی، با پاهایی به عرض شانه روی صفحه نیرو قرار گرفتند، یک حرکت سریع پایین رفتن و بالا آمدن با دامنه انتخابی خود انجام دادند و سپس با بالا بردن هر دو دست برای شبیه سازی دفاع روی تور، یک پرش عمودی بیشینه اجرا کردند (۱۷).

ترتیب اجرای دو تکلیف پرشی به صورت تصادفی تعیین شد تا اثرات احتمالی ناشی از ترتیب آزمون و خستگی کاهش یابد. شرکت کنندگان ۳ کوشش با حداکثر تلاش انجام دادند. برای محدود کردن خستگی و حفظ حداکثر عملکرد عصبی عضلانی هنگام

جدول ۱. ویژگی‌های پایه گروه‌های تجربی و کنترل (۴۰ نفر)

متغیر	گروه تجربی (۲۰ نفر) میانگین $\pm$	گروه کنترل (۲۰ نفر) میانگین $\pm$	مقدار p
	انحراف معیار	انحراف معیار	
سن (سال)	۲۰/۶ $\pm$ ۱/۱	۲۰/۴ $\pm$ ۱/۳	۰/۶۴*
جرم بدن (کیلوگرم)	۷۸/۷ $\pm$ ۶/۰	۷۸/۱ $\pm$ ۶/۴	۰/۷۲*
قد (سانتی متر)	۱۷۸/۵ $\pm$ ۵/۲	۱۷۷/۹ $\pm$ ۵/۶	۰/۶۸*
سابقه فعالیت در والیبال (سال)	۱/۸ $\pm$ ۰/۶	۱/۷ $\pm$ ۰/۵	۰/۵۹*

نکته: * نشان دهنده تفاوت غیرمعنی دار در سطح معنی داری ۰/۰۵ است.

تلاش‌های انفجاری، فاصله استراحت استاندارد بین کوشش‌ها در نظر گرفته شد (۱۸). اگر شرکت‌کننده هنگام پرش از صفحه نیرو خارج می‌شد یا تکنیک نامناسبی نشان می‌داد، کوشش مربوطه حذف و بلافاصله تکرار می‌شد. میانگین مقادیر ۳ کوشش موفق محاسبه و برای تحلیل آماری بعدی استفاده شد. پیش از جمع‌آوری داده‌ها، تمام شرکت‌کنندگان یک گرم‌کردن پویا و استاندارد ۱۰ دقیقه‌ای شامل دویدن آرام، حرکات کششی پویای اندام تحتانی و پرش‌های آشنایی با آزمون با شدت کمتر از بیشینه را انجام دادند. برای تحلیل ویژگی‌های نیرو-زمان، لحظه شروع نیرو به صورت دستی از منحنی نیرو-زمان عکس‌العمل عمودی زمین و با استفاده از نیروی پایه شرکت‌کننده در وضعیت ایستاده به عنوان مرجع تعیین شد. نیروی پایه از دوره ایستادن آرام ثبت شده پیش از هر تکلیف پرشی به دست آمد. روش یکسانی برای تعیین دستی لحظه شروع نیرو در تمام شرکت‌کنندگان، تکالیف پرشی و نوبت‌های اندازه‌گیری به کار گرفته شد. تحلیلگری که مسئول استخراج متغیرهای نیرو-زمان بود، برای کاهش سوگیری احتمالی اندازه‌گیری، از تخصیص گروهی شرکت‌کنندگان و زمان اندازه‌گیری (پیش‌آزمون یا پس‌آزمون) آگاهی نداشت.

روش اجرا

در طول مداخله ۸ هفته‌ای، گروه تجربی برنامه تمرینی معمول والیبال خود را که شامل ۳ جلسه هفتگی با تمرکز بر توسعه مهارت‌های فنی و تاکتیکی بود، حفظ کرد و علاوه بر آن، برنامه HPT را نیز انجام داد. هر جلسه تمرین معمول والیبال تقریباً ۹۰ دقیقه طول می‌کشید. گروه کنترل بدون دریافت مداخله اضافی HPT، تمرینات معمول والیبال خود را ادامه داد. جلسات پلايومتریک در روزهای غیرمتوالی (دوشنبه، چهارشنبه و جمعه) برنامه‌ریزی شدند تا فرصت کافی برای بازیابی بین جلسات تمرینی فراهم شود. این جلسات زیر نظر متخصصان واجد شرایط تمرینات قدرتی و آماده‌سازی جسمانی برگزار شدند. هر جلسه HPT با ۱۰ دقیقه گرم‌کردن پویا شامل دویدن آرام، کشش‌های پویا و پرش‌های با شدت کمتر از بیشینه آغاز می‌شد، سپس حدود ۳۵ تا ۴۰ دقیقه تمرینات پلايومتریک انجام می‌گرفت و در پایان، ۱۰ دقیقه سردکردن با حرکات کششی ایستا اجرا می‌شد. برنامه HPT در چهار مرحله پیش‌رونده ۲ هفته‌ای طراحی شد که در جدول ۲ ارائه شده است. پیشرفت تمرینات از طریق افزایش الزامات مکانیکی و عصبی-عضلانی حرکات، با تغییر در پیچیدگی تمرین، ارتفاع پرش، میزان بارگذاری یک‌طرفه و الزامات واکنشی حاصل شد. فاصله استراحت بین ست‌ها با توجه به مرحله تمرینی بین ۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه کنترل شد تا بازیابی کافی بین ست‌های انفجاری فراهم شود. استراحت کافی بین ست‌ها برای حفظ کیفیت بالای عملکرد انفجاری در طول جلسات تمرینی در نظر گرفته شد (۱۸). مرحله ۱ (هفته‌های ۱-۲؛ سازگاری) بر سازگاری عصبی-عضلانی، آشنایی با حرکات و تکنیک‌های فرود ایمن تمرکز داشت. تمرینات شامل حرکات پایه دوطرفه مانند پرش اسکوات و پرش با حرکت معکوس (CMJ) بودند که با تأکید بر کنترل مکانیک فرود و حداکثر تلاش عمودی اجرا شدند. پرش‌های جانبی نیز برای ایجاد بارگذاری چندجهته بر اندام تحتانی در برنامه گنجانده شدند. مرحله ۲ (هفته‌های ۳-۴؛ قدرت) بر افزایش الزامات تولید نیروی اندام تحتانی از طریق تمرینات پلايومتریک چالش‌برانگیزتر تمرکز داشت. تمرینات شامل پرش جمع‌کردن زانوها به سمت سینه، پرش قیچی و جهش‌های متناوب روی پاها بودند که با تأکید بر جدا شدن قدرتمند از زمین و فرود کنترل شده اجرا شدند. مرحله ۳ (هفته‌های ۵-۶؛ توان) شامل تمرینات چرخه کشش-کوتاه‌شدن با شدت بیشتر بود. پرش‌های عمقی از جعبه‌ای به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و پرش‌های تک‌پا برای افزایش الزامات انفجاری و واکنشی تمرینات اجرا شدند. در پرش‌های عمقی، شرکت‌کنندگان به جای پریدن از روی جعبه، با گام برداشتن از آن پایین می‌آمدند، به صورت دوپا فرود می‌آمدند و بلافاصله با انتقال سریع از فرود به جدا شدن از زمین، یک پرش عمودی بیشینه انجام می‌دادند. استفاده از تمرینات پرش عمقی با رویکردهای گزارش شده در مطالعات پیشین برای توسعه عملکرد واکنشی و انفجاری اندام تحتانی مطابقت داشت (۱۹). مرحله ۴ (هفته‌های ۷-۷)

جدول ۲. برنامه ۸ هفته‌ای تمرینات پلايومتریک با شدت بالا

هفته‌ها	مرحله	هدف	تمرینات	ست × تکرار	تعداد تماس	شدت	استراحت	تواتر
۱-۲	سازگاری	سازگاری عصبی-عضلانی و بهبود تکنیک حرکت	پرش اسکوات؛ پرش با حرکت معکوس (CMJ)؛ جهش‌های جانبی	۳ × ۸	۷۲	متوسط	۹۰ ثانیه	۳ جلسه در هفته
۳-۴	قدرت	بهبود تولید نیروی اندام تحتانی	پرش جمع کردن زانوها به سمت سینه؛ پرش قیچی؛ جهش‌های متناوب روی پاها	۳ × ۱۰	۹۰	متوسط تا زیاد	۹۰ ثانیه	۳ جلسه در هفته
۵-۶	توان	به حداکثر رساندن توان انفجاری و کارایی چرخه کشش-کوتاه‌شدن	پرش عمقی (جعبه ۳۰ سانتی‌متری)؛ پرش‌های تک‌پا	۴ × ۸	۹۶	زیاد	۱۲۰ ثانیه	۳ جلسه در هفته
۷-۸	اوج آمادگی	افزایش قدرت واکنشی و عملکرد پرش اختصاصی والیبال	پرش فرودی (جعبه ۴۵ سانتی‌متری)؛ پرش واکنشی دفاع روی تور	۴ × ۶	۷۲	بسیار زیاد	۱۲۰ ثانیه	۳ جلسه در هفته

نکته: CMJ، پرش با حرکت معکوس. شدت تمرینات به‌صورت تدریجی و بر اساس الزامات مکانیکی و عصبی-عضلانی تمرینات، از جمله پیچیدگی حرکت، ارتفاع پرش، میزان بارگذاری یک‌طرفه و الزامات واکنشی، افزایش یافت. مقادیر تماس پا با زمین فقط مربوط به بخش HPT هستند و تماس‌های ایجادشده هنگام تمرینات معمول والیبال را شامل نمی‌شوند.

۸؛ اوج آمادگی) بر قدرت واکنشی و الزامات پرشی اختصاصی والیبال تأکید داشت. در این مرحله، پرش‌های فرودی از جعبه‌ای به ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر و پرش‌های واکنشی دفاع روی تور اجرا شدند. پرش‌های واکنشی دفاع روی تور شامل اجرای سریع یک پرش عمودی بیشینه پس از فرود قبلی بودند و بدین‌ترتیب، محرکی اختصاصی و مرتبط با الزامات پرش‌های سریع هنگام دفاع روی تور والیبال فراهم می‌کردند (۲۰). حجم تمرینات HPT در چهار مرحله بین حدود ۲۱۶ تا ۲۸۸ تماس پا با زمین در هفته متغیر بود. این مقادیر فقط مربوط به بخش HPT بودند و تماس‌های پا با زمین در طول تمرینات معمول والیبال شرکت‌کنندگان را شامل نمی‌شدند. روند پیشرفت انتخاب‌شده برای حجم تمرینات پلايومتریک با رویکردهای تمرینی گزارش‌شده در مطالعات پیشین برای توسعه عملکرد انفجاری در ورزشکاران تمرین‌کرده مطابقت داشت (۲۱). تمام ۲۰ شرکت‌کننده گروه تجربی، ۲۴ جلسه HPT تجویز شده را طی مداخله ۸ هفته‌ای تکمیل کردند که نشان‌دهنده میزان پایداری ۱۰۰ درصدی به برنامه تمرینی بود. هیچ رویداد نامطلوب یا آسیب مرتبط با تمرینات در طول مداخله گزارش نشد و هیچ شرکت‌کننده‌ای از پیگیری خارج نشد.

تحلیل داده‌ها

تمام سیگنال‌های vGRF با استفاده از فیلتر پایین‌گذر باتروورث مرتبه چهارم، با فاز صفر و فرکانس قطع ۲۰ هرتز فیلتر شدند (۲۲). از منحنی‌های نیرو-زمان فیلترشده، سه متغیر وابسته اصلی برای هر دو نوع پرش اسپک و دفاع روی تور استخراج شدند PF: که به‌عنوان بیشینه مقدار نیروی عمودی در مرحله پیش‌رانش تعریف شد؛ RFD که به‌صورت شیب متوسط منحنی نیرو-زمان از لحظه شروع نیرو تا رسیدن به نیروی اوج محاسبه شد (نیوتن بر ثانیه)؛ و TPF که نشان‌دهنده زمان سپری‌شده از لحظه شروع نیرو تا دستیابی به PF بود (میلی‌ثانیه). لحظه شروع نیرو به‌عنوان زمانی تعریف شد که نیروی عکس‌العمل عمودی زمین به مدت حداقل ۳۰ میلی‌ثانیه، به‌اندازه ۵ انحراف معیار (SD) از نیروی پایه معادل وزن بدن در وضعیت ایستاده فراتر می‌رفت. این معیار برای اطمینان از آن در نظر گرفته شد که لحظه شروع شناسایی‌شده نشان‌دهنده تغییر واقعی در تولید نیرو باشد، نه نویز سیگنال. آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار (میانگین $\pm$ SD) برای تمام متغیرها محاسبه شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون

شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. برای ارزیابی اثرات مداخله، تحلیل واریانس دوطرفه با طرح آمیخته و اندازه‌گیری‌های مکرر (۲ گروه شامل EG و $2 \times CG$ زمان شامل پیش‌آزمون و پس‌آزمون) برای هر متغیر وابسته انجام شد. در صورت مشاهده اثر متقابل معنی‌دار زمان $\times$ گروه، مقایسه‌های زوجی تعقیبی با اصلاح بونفرونی انجام شدند. اندازه اثر با استفاده از $\eta^2 p$ محاسبه و به‌ترتیب در مقادیر ۰/۰۱، ۰/۰۶ و ۰/۱۴ به‌عنوان کوچک، متوسط و بزرگ تفسیر شد. سطح معنی‌داری آماری برابر با $p < 0/05$ در نظر گرفته شد. تمام تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ (شرکت IBM، ایالات متحده آمریکا) انجام شدند.

یافته‌ها

تأثیر برنامه ۸ هفته‌ای HPT بر متغیرهای vGRF هنگام آزمون‌های پرش اسپیک و دفاع روی تور با استفاده از تحلیل واریانس دوطرفه با طرح آمیخته و اندازه‌گیری‌های مکرر (ANOVA)، با زمان به‌عنوان عامل درون‌آزمودنی و گروه به‌عنوان عامل بین‌آزمودنی، بررسی شد. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثر متقابل زمان $\times$ گروه برای هر سه متغیر در هر دو تکلیف پرشی معنی‌دار بود. در تکلیف پرش اسپیک (جدول ۳)، اثر متقابل زمان $\times$ گروه برای متغیرهای PF، RFD و TPF معنی‌دار بود ($p < 0/001$). مقدار PF پس از مداخله در گروه تجربی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی‌که در گروه کنترل تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($F(1,38) = 31/84$ ، $p = 0/001$ ، $\eta^2 p = 0/456$). مقدار RFD نیز در گروه تجربی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی‌که در گروه کنترل تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($F(1,38) = 27/63$ ، $p = 0/001$ ، $\eta^2 p = 0/421$). مقدار TPF در گروه تجربی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، درحالی‌که در گروه کنترل تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($F(1,38) = 19/57$ ، $p = 0/001$ ، $\eta^2 p = 0/340$). در تکلیف پرش دفاع روی تور (جدول ۴)، اثر متقابل زمان $\times$ گروه برای متغیرهای PF، RFD و TPF نیز معنی‌دار بود ($p < 0/001$). مقدار PF پس از مداخله در گروه تجربی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی‌که در گروه کنترل تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($F(1,38) = 29/91$ ، $p = 0/001$ ، $\eta^2 p = 0/440$). مقدار RFD نیز در گروه تجربی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی‌که در گروه کنترل تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($F(1,38) = 25/18$ ، $p = 0/001$ ، $\eta^2 p = 0/399$). مقدار TPF در گروه تجربی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، درحالی‌که در گروه کنترل تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ($F(1,38) = 18/42$ ، $p = 0/001$ ، $\eta^2 p = 0/327$). شکل ۱ مقادیر پیش‌آزمون و پس‌آزمون متغیرهای PF، RFD و TPF را در تکلیف پرش اسپیک برای گروه‌های تجربی و کنترل نشان می‌دهد. در گروه تجربی، مقادیر PF و RFD در پس‌آزمون بیشتر از پیش‌آزمون و مقدار TPF کمتر بود. مقادیر متناظر در

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس دوطرفه با اندازه‌گیری‌های مکرر برای متغیرهای نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در تکلیف پرش اسپیک

متغیر	گروه	پیش‌آزمون (میانگین $\pm$ انحراف معیار)	پس‌آزمون (میانگین $\pm$ انحراف معیار)	F	مقدار p	$\eta^2 p$
PF (نیوتن)	تجربی	۱۵۵۰ $\pm$ ۱۲۰	۱۷۲۵ $\pm$ ۱۳۵	۳۱/۸۴	۰/۰۰۱*	۰/۴۵۶
	کنترل	۱۵۳۸ $\pm$ ۱۱۸	۱۵۴۲ $\pm$ ۱۲۲			
RFD (نیوتن بر ثانیه)	تجربی	۷۸۰۰ $\pm$ ۶۵۰	۹۲۰۰ $\pm$ ۷۱۰	۲۷/۶۳	۰/۰۰۱*	۰/۴۲۱
	کنترل	۷۷۵۰ $\pm$ ۶۴۰	۷۸۰۵ $\pm$ ۶۶۰			
TPF (میلی ثانیه)	تجربی	۱۸۰ $\pm$ ۱۵	۱۶۵ $\pm$ ۱۲	۱۹/۵۷	۰/۰۰۱*	۰/۳۴۰
	کنترل	۱۸۲ $\pm$ ۱۴	۱۸۱ $\pm$ ۱۳			

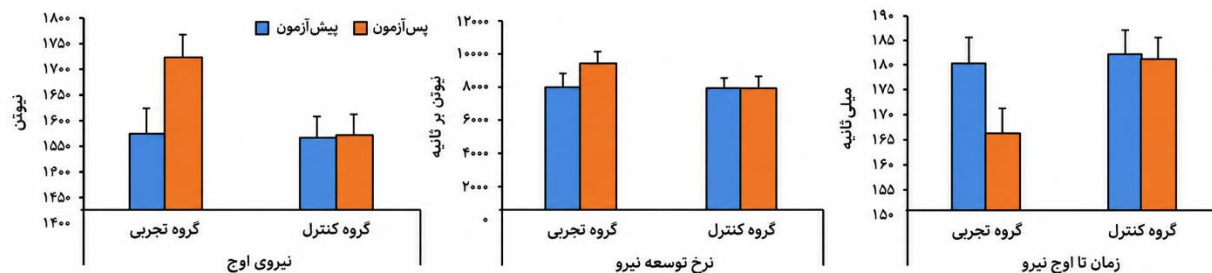
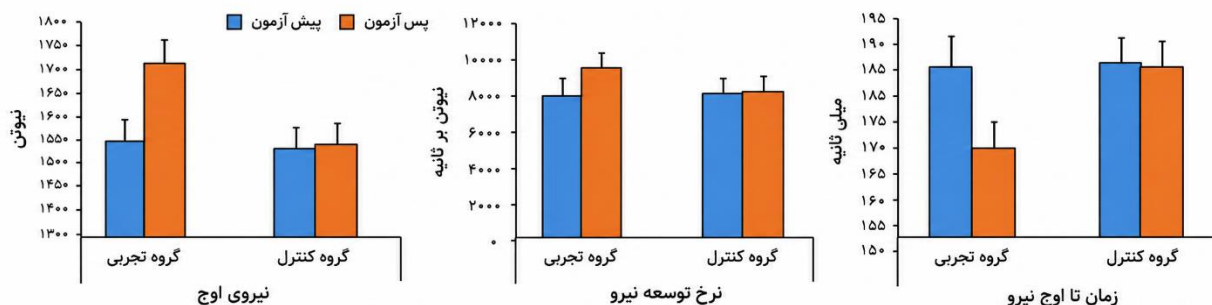
نکته: * نشان‌دهنده معنی‌داری آماری در سطح ۰/۰۵ است. مقادیر F، p و $\eta^2 p$ مربوط به اثر متقابل زمان $\times$ گروه هستند.

جدول ۴. نتایج تحلیل واریانس دوطرفه با اندازه‌گیری‌های مکرر برای متغیرهای نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در تکلیف پرش دفاع روی تور

متغیر	گروه	پیش‌آزمون (میانگین $\pm$ انحراف معیار)	پس‌آزمون (میانگین $\pm$ انحراف معیار)	F	مقدار p	ηp^2
PF (نیوتن)	تجربی	۱۴۸۵ $\pm$ ۱۱۰	۱۶۵۰ $\pm$ ۱۲۵	۲۹/۹۱	۰/۰۰۱*	۰/۴۴۰
	کنترل	۱۴۹۰ $\pm$ ۱۱۲	۱۴۹۳ $\pm$ ۱۱۵			
RFD (نیوتن بر ثانیه)	تجربی	۷۴۰۰ $\pm$ ۶۱۰	۸۸۰۰ $\pm$ ۶۷۰	۲۵/۱۸	۰/۰۰۱*	۰/۳۹۹
	کنترل	۷۴۲۰ $\pm$ ۶۰۰	۷۴۵۰ $\pm$ ۶۲۵			
TPF (میلی ثانیه)	تجربی	۱۸۵ $\pm$ ۱۶	۱۷۰ $\pm$ ۱۳	۱۸/۴۲	۰/۰۰۱*	۰/۳۲۷
	کنترل	۱۸۳ $\pm$ ۱۵	۱۸۲ $\pm$ ۱۴			

نکته: * نشان‌دهنده معنی‌داری آماری در سطح ۰/۰۵ است. مقادیر F ، p و ηp^2 مربوط به اثر متقابل زمان $\times$ گروه هستند.

گروه کنترل نسبتاً ثابت باقی ماندند. **شکل ۲** همین متغیرها را برای تکلیف پرش دفاع روی تور نشان می‌دهد. در گروه تجربی، مقادیر PF و RFD در پس‌آزمون بیشتر از پیش‌آزمون و مقدار TPF کمتر بود. گروه کنترل در دو نوبت اندازه‌گیری مقادیر نسبتاً ثابتی را نشان داد.

**شکل ۱.** مقایسه مقادیر PF، RFD و TPF در پیش‌آزمون و پس‌آزمون هنگام پرش اسپک در گروه تجربی (EG) و گروه کنترل (CG).**شکل ۲.** مقایسه مقادیر PF، RFD و TPF در پیش‌آزمون و پس‌آزمون هنگام پرش دفاع روی تور در گروه تجربی (EG) و گروه کنترل (CG).

بحث

یافته اصلی پژوهش حاضر نشان داد که مداخله ۸ هفته‌ای HPT با تغییرات معنی‌دار در میزان نیرو و ویژگی‌های زمانی نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین هنگام پرش‌های اختصاصی اسپک و دفاع روی تور والیبال همراه بود. مطابق با فرضیه نخست پژوهش، شرکت‌کنندگان گروه EG افزایش معنی‌داری در PF و RFD و هم‌زمان کاهش معنی‌داری در TPF نشان دادند. شرکت‌کنندگان گروه CG که تمرینات معمول والیبال خود را ادامه دادند، تغییرات معنی‌داری از نظر آماری در متغیرهای بررسی‌شده نشان ندادند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که افزودن HPT به تمرینات معمول والیبال احتمالاً در تغییرات مشاهده‌شده در ویژگی‌های نیرو-زمان در نمونه پژوهش حاضر نقش داشته است.

مقدار بیشتر PF ثبت‌شده هنگام هر دو نوع پرش اسپک و دفاع روی تور نشان‌دهنده افزایش احتمالی توانایی تولید نیرو در طول حرکت پرش است. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که تمرینات پلايومتریک ممکن است بر ویژگی‌های عصبی-عضلانی، از جمله فراخوانی واحدهای حرکتی، فعال‌سازی عصبی و سختی مجموعه عضله-تاندون تأثیر بگذارند (۴،۷). با این حال، این سازوکارها در پژوهش حاضر به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشدند و بنابراین باید به‌عنوان توضیحات احتمالی در نظر گرفته شوند، نه سازگاری‌هایی که وقوع آن‌ها مستقیماً اثبات شده است. از دیدگاه مکانیکی، افزایش سختی مجموعه عضله-تاندون با ذخیره‌سازی و بازگشت مؤثرتر انرژی در چرخه کشش-کوتاه‌شدن مرتبط دانسته شده است. اندازه اثرهای بزرگ مشاهده‌شده نشان‌دهنده اثرات متقابل قابل‌توجه زمان × گروه در نمونه پژوهش حاضر هستند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که افزودن HPT ممکن است تغییراتی در ویژگی‌های تولید نیرو ایجاد کند که فراتر از تغییرات مشاهده‌شده در تمرینات معمول والیبال باشد (۶). افزایش تولید نیرو مشاهده‌شده هنگام تکالیف پرشی با الزامات بیومکانیکی حرکات اسپک و دفاع روی تور والیبال نیز ارتباط دارد. اگرچه پژوهش حاضر بر مرحله پیش‌رانش تمرکز داشت، مطالعات پیشین نشان داده‌اند که ویژگی‌های فرود و نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین می‌توانند تحت تأثیر خستگی عصبی-عضلانی در ورزشکاران تمرین‌کرده قرار گیرند (۲۳،۲۴). یافته‌های حاضر بهبود ویژگی‌های تولید نیرو را هنگام تکالیف پرشی اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهند، اما مشخص نمی‌کنند که آیا این سازگاری‌ها می‌توانند مکانیک فرود را بهبود بخشند یا اثرات خستگی را کاهش دهند. مطالعات آینده با بررسی هم‌زمان ویژگی‌های جنبشی مرحله جدا شدن از زمین و فرود می‌توانند ارزیابی جامع‌تری از تأثیر HPT بر چرخه کامل پرش ارائه دهند.

از دیدگاه زمانی، افزایش RFD مشاهده‌شده در گروه تجربی برای والیبال اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا پرش‌های اسپک و دفاع روی تور مستلزم تولید سریع نیرو هستند. RFD بیانگر سرعت توسعه نیرو است و یکی از ویژگی‌های مهم حرکات انفجاری محسوب می‌شود (۲۵،۲۶). از آنجاکه تولید نیرو هنگام پرش در یک بازه زمانی نسبتاً کوتاه رخ می‌دهد، بهبود RFD ممکن است از نظر عملکردی با الزامات تولید سریع نیرو در حرکات والیبال ارتباط داشته باشد. افزایش RFD مشاهده‌شده در پژوهش حاضر همچنین با شواهد پیشین مبنی بر توانایی تمرینات پلايومتریک در بهبود ویژگی‌های تولید نیروی انفجاری و بهره‌گیری از چرخه کشش-کوتاه‌شدن همسو است (۸، ۱۴). کاهش TPF پس از دوره تمرینی، اطلاعات تکمیلی درباره ویژگی‌های زمانی تولید نیرو هنگام پرش‌های انفجاری فراهم می‌کند. این کاهش نشان‌دهنده کوتاه‌تر شدن زمان لازم برای دستیابی به PF در طول حرکت پرش است (۲۷). از دیدگاه مکانیکی، توانایی تولید مقادیر زیاد نیرو در مدت‌زمان کوتاه‌تر ممکن است با توسعه سرعت جدا شدن از زمین (V_0) ارتباط داشته باشد که یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده جابه‌جایی عمودی هنگام پرش است. با این حال، سرعت جدا شدن از زمین و

ارتفاع پرش در پژوهش حاضر به‌طور مستقیم ارزیابی نشدند. بنابراین، یافته‌ها باید به‌عنوان شواهدی از تغییرات ویژگی‌های نیرو-زمان تفسیر شوند، نه شواهد مستقیم از بهبود ارتفاع پرش یا زمان پرواز.

تغییرات ویژگی‌های نیرو-زمان در هر دو نوع پرش اسپک و دفاع روی تور مشاهده شدند، با وجود اینکه این دو حرکت از نظر وضعیت اولیه اجرا با یکدیگر تفاوت دارند. در پرش اسپک، مرحله دورخیز شامل حرکت افقی پیش از جدا شدن از زمین است، درحالی‌که پرش دفاع روی تور از وضعیت ایستاده ثابت با اتکای دوطرفه آغاز می‌شود و بر تولید نیروی عمودی تأکید دارد. تغییرات معنی‌دار PF، RFD و TPF در هر دو تکلیف نشان می‌دهند که مداخله HPT با بهبود ویژگی‌های نیرو-زمان در این دو وضعیت پرشی اختصاصی والیبال همراه بوده است. با این حال، از آنجاکه تحلیل آماری شامل بررسی مستقیم اثر متقابل تکلیف $\times$ زمان $\times$ گروه نبود، نمی‌توان نتیجه گرفت که میزان سازگاری بین پرش‌های اسپک و دفاع روی تور متفاوت بوده است. بنابراین، یافته‌ها باید به‌عنوان شواهدی از بهبود در هر دو تکلیف بررسی شده تفسیر شوند، نه شواهدی از سازگاری‌های اختصاصی متفاوت بین تکالیف. این الگو به‌طور کلی با پژوهش‌های پیشین که نشان داده‌اند تمرینات پلايومتریک می‌توانند سازگاری‌های عصبی-عضلانی گسترده‌تری ایجاد کنند، همسو است (۲۸). یافته‌های حاضر همچنین مکمل مطالعاتی هستند که کاربردهای حاد و مزمن رویکردهای تمرینی پلايومتریک و عصبی-عضلانی را بررسی کرده‌اند. برای مثال، پژوهش‌های پیشین مداخلات حادی مانند گرم کردن مبتنی بر تقویت عملکرد پس از فعال‌سازی (PAP) را برای تأثیرگذاری بر سرعت ضربه اندام فوقانی در ورزش‌های رزمی بررسی کرده‌اند (۲۹). همچنین، رویکردهای تمرینی بلندمدت با هدف بهبود عملکرد فنی و سینماتیکی بازیکنان والیبال مطالعه شده‌اند (۳۰). پژوهش حاضر با بررسی تغییرات ویژگی‌های نیرو-زمان هنگام پرش‌های اختصاصی اسپک و دفاع روی تور والیبال پس از یک مداخله ۸ هفته‌ای HPT، به گسترش این شواهد کمک می‌کند. با این حال، یافته‌ها باید با توجه به ویژگی‌های نمونه و طرح پژوهش حاضر تفسیر شوند و نباید به‌عنوان شواهدی مبنی بر برتری HPT نسبت به سایر رویکردهای تمرینی یا ضروری بودن آن برای ایجاد سازگاری‌های جنبشی بلندمدت در نظر گرفته شوند.

هنگام تفسیر یافته‌های پژوهش حاضر، باید چند محدودیت در نظر گرفته شود. نخست، پژوهش صرفاً بر متغیرهای جنبشی استخراج‌شده از اندازه‌گیری‌های vGRF تمرکز داشت و سایر متغیرهای بیومکانیکی، مانند زوایای مفاصل اندام تحتانی، سرعت‌های زاویه‌ای یا گشتاورهای مفصلی را بررسی نکرد. بنابراین، تعیین سازوکارهای بیومکانیکی اختصاصی زیربنای تغییرات مشاهده‌شده امکان‌پذیر نیست. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده تحلیل صفحه نیرو را با ثبت سه‌بعدی حرکت ترکیب کنند تا ارزیابی جامع‌تری از تأثیر HPT بر بیومکانیک مفاصل هنگام پرش‌های اسپک و دفاع روی تور فراهم شود. دوم، در این پژوهش قدرت بیشینه یا سازوکارهای عصبی-عضلانی مانند فعالیت عضلانی به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشدند. در نتیجه، بر اساس داده‌های موجود نمی‌توان درباره اهمیت نسبی RFD در مقایسه با قدرت بیشینه یا تغییرات هماهنگی عصبی-عضلانی نتیجه‌گیری کرد. پژوهش‌های آینده با استفاده از آزمون‌های قدرت بیشینه، الکترومیوگرافی و سایر ارزیابی‌های عصبی-عضلانی می‌توانند به روشن شدن سازوکارهای مرتبط با تغییرات ویژگی‌های نیرو-زمان کمک کنند. سوم، اگرچه پژوهش شامل گروه تجربی و گروه کنترل بود، HPT با یک برنامه تمرینی ساختاریافته جایگزین مقایسه نشد. بنابراین، یافته‌ها نشان نمی‌دهند که HPT نسبت به سایر روش‌های تمرینی برتری دارد یا تمرینات معمول والیبال برای ایجاد سازگاری‌های مشابه ناکافی هستند. انجام مطالعات مقایسه‌ای با روش‌های تمرینی مختلف می‌تواند برای تعیین اثرات نسبی HPT مفید باشد. چهارم، یافته‌های پژوهش عمدتاً به بازیکنان مرد والیبال در سطح تفریحی که در این مطالعه شرکت کردند، مربوط هستند و لزوماً نمی‌توان آن‌ها را به ورزشکاران حرفه‌ای، بازیکنان زن یا سایر جمعیت‌ها تعمیم داد.

داد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده از نمونه‌های بزرگ‌تر و ناهمگن‌تر، شامل بازیکنان زن و حرفه‌ای والیبالی، استفاده کنند تا مشخص شود آیا سازگاری‌های مشابه نیرو-زمان در جمعیت‌های مختلف ورزشکاران نیز مشاهده می‌شوند یا خیر. در نهایت، تحلیل حاضر بر مقادیر مطلق متغیرهای جنبشی مبتنی بود. نرمال‌سازی این متغیرها نسبت به جرم بدن می‌تواند مقایسه بین ورزشکاران با ویژگی‌های آنترپومتریکی متفاوت را تسهیل کند. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده هر دو نوع شاخص‌های مطلق و نرمال‌شده نسبت به جرم بدن را گزارش کنند.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، مربیان قدرتی و آماده‌سازی جسمانی که با بازیکنان والیبالی کار می‌کنند، می‌توانند برنامه‌های HPT را با هدف بهبود ویژگی‌های تولید سریع نیرو در برنامه‌های تمرینی خود بگنجانند. تمریناتی مانند پرش‌های فرودی و جهش‌های متوالی را می‌توان به‌صورت تدریجی و متناسب با وضعیت تمرینی ورزشکاران و اهداف اختصاصی برنامه معرفی کرد. با این حال، از آنجاکه پژوهش حاضر HPT را با سایر روش‌های تمرینی مقایسه نکرد و قدرت بیشینه را نیز به‌طور مستقیم ارزیابی نکرد، نباید RFD را جایگزینی برای توسعه قدرت بیشینه در نظر گرفت. توانایی تولید سریع نیرو می‌تواند هم‌زمان با سایر قابلیت‌های جسمانی مرتبط توسعه یابد. همچنین، متخصصان می‌توانند در صورت دسترسی، از اندازه‌گیری‌های صفحه نیرو برای تکمیل ارزیابی‌های متداول عملکرد، مانند ارتفاع پرش، استفاده کنند. متغیرهای نیرو-زمان، شامل PF، RFD و TPF، می‌توانند اطلاعات تکمیلی درباره ویژگی‌های تولید نیرو هنگام پرش فراهم کنند و به مربیان در پایش تغییرات عملکرد انفجاری کمک کنند. این شاخص‌ها باید در کنار سایر شاخص‌های عملکردی و تمرینی تفسیر شوند و نباید به‌عنوان تنها معیارهای ارزیابی عملکرد ورزشی مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری نهایی

برنامه ۸ هفته‌ای HPT با تغییرات معنی‌دار در ویژگی‌های جنبشی و زمانی نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین هنگام پرش‌های اختصاصی اسپک و دفاع روی تور والیبالی در نمونه پژوهش حاضر همراه بود. در گروه تجربی، مقادیر PF و RFD افزایش و مقدار TPF کاهش یافت و اثر متقابل زمان $\times$ گروه برای تمام متغیرهای بررسی‌شده معنی‌دار بود. این یافته‌ها نشان‌دهنده بهبود ویژگی‌های نیرو-زمان هنگام تکالیف پرشی مورد بررسی پس از مداخله HPT هستند. با این حال، در پژوهش حاضر قدرت بیشینه، سازوکارهای عصبی-عضلانی یا برنامه‌های تمرینی جایگزین به‌طور مستقیم ارزیابی نشدند. بنابراین، یافته‌ها نشان نمی‌دهند که HPT نسبت به سایر رویکردهای تمرینی برتری دارد یا تمرینات معمول والیبالی برای ایجاد سازگاری‌های مشابه ناکافی هستند. نتایج پژوهش شواهد بیومکانیکی را در حمایت از در نظر گرفتن HPT به‌عنوان یکی از اجزای برنامه‌های تمرینی والیبالی با هدف توسعه ویژگی‌های تولید نیروی انفجاری فراهم می‌کنند.

سپاسگزاری

نویسندگان از تمامی افرادی که در انجام موفقیت‌آمیز این پژوهش مشارکت داشتند، صمیمانه قدردانی می‌کنند. همچنین، از تمامی شرکت‌کنندگان به دلیل مشارکت ارزشمندشان در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود. نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از کارکنان دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه بغداد به دلیل همکاری و حمایت آنان در طول اجرای پژوهش ابراز می‌دارند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش به تأیید کمیته بررسی نهادی (IRB) دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه بغداد رسید (کد تأیید: IRB-PSS-2026-05). پیش از مشارکت در پژوهش، رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از تمامی شرکت‌کنندگان دریافت شد. تمام مراحل پژوهش مطابق با اصول بیانیه هلسینکی انجام شدند و اقدامات لازم برای حفظ محرمانگی اطلاعات و ناشناس ماندن هویت شرکت‌کنندگان در نظر گرفته شد.

حامی مالی

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

مشارکت نویسندگان

منیر فاضل علی حسن: ایده‌پردازی و طراحی پژوهش، جمع‌آوری داده‌ها، انجام تحلیل‌های آماری و تهیه پیش‌نویس اولیه مقاله. عمر ولید عبدالکریم: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر جمع‌آوری داده‌ها، بررسی متن مقاله و مشارکت در بازنگری آن. لینه صفاء علی: گردآوری منابع، تنظیم قالب مقاله مطابق با دستورالعمل‌های مجله و همکاری در ویرایش متن مقاله. تمام نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کرده‌اند.

تعارض

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

References

1. Hassan MFA, Abdulkareem OW. The effect of mental training on psychological hardiness and selected personality traits among adolescent male volleyball players. *International Journal of Exercise Science*. 2025;18(4):1186-1198. [DOI:10.70252/MQUH7716]
2. Ramachandran AK, Pedley JS, Moeskops S, Oliver JL, Myer GD, Hsiao HI, et al. Influence of neuromuscular training interventions on jump-landing biomechanics and implications for ACL injuries in youth females: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2025;55(5):1265-1292. [DOI:10.1007/s40279-025-02190-w]
3. Ramirez-Campillo R, Sortwell A, Moran J, Afonso J, Clemente FM, Lloyd RS, et al. Plyometric-jump training effects on physical fitness and sport-specific performance according to maturity: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine - Open*. 2023;9(1):23. [DOI:10.1186/s40798-023-00568-6]
4. Ramirez-Campillo R, García-de-Alcaraz A, Chaabene H, Moran J, Negra Y, Granacher U. Effects of plyometric jump training on physical fitness in amateur and professional volleyball: a meta-analysis. *Frontiers in Physiology*. 2021;12:636140. [DOI:10.3389/fphys.2021.636140]
5. Özdemir M, Kayantaş İ. Effect of plyometric training on vertical jump performance (a meta-analysis study). *International Journal of Applied Exercise Physiology*. 2020;9(7):90-100.
6. Weldon A, Duncan MJ, Turner A, Lockie RG, Loturco I. Practices of strength and conditioning coaches in professional sports: a systematic review. *Biology of Sport*. 2022;39(3):715-726. [DOI:10.5114/biolSport.2022.107480]

7. Silva AF, Clemente FM, Lima R, Nikolaidis PT, Rosemann T, Knechtle B. The effect of plyometric training in volleyball players: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16(16):2960. [DOI:10.3390/ijerph16162960]
8. Radnor JM, Oliver JL, Waugh CM, Myer GD, Moore IS, Lloyd RS. The influence of growth and maturation on stretch-shortening cycle function in youth. *Sports Medicine*. 2018;48(1):57-71. [DOI:10.1007/s40279-017-0785-0]
9. Gabbett TJ. The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(5):273-280. [DOI:10.1136/bjsports-2015-095788]
10. James LP, Talpey SW, Stutter LR, Häkkinen K, Huynh M. The sensitivity of isometric versus ballistic measures of rapid force production following ballistic speed-strength training: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2025;20(12):1625-1635. [DOI:10.1123/ijsp.2025-0297]
11. Negra Y, Chaabene H, Sammoud S, Bouguezzi R, Mkaouer B, Hachana Y, et al. Effects of plyometric training on components of physical fitness in prepuberal male soccer athletes: the role of surface instability. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;31(12):3295-3304. [DOI:10.1519/JSC.0000000000002262]
12. Sun J, Sun J, Shaharudin S, Zhang Q. Effects of plyometrics training on lower limb strength, power, agility, and body composition in athletically trained adults: systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*. 2025;15(1):34146. [DOI:10.1038/s41598-025-10652-4]
13. Souaifi M, Dhahbi W, Jebabli N, Ceylan Hİ, Boujabli M, Muntean RI, et al. Artificial intelligence in sports biomechanics: a scoping review on wearable technology, motion analysis, and injury prevention. *Bioengineering*. 2025;12(8):887. [DOI:10.3390/bioengineering12080887]
14. Martín-Miguel I, Moreno-Martín A, Torrontegi-Ronco E, Montalvo-Zenarruzabeitia Z, de Rozas-Galán A. Principal component analysis of countermovement jump force-time variables for sex- and sport-specific profiling in elite athletes. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2026;0(0). [DOI:10.1177/17479541261459967]
15. Barrio ED, Thapa RK, Villanueva-Flores F, Garcia-Atutxa I, Santibañez-Gutierrez A, Fernández-Landa J, et al. Plyometric jump training exercise optimization for maximizing human performance: a systematic scoping review and identification of gaps in the existing literature. *Sports*. 2023;11(8):150. [DOI:10.3390/sports11080150]
16. Kons RL, Orssatto LBR, Ache-Dias J, De Pauw K, Meeusen R, Trajano GS, et al. Effects of plyometric training on physical performance: an umbrella review. *Sports Medicine - Open*. 2023;9(1):4. [DOI:10.1186/s40798-022-00550-8]
17. Makino M, Nakahara T, Nagakubo K, Ando Y, Tauchi K. Relationship between volleyball spike jump height and lower limb kinetics is stronger for orientation leg than rear leg. *Sports Biomechanics*. 2025;24(8):2406-2416. [DOI:10.1080/14763141.2025.2458491]
18. Haff GG, Nimphius S. Training principles for power. *Strength & Conditioning Journal*. 2012;34(6):2-12. [DOI:10.1519/SSC.0b013e31826db467]
19. Lin Y, Lu Z, Cen X, Thirupathi A, Sun D, Gu Y. The influence of different rope jumping methods on adolescents' lower limb biomechanics during the ground-contact phase. *Children*. 2022;9(5):721. [DOI:10.3390/children9050721]
20. Bobbert MF. Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Medicine*. 1990;9(1):7-22. [DOI:10.2165/00007256-199009010-00002]

21. Radcliffe J. High-Powered Plyometrics. Champaign, IL: Human Kinetics; 2024.
22. Winter DA. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2009. [DOI:10.1002/9780470549148]
23. Mohammad Zaheri R, Majlesi M, Fatahi A. Assessing the effects of fatigue on ground reaction force variations during landing after a spike in professional volleyball players. Journal of Sport Biomechanics. 2024;10(1):54-68. [DOI:10.61186/JSportBiomech.10.1.54]
24. Abdulkareem OW, Sattar Jabbar H. Comparative biomechanical analysis of three-point shooting between elite Iraqi basketball players and international counterparts. Journal of Sport Biomechanics. 2025;11(3):326-342. [DOI:10.61882/JSportBiomech.11.3.326]
25. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. Sports Medicine. 2016;46(10):1419-1449. [DOI:10.1007/s40279-016-0486-0]
26. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power. Sports Medicine. 2011;41(2):125-146. [DOI:10.2165/11538500-000000000-00000]
27. Mohammed HM, Majed OM, Abdulkareem OW, Abdulhussein AA, Shehab GM, Kadhim MJ. Effects of an augmented motor reality-based training program on spatial awareness and skill-based decision making in youth basketball players. AIP Conference Proceedings. 2026:020019. [DOI:10.1063/1.510046265]
28. Atıcı M, Bayrakdar A. Effects of plyometric and agility-based training on physical performance in adolescent male volleyball players: a controlled experimental study. Pedagogy of Physical Culture and Sports. 2025;29(4):297-307. [DOI:10.15561/26649837.2025.0407]
29. Najafpour S, Fadaei H, Adigozali H, Rad AG. Effect of a post-activation potentiation-based plyometric warm-up on hand and pelvis linear velocity during the Gyaku-Zuki punch: a quasi-experimental study. Journal of Sport Biomechanics. 2026;12(3):372-382. [DOI:10.66224/JSportBiomech.12.3.372]
30. Hassan MFA, Abdulkareem OW. Effects of an integrated balance and muscle tension control training program on kinematic variables and defensive accuracy in volleyball players. Journal of Sport Biomechanics. 2026;11(4):438-464. [DOI:10.61882/JSportBiomech.11.4.438]