Journal of
Sport Biomechanics

Winter 2026. Vol 11. Issue 4

Research Paper

# Effects of an Integrated Balance and Muscle Tension Control Training Program on Kinematic Variables and Defensive Accuracy in Volleyball Players

***Moneer Fadel Ali Hassan[1], Omar Waleed Abdulkareem[1]**

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

Use your device to scan and read the article online

**Citation:** 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. https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.4.438

https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.4.438

**Article Info:**

**Received:** 14 August 2025

**Accepted:** 4 October 2025

**Available Online:** 6 October 2025

**Keywords:**

Muscle Balance, Muscle Tension Control, Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF), Volleyball

## ABSTRACT

**Objective** This study aims to investigate the impact of integrated training on kinematics variables and defensive accuracy in volleyball, focusing on enhancing balance and muscle tension control through proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) exercises.

**Methods** The sample consisted of 14 male volleyball athletes from the first volleyball league of Al-Jaish Sports Club were divided into experimental (n=7) and control group (n=7). In the pre- and post-intervention periods, dynamic balance, muscle tension control and kinematic variables (during a lateral reaching task) as well as defensive performance accuracy upon fatigue onset of recoil laser strikes were assessed. Exposure the intervention program was carried out for six weeks, and the following measuring tools were used to assess performance, Y-Balance Test as well as sEMG and kinematic variables using Kinovea.

**Results** Compared with the control- group, individuals in the experimental- group demonstrated significantly improved performance at balance (Y-Balance Test, Cohen's d = 1.42), muscle activity and tension control (sEMG, Cohen's d = 1.38) and defensive ability accuracy (Cohen's d = 1.60). Kinematic variables revealed moderate to large enhancements in knee, hip, shoulder, elbow ankle and trunk angles where effect size ranged from 1.03 to 1.49 (Cohen's d). Control group, as expected, showed mild changes in all studied variables.

**Conclusion** The combined training program enhanced volleyball players' biomechanical efficiency and defensive performance, highlighting its potential to boost performance, reduce injury risk, and improve coaching effectiveness.

*** *Corresponding Author:***
**Moneer Fadel Ali Hassan**
**Address:** Physical Education and Sports Sciences College, Baghdad University, Baghdad, Iraq.
**E-mail:** Moneer.Fadel1104A@cope.uobaghdad.edu.iq

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

## 1. Introduction

Volleyball is an intermittent, high-intensity sport that involves a unique mix of strength, agility, coordination and precise neuromuscular control. In addition, the capacity to remain centered and regulate muscle tension are crucial attributes of defensive performance which depend largely on the ability of a player to perform movements with respect to maintaining good body balance over unstable conditions such as blocking, receiving or high-speed cross step (1). These qualities are also influential in sporting accomplishment and have a major contribution to the prevention of injury (2). Balance is closely related to several physical components of athletic stability, including faster reaction times, optimal movement efficiency, and better injury prevention (3,4). Equally important is the ability to modulate muscle tension, balancing forceful contractions with necessary relaxation during execution. This helps maintain maximal technique while minimizing exhaustion from explosive exertions (5). Previous studies proved that PNF and balance exercises create an improvement of neuromuscular coordination and joint stability (3,6).

In addition to balance, the regulation of muscle tension is a fundamental component of athletic performance, particularly in sports requiring rapid and repeated defensive actions such as volleyball. Muscle tension control refers to the athlete's ability to modulate contraction and relaxation levels in specific muscle groups according to task demands (7). Effective tension regulation enhances motor coordination, supports energy efficiency, and prevents unnecessary co-contractions that may limit movement speed or increase fatigue (8). Moreover, inadequate muscle tension control has been associated with an increased risk of overuse injuries and reduced technical accuracy in high-intensity sports (9). Several approaches have been proposed to improve muscle tension regulation, including proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF), relaxation techniques, and combined strength–flexibility programs. These interventions have demonstrated positive effects on neuromuscular efficiency, movement fluidity, and the coordination between agonist and antagonist muscles during complex, sport-specific actions (10–12). Despite this evidence, most research has investigated these methods in isolation, and little is known about their combined effect with balance training on defensive performance in volleyball.

While the benefits of balance training and muscle tension control have been explored independently, there is a notable gap in research examining their combined impact within an integrated training framework, particularly in the context of volleyball. Existing studies tend to isolate these variables—either focusing on proprioceptive training to improve lower-limb control and defensive performance (13,14), or exploring the effects of Muscle tension programs on flexibility and neuromuscular efficiency (15). However, these segmented approaches fail to account for the potential synergistic effects that may arise when both balance and Muscle tension are trained simultaneously. Furthermore, few studies have examined how such integration influences kinematic variables—including the knee, hip, shoulder, elbow, ankle, and trunk—and their relationship to defensive skill accuracy (16). Despite the recognized importance of balance training and muscle tension control in improving athletic performance, current research in volleyball has predominantly examined these components in isolation. Balance-focused programs have been shown to enhance proprioception, stability, and joint control, while interventions targeting muscle tension regulation contribute to improved neuromuscular efficiency and reduced fatigue. However, little evidence exists regarding their combined effect as part of an integrated training program. Furthermore, few studies have systematically investigated how such integration may influence sport-specific kinematic variables—such as hip, knee, ankle, shoulder, and trunk movements—and their direct relationship to defensive accuracy in volleyball. This lack of integrated evidence creates a gap in the literature, highlighting the need for a structured program that unifies these two training dimensions and evaluates their synergistic impact on both biomechanical efficiency and defensive performance outcomes. The novelty of this research lies in its dual-focus approach, combining proprioceptive balance exercises with targeted muscle tension control techniques. This integrated method directly measures their effects on sport-specific defensive performance. By providing empirical evidence of the biomechanical and performance benefits of this integrated approach, the study offers a new, evidence-based model for conditioning programs in volleyball that could also be adapted to other dynamic, high-intensity sports.

## 2. Methods

### *2.1. Research Design*

The experimental group performed a combined training program, while the control group maintained its physical activity routine (two parallel groups). To determine the effects of the intervention, pre- and post-tests were conducted based on measures of dynamic balance, lower-limb muscle activation (as indicated by sEMG), kinematics variables, and defensive skill accuracy. The age, height, weight and training experience of the participants were recorded as baseline measurements before intervention to provide group equivalence.

*2.2. Participants*

The sample consisted of fourteen male first-division volleyball players from Al-Jaish Sports Club, purposively selected to ensure homogeneity in competitive level and training background. All participants signed informed consent forms after receiving a full explanation of the study's aims, procedures, and potential risks and benefits. A priori sample size estimation was conducted using G*Power software based on an expected medium effect size (f = 0.25), an alpha level of 0.05, and a desired power of 0.80 for repeated-measures ANOVA with two groups and two measurement points. The analysis indicated that a minimum of 24 participants would be required to achieve adequate statistical power. However, due to the fact that the club roster included only 14 players, the sample size could not be expanded. This limitation may restrict the generalizability of the results to other teams or competitive levels. Nevertheless, the use of reliable and validated measurement tools ensured robust findings within the specific context of the available sample. An integrated training program was utilized by the experimental group (n = 7) while control group participants (n = 7) continued with standard training. As showed in Table 1, there were no significant between-group differences when comparing age, height, weight and training experience at the baseline measurement level reflecting their equivalence before the intervention period.

*2.3. Equipment and Measurement Tools*

Dynamic balance was assessed using the Lower-Quarter Y-Balance Test (YBT), performed with standardized stance and three reach directions: anterior, posteromedial, and posterolateral. Reach distances were normalized to limb length using the formula (reach distance / leg length × 100). Following a familiarization session, For the Lower-Quarter Y-Balance Test (YBT), each participant performed three successful trials per limb and per reach direction. Invalid attempts, such as lifting the stance foot or using hand support, were repeated. The YBT has demonstrated high reliability (ICC ≈ 0.85–0.93) and strong validity for use in athletic populations. In this study, the scores for the dominant and non-dominant limbs were calculated and presented separately in the table to provide detailed insights into limb-specific balance performance and improvements following the integrated training program. The composite score for each limb was computed by averaging the three reach directions (17).

Lower-limb muscle activation was assessed using wireless surface electromyography (sEMG), targeting specific muscles within the quadriceps, hamstrings, and gastrocnemius groups: Rectus Femoris (RF), Biceps Femoris (BF), and Medial Gastrocnemius (MG), respectively. These muscles were selected due to their key role in postural stability, lateral defensive movements, and jump-landing tasks in volleyball. sEMG signals were normalized to each participant's maximum voluntary isometric contraction (MVIC), measured according to SENIAM guidelines, to allow meaningful comparisons between participants and to express muscle activity relative to maximal capacity (%MVIC). Muscle activity was recorded continuously throughout the entire defensive task, and Root Mean Square (RMS) values were calculated both over the full task duration and at peak contraction points. This approach provides a comprehensive assessment of muscle tension control, reflecting the athletes' ability to dynamically modulate muscle activation during functional sport-specific movements (18). The evaluations were done on the dominant and non-dominant limbs. These muscles were chosen as they play an important role in balance control, and protective movements such as jumping, landing and lateral movements in volleyball (19).

Table 1. Baseline Characteristics and Equivalence Between Experimental and Control Groups

| Variable | Experimental Group (n=7) | Control Group (n=7) | p-value |
|---|---|---|---|
| Age (years) | 23.8 ± 2.5 | 24.1 ± 2.3 | 0.80* |
| Height (cm) | 180.5 ± 4.0 | 179.8 ± 4.3 | 0.72* |
| Weight (kg) | 74.2 ± 3.8 | 73.9 ± 4.1 | 0.85* |
| Experience (years) | 4.3 ± 1.2 | 4.4 ± 1.1 | 0.90* |

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

We selected the dominant side since aspects of muscle strength differ between sides (within individuals), and we aimed to examine primary muscle activation during athletic actions on one side, while including the non-dominant side in order to detect differences in muscle activation. Specifically, for the dynamic movement phase data were collected on surface electromyographic (EMG) measures obtained during defensive tasks involving jumps to block and lateral defensive maneuvers. These tasks were specifically chosen due to the high degree of muscle activation required and tailoring data collection during these movements allows for detailed examination of muscle behavior under stress in game-related situations. Skin preparation involved shaving, light abrasion, and cleaning with alcohol. Electrodes were placed in accordance with SENIAM guidelines (20), with an inter-electrode distance of approximately 20 mm and alignment parallel to muscle fibers. Data were sampled at ≥1000 Hz, band-pass filtered between 20–450 Hz, with a 50 Hz notch filter to remove mains interference, then rectified and smoothed using a root mean square (RMS) window of 50 ms.

Kinematic variables, including knee, hip, shoulder, elbow, ankle, and trunk angles, were captured using high-speed video cameras (120 fps) positioned on tripods 5–8 meters away and perpendicular to the plane of motion. A total of ten reflective markers were placed on key anatomical landmarks: anterior and posterior superior iliac spines (ASIS and PSIS) for pelvis tracking, greater trochanter for hip motion, lateral epicondyle of the knee for knee movement, lateral malleolus for ankle movement, acromion process for shoulder kinematics, lateral epicondyle of the elbow for elbow motion, and the C7 vertebra for trunk monitoring.

In this study, joint angles were specifically analyzed during the take-off, flight, and landing phases of defensive skill tasks, as well as during lateral movements associated with blocking and ball redirection. Each participant performed three successful trials per task, and the angles were measured for each trial. The mean values of these trials were used for statistical analysis to ensure reliability and reduce the influence of outliers. This approach allowed for a detailed assessment of the kinematic adaptations resulting from the integrated training program. Anatomical landmarks were used to establish reference frames for the definition of joint angles to ensure accurate measurement. Joint angles were defined relative to the physiological alignment of body segments—for example, the knee angle was calculated between the thigh and shank, and the elbow angle between the upper arm and forearm. A calibration frame with metered markers provided a pixel-to-metric scale for precise measurements. For each joint, the specific anatomical plane was clearly accounted for: knee flexion/extension was measured in the sagittal plane, hip abduction/adduction in the frontal plane, shoulder flexion/extension in the sagittal plane, shoulder abduction/adduction in the frontal plane, elbow flexion/extension in the sagittal plane, ankle dorsiflexion/plantarflexion in the sagittal plane, and trunk lateral flexion/rotation in the frontal and transverse planes, respectively.

This method ensures that joint angles were accurately and reliably assessed for all subjects and that the motion of each joint was analyzed according to its primary physiological plane of movement.

A calibration frame with metered markers was used to establish the pixel-to-metric scale. To reduce parallax, camera optical axes were aligned with the movement plane, and lighting conditions were kept constant. Motion analysis was performed using Kinovea software (versions 0.8x/0.9x), which has demonstrated high inter- and intra-rater reliability and good agreement with three-dimensional motion capture systems. Kinematic data were filtered using a low-pass Butterworth filter with a cutoff frequency of 6 Hz to reduce high-frequency noise from marker tracking and small tremors. The filtering process ensures smoother joint angle curves and more accurate representation of actual biomechanical movements. Joint angles were calculated after filtering to minimize the effect of measurement artifacts and to allow precise assessment of changes in knee, hip, shoulder, elbow, ankle, and trunk angles during defensive tasks (21–24).

*2.4. Procedure*

Before the formal testing, all participants attended a structured familiarization session to ensure full understanding of testing protocols and to minimize learning effects. The session included a detailed demonstration of the Lower-Quarter Y-Balance Test (YBT) and the defensive skill tasks, followed by supervised practice. During this phase, correct body positioning, movement execution, and task-specific rules were explained, and participants received feedback to correct deviations from standardized procedures. Each training/testing session lasted approximately 2 hours per participant. The experimental

group performed a six-week integrated training program combining balance exercises on unstable surfaces, proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretching, and muscle tension control drills.
The integrated training program incorporated proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) techniques to enhance muscle tension control, focusing on optimizing the balance between muscle contraction and relaxation. The PNF protocol utilized contract-relax sequences to improve neuromuscular coordination and reduce excessive co-contractions during volleyball-specific defensive movements, such as lateral shuffles, blocking, and jump landings. The protocol was designed to target the quadriceps (Rectus Femoris), hamstrings (Biceps Femoris), and gastrocnemius (Medial Gastrocnemius) due to their critical roles in maintaining postural stability and executing explosive movements in volleyball.

*2.5. PNF Contract-Relax Protocol Details*

Frequency: 3 sessions per week, integrated into the experimental group's regular training schedule. Duration: Each PNF session lasted approximately 20 minutes, performed after a 5-minute dynamic warm-up (e.g., leg swings, lunges) to prepare the muscles. Exercises: The protocol included contract-relax sequences for the target muscle groups: Quadriceps (Rectus Femoris): Participants performed a seated knee extension against resistance provided by partner or elastic band, holding a maximal isometric contraction for 6 seconds, followed by a 10-second passive stretch facilitated by the partner. Hamstrings (Biceps Femoris): In a prone position, participants contracted the hamstrings against resistance during knee flexion for 6 seconds, followed by a 10-second passive stretch to extend the knee. Gastrocnemius (Medial Gastrocnemius): In a standing position, participants performed a calf raise against resistance, holding for 6 seconds, followed by a 10-second dorsiflexion stretch. Sets and Repetitions: 3 sets of 5 contract-relax cycles per muscle group per session. Rest Intervals: 30 seconds between cycles and 60 seconds between muscle groups to minimize fatigue. Progression: Resistance was progressively increased based on the Rate of Perceived Exertion (RPE) scale, targeting 6–8 out of 10, adjusted weekly by the coaching staff. Breathing Integration: Diaphragmatic breathing was incorporated during the relaxation phase of each PNF cycle. Participants were instructed to inhale deeply through the nose for 4 seconds and exhale through the mouth for 6 seconds to enhance muscle relaxation and neuromuscular control.
The PNF exercises were performed on stable surfaces to ensure safety and focus on muscle tension modulation, with the coaching staff providing verbal cues to maintain proper form and breathing rhythm. This protocol was designed based on established research demonstrating the efficacy of PNF in improving neuromuscular efficiency and reducing unnecessary muscle tension during dynamic tasks. outlines the weekly structure of the integrated training program, combining PNF, balance exercises, and sport-specific drills over the 6-week intervention period as show in table 2.
In the integrated training program, muscle tension control was systematically developed through targeted drills designed to enhance athletes' capacity to alternate between contraction and relaxation during sport-specific actions.

Table 2. Weekly Schedule of the Integrated Training Program

| Day | Session Focus | Exercises and Duration |
|---|---|---|
| Monday | PNF + Balance Training | - PNF contract-relax (20 min): Quadriceps, Hamstrings, Gastrocnemius (3 sets x 5 cycles)<br>- Balance drills on unstable surfaces (e.g., BOSU ball, wobble board) for lateral shuffles and single-leg stance (20 min) |
| Wednesday | PNF + Defensive Drills | - PNF contract-relax (20 min): Same as Monday<br>- Volleyball-specific defensive drills (e.g., lateral movements, blocking simulations) (30 min) |
| Friday | PNF + Combined Balance/Defensive | - PNF contract-relax (20 min): Same as Monday<br>- Combined balance and defensive drills (e.g., lateral shuffles on unstable surfaces, jump-landing tasks) (30 min) |
| Other Days | Standard Volleyball Training | - Regular volleyball skill and conditioning drills (no specific PNF or balance focus) (60–90 min) |

*Note*. Each session began with a 5-minute dynamic warm-up and ended with a 5-minute cool-down (static stretching and diaphragmatic breathing). The control group followed the standard volleyball training routine without PNF or balance interventions.

This aspect is crucial because excessive or poorly regulated muscle tension often leads to reduced technical accuracy and inefficient force production, particularly in high-intensity sports. To address this, dynamic stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) techniques were incorporated as preparatory and developmental strategies. Research has consistently shown that dynamic stretching and PNF improve neuromuscular coordination, increase range of motion, and reduce unnecessary co-contractions, thereby supporting greater efficiency in complex motor tasks (25). Specifically, contract–relax sequences within PNF stretching were employed to optimize the balance between agonist and antagonist muscle groups. This training approach enhances the ability of athletes to generate force in one muscle group while ensuring the opposing group does not excessively resist, ultimately improving movement fluidity and reducing energy leakage during explosive or repetitive actions. These outcomes are particularly relevant in sports where rapid changes in direction, blocking, or defensive stances are required, as they demand precise coordination of multiple muscle groups under time constraints (26).

In the integrated training program, controlled breathing strategies were incorporated to directly enhance athletes' ability to regulate muscle tension, specifically the contraction and relaxation cycles of targeted muscles. Diaphragmatic breathing was applied alongside sport-specific drills, as research indicates that intentional breathing patterns can modulate neuromuscular activation, improving the timing and coordination of agonist and antagonist muscles during dynamic movements (27). Training intensity was gradually increased based on perceived exertion (RPE scale 6–8 out of 10) and monitored by the coaching staff. The control group maintained their regular volleyball training routine, which consisted of standard skill and conditioning drills at similar duration but without specific balance or muscle tension interventions.

In the Y-Balance Test (YBT), each volleyball player performed three trials for each leg in three directions: anterior, posteromedial, and posterolateral. Both the dominant and non-dominant legs were assessed to provide a comprehensive profile of lower-limb balance and asymmetry. Leg dominance was determined by asking players which leg they typically use when jumping or pushing the ball during play. The mean score of the three trials for each leg was calculated separately for analysis. In addition, a composite score for each player was obtained by averaging the normalized reach distances of the dominant and non-dominant legs, following standardized protocols (28). Rest intervals of 60–90 seconds were provided between trials to minimize fatigue. Among the 14 participants, 9 were right-foot dominant and 5 were left-foot dominant, ensuring representation of both foot-dominance types in the sample.

Kinematic analysis was conducted during defensive volleyball tasks that simulated game conditions. The tasks included jumping, blocking, and lateral movements, performed without the ball to focus on movement mechanics. The net height was set at standard men's regulation height (2.43 m). Each defensive movement was performed three times, and the average of the three trials was used for analysis. Kinematic data were collected from the moment of initiation of the lateral or vertical movement until landing, ensuring capture of the entire action sequence.

Defensive performance accuracy in volleyball was operationally defined as the degree to which players executed defensive movements in accordance with established technical criteria, including correct foot placement, trunk alignment, arm positioning, and the effective redirection of the simulated ball trajectory. Accuracy was therefore not limited to the outcome of the movement but also encompassed the quality and precision of motor execution during defensive actions. This approach aligns with previous definitions of performance accuracy in sport, where accuracy is described as the extent to which an observed performance matches a desired target or technical model (29,30). Within volleyball specifically, performance accuracy has been linked to the athlete's ability to position the body efficiently in space and to control kinematic patterns that support successful defensive responses (31). Accordingly, in this study, defensive accuracy was scored based on predefined criteria evaluated from video analysis, emphasizing both the biomechanical quality of execution and the success of defensive outcomes.

All testing took place on the same indoor volleyball court with standard lighting conditions. Participants wore their regular court shoes and attire to replicate typical training conditions. Testing sessions were scheduled within the same two-hour window in the late afternoon to reduce circadian variation effects. Video recordings for kinematic analysis were conducted from fixed camera positions, stored securely, and anonymized. Analysts digitizing joint angles in Kinovea were blinded to group allocation and testing phase. Quality control was ensured by re-digitizing 20% of trials to calculate intra- and inter-rater reliability.

*2.6. Statistical Analysis*

All statistical analyses were performed using SPSS (ver. 26). Paired t-tests were used to compare pre- and post-test scores within each group, while independent t-tests were used to compare post-test differences between the experimental and control groups. Cohen's d was calculated to determine the effect size of the intervention. The primary variables analyzed included: dynamic balance (YBT composite score), muscle activation (RMS sEMG), kinematics variables (knee, hip, shoulder, elbow, ankle, and trunk angles), and defensive skill accuracy.

## 3. Results

The results presented in the two tables illustrate the effects of the integrated training program on physical performance and biomechanical variables in the experimental group compared to the control group. No significant differences were observed in sEMG or YBT performance between dominant and non-dominant limbs in either group ($p > 0.05$), justifying the use of composite scores for analysis. Table 3 shows that the experimental group demonstrated significant improvements across all measured variables—balance (YBT score), muscle tension control (sEMG), and defensive performance accuracy—with p values below 0.05 and large effect sizes (Cohen's $d > 1.3$). In contrast, the control group showed no significant changes, except for a moderate improvement in muscle tension control. Table 4 indicates that the experimental group exhibited notable and significant changes in key joint angles (knee, hip, shoulder, elbow, ankle, and trunk) following the intervention, with medium to large effect sizes. The control group, however, displayed no substantial changes in kinematics variables. Fig. 1 illustrates pre test and post test comparisons of balance (YBT score), muscle tension control (sEMG units), and defensive performance accuracy (%) for the experimental group and control groups. The experimental group shows marked improvements in all three variables after the intervention, with noticeable increases from pre- to post-test, whereas the control group exhibits minimal changes, indicating the effectiveness of the integrated training program. Fig. 2 shows the comparison of kinematic variables between the experimental and control groups in the pre- and post-training test. The figure shows that most joints (e.g. knee, shoulder, elbow, trunk) experienced a significant from pretest to posttest in the experimental group, while the changes in the control group remained less pronounced or almost constant, indicating the effect of training on improving the angles of some joints.

Table 3. Pre- and Post-Training Comparison of Balance, Muscle Tension Control, and Defensive Performance Accuracy

| Variable | Group | Pre-Test | Post-Test | t-value | p-value | Cohen's d [c] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Balance (YBT) [a] | Experimental | 21.5 ± 2.1 | 24.8 ± 2.5 | 3.67 | 0.005* | 1.42 |
| | Control | 21.3 ± 2.3 | 21.5 ± 2.1 | 0.33 | 0.75 | 0.14 |
| Muscle Tension Control | Experimental | 63.5 ± 5.4 | 80.5 ± 6.2 | 5.31 | 0.002* | 1.38 |
| (sEMG) [b] | Control | 63.3 ± 5.0 | 70.3 ± 5.8 | 2.58 | 0.03* | 0.87 |
| Defensive Performance | Experimental | 70.5 ± 5.4 | 85.2 ± 4.6 | 6.13 | 0.001* | 1.60 |
| Accuracy (%) | Control | 71.2 ± 6.1 | 74.8 ± 5.8 | 1.56 | 0.09 | 0.61 |

*Note.* [a] = YBT: Y-Balance Test; [b] = sEMG: surface electromyography; [c] = Cohen's d indicates effect size: 0.2 = small, 0.5 = medium, ≥0.8 = large; * = significant at $p<0.05$.

Table 4. Pre- and Post-Training Comparison of Kinematic variables

| Variable | Group | Pre-Test | Post-Test | t-value | p-value | Cohen's d |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Knee Angle (°) | Experimental | 135.0 ± 5.3 | 133.4 ± 4.8 | 3.33 | 0.012* | 1.39 |
| | Control | 134.9 ± 5.0 | 134.7 ± 4.5 | 0.33 | 0.85 | 0.14 |
| Hip Angle (°) | Experimental | 42.0 ± 2.1 | 39.5 ± 2.0 | 2.50 | 0.030* | 1.09 |
| | Control | 41.8 ± 2.3 | 41.7 ± 2.2 | 0.50 | 0.62 | 0.28 |
| Shoulder Angle (°) | Experimental | 92.0 ± 2.8 | 88.0 ± 2.6 | 3.08 | 0.020* | 1.49 |
| | Control | 91.8 ± 2.9 | 89.2 ± 2.7 | 1.44 | 0.17 | 0.79 |
| Elbow Angle (°) | Experimental | 160.0 ± 5.1 | 155.0 ± 4.8 | 2.78 | 0.025* | 1.15 |
| | Control | 160.5 ± 4.7 | 159.8 ± 4.9 | 1.56 | 0.10 | 0.75 |
| Ankle Angle (°) | Experimental | 20.0 ± 2.1 | 18.0 ± 1.9 | 2.22 | 0.040* | 1.03 |
| | Control | 19.8 ± 2.0 | 19.5 ± 2.1 | 0.78 | 0.46 | 0.18 |
| Trunk Angle (°) | Experimental | 30.0 ± 3.2 | 28.0 ± 3.1 | 2.50 | 0.035* | 0.93 |
| | Control | 29.8 ± 3.1 | 29.4 ± 3.2 | 1.22 | 0.25 | 0.42 |

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

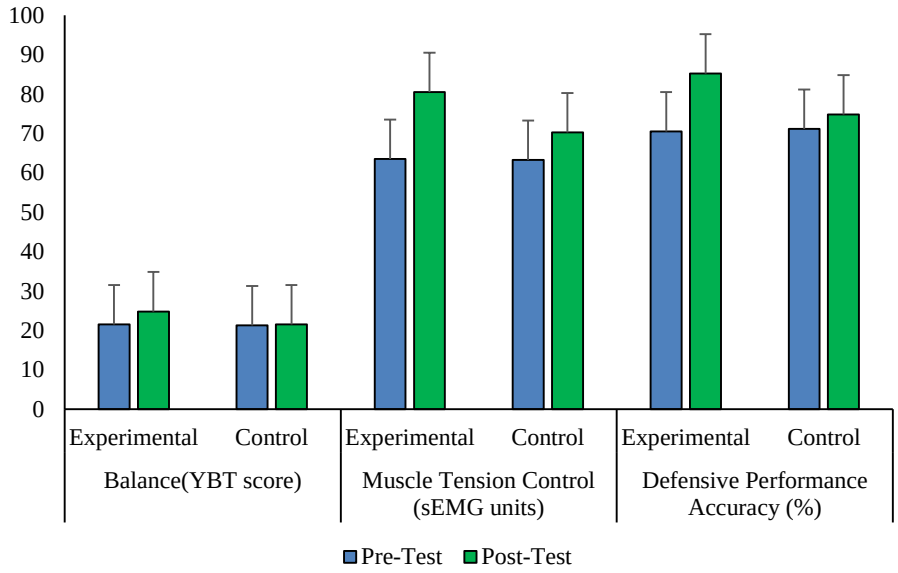



Fig. 1. Comparison of Balance, Muscle Tension Control, and Defensive Performance Accuracy

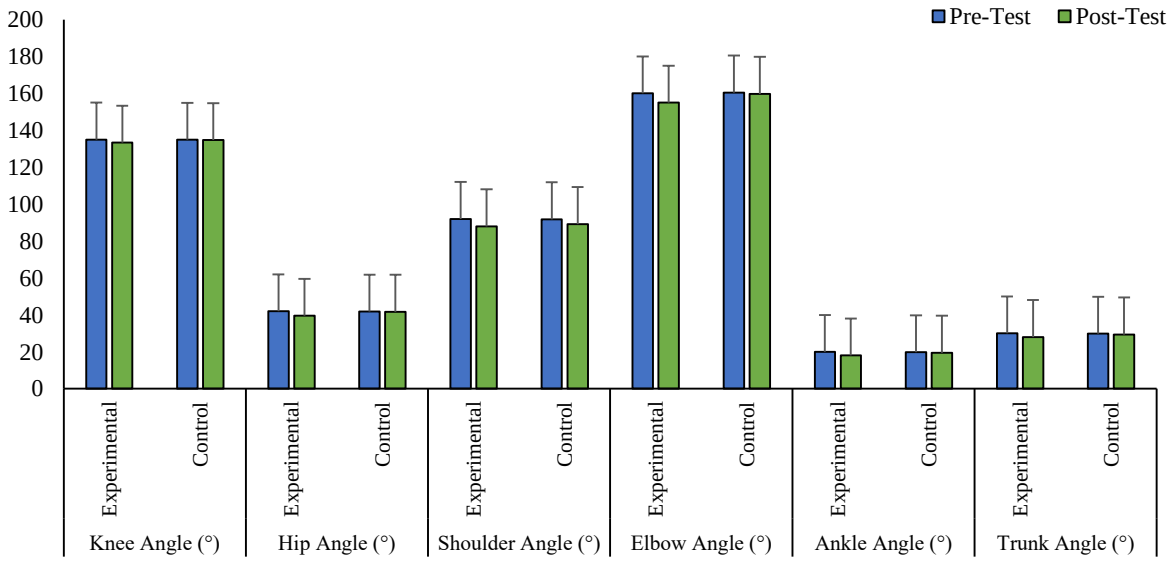



Fig. 2. Comparison of Kinematic variables

## 4. Discussion

The results strongly support the research hypothesis, showing that the experimental group experienced significant improvements in balance, muscle tension control, defensive performance accuracy, and kinematic variables, while the control group exhibited minimal or no changes. These findings indicate that the integrated training program effectively enhances both neuromuscular coordination and biomechanical efficiency in volleyball players. With regard to the first objective—improving balance—the experimental

group showed clear improvements, supporting the idea that proprioceptive and unstable-surface training effectively enhances athletes' balance. These findings are consistent with previous research (1,2) that highlight the role of balance training in reducing injury risk and improving performance.

The integration of balance and muscle tension control training has been shown to enhance defensive performance in volleyball players. Duchene et al. (2023) found that core stability and knee joint loading during change of direction are influenced by sidestepping expertise, which is related to balance and neuromuscular control. Their study suggests that improved core stability can lead to more efficient movement patterns and reduced injury risk, aligning with the findings of this study that demonstrate significant improvements in kinematic variables and defensive performance accuracy following integrated training (32). Studies in sports such as basketball and soccer have also demonstrated that proprioceptive training and muscle tension control improve movement efficiency and defensive performance (33,34). This study contributes to these findings by showing the combined effects of both training elements specifically in volleyball.

Studies show that balanced and managing tension build stronger defenders in basically any game. Yılmaz (2024) also noted that training balance improves dynamic neuromuscular control among athletes, resulting in better orthometric economy and reducing the risk of injuries (35). Likewise, a study from basketball with a similar protocol showed an improvement at passing and shooting and dynamic balance skills leading to better overall performance (36). The best in defense will benefit from improved explosive power, agility and dribbling abilities with football-specific balance training (37). These results are in agreement with ours, as changes in postural adjustments were observed only after a period of combined balance and contraction training.

The second objective, improving muscle tension control, is also supported by Table 3, where the experimental group demonstrated a significant increase in sEMG-measured control. These findings confirm that PNF stretching and relaxation drills are effective in enhancing neuromuscular modulation during high-intensity actions, consistent with prior research (5). The third objective, optimizing kinematic variables, is addressed in Table 4, which shows statistically significant improvements across all measured joint angles (knee, hip, shoulder, elbow, ankle, trunk). For example, knee angle improved with a large effect size, reflecting more efficient lower-limb mechanics. Similar patterns were observed in upper-body joints, such as the shoulder, which are crucial for maintaining proper defensive posture. These biomechanical changes support the hypothesis that integrated training can enhance movement efficiency and reduce injury risk (14). Improvements in knee and hip angles, particularly during defensive maneuvers such as blocking or diving, contribute to enhanced body alignment and force absorption, crucial for preventing knee and lower-back injuries (38).

Furthermore, the biomechanical implications of integrated training are supported by recent research in robotics and musculoskeletal modeling. Kawaharazuka et al. (2024) proposed a method for learning balance control in musculoskeletal humanoids by considering changes in body state, joint angles, and muscle tension (39). This approach highlights the importance of dynamic muscle control and joint alignment in maintaining balance, which is directly applicable to athletic performance. Their findings underscore the relevance of muscle tension control in optimizing movement efficiency and preventing injury, paralleling the outcomes observed in this study (32). The fourth objective, improving defensive performance accuracy, is clearly confirmed in Table 3, where the experimental group achieved the highest effect size. This indicates that integrating balance and Muscle tension training has a direct and substantial impact on sport-specific skills, such as anticipating and responding to opponent attacks. These results expand on earlier isolated findings by showing that a combined intervention yields even greater performance gains (40). The integrated training program not only enhances defensive performance but also contributes to overall athletic development, improving movement efficiency in both offensive and defensive phases of the game (41).

Overall, the results from Table 3 and Table 4 collectively confirm the research hypothesis: a structured, integrated balance and muscle tension control program significantly outperforms standard training in enhancing both biomechanical efficiency and defensive skill performance in volleyball players. The significant improvements observed in Table 3 and Table 4 have direct and valuable applications in volleyball training practice. The marked gains in balance and muscle tension control (Table 3) indicate that integrating unstable-surface training, proprioceptive drills, and PNF-based muscle relaxation techniques into regular training can substantially improve postural balance and neuromuscular efficiency. Such

enhancements enable players to maintain optimal positioning during rapid directional changes and high-pressure defensive situations.

The exercises incorporated in the integrated training program—unstable-surface training, proprioceptive drills, and PNF-based muscle relaxation techniques—are directly relevant to the study's interventions. Unstable-surface training was employed to challenge dynamic balance during lateral and defensive volleyball movements, enhancing postural stability under game-specific conditions. Proprioceptive drills targeted joint position sense and reactive stability, improving movement efficiency and coordination during defensive tasks. PNF-based muscle relaxation techniques were applied before and after training sessions to optimize neuromuscular modulation, reduce excessive muscle tension, and allow controlled execution of high-intensity movements. Collectively, these exercises formed a cohesive program designed to improve both kinematic efficiency and defensive accuracy, directly aligning with the study's primary objectives (42). Furthermore, the improvements in kinematic variables (Table 4)—particularly in the knee, hip, and shoulder—highlight the importance of targeted biomechanical optimization. Coaches can use video-based motion analysis tools (e.g., Kinovea) to identify and correct suboptimal joint positions, ensuring that technical skills are performed with maximum efficiency and reduced injury risk. The increase in defensive performance accuracy (Table 3), the largest effect observed in this study, underscores the competitive advantage of integrating these training methods. Drills that simulate real match conditions, combined with balance and muscle tension control exercises, can improve reaction speed, anticipation, and technical precision in defensive actions.

In practical terms, adopting the integrated training model tested in this study could lead to, enhanced on-court agility and balance under competitive pressure, Reduced injury risk through improved joint alignment and neuromuscular control, and Improved match performance, especially in defensive roles, where quick, accurate responses are crucial. By systematically applying the methods validated by the outcomes in Table 3 and Table 4, volleyball coaches and strength & conditioning specialists can develop more comprehensive training programs that address both biomechanical efficiency and sport-specific skill execution. Both Table 3 and Table 4 highlight the effectiveness of the integrated training program in improving balance, muscle tension control, defensive skill accuracy, and several kinematic variables. The experimental group showed significant improvements across all variables, with large effect sizes, while the control group showed minimal to no significant changes. These findings suggest that the training program had a substantial impact on both the athletes' physical mechanics and performance outcomes, supporting previous research on the benefits of integrated training programs for athletes (2,43).

This study's findings are limited by the small sample size (n = 14) from a single club, which may restrict generalizability. The intervention was confined to a short period, with no assessment of long-term effects, and training occurred in controlled indoor conditions. Individual factors such as recovery rate, diet, and sleep were not considered. Additionally, performance was measured only before and after the program, without intermediate assessments to track progress. Future research should involve larger, more diverse samples, longer interventions, and periodic evaluations to better capture performance changes over time. While sEMG measurements were collected for both dominant and non-dominant limbs, a detailed comparison of muscle activation symmetry was not conducted due to the focus on overall performance outcomes. Future studies could explore limb-specific differences to further elucidate the training effects on neuromuscular control.

## 5. Conclusion

The integrated program combining balance training with muscle tension control significantly improved balance, neuromuscular control, kinematics variables, and defensive accuracy in first-division volleyball players, with clear practical and statistical significance. Enhancements in joint angles suggest potential for both performance gains and injury prevention. Overall, the findings support adopting such integrated methods over standard training to optimize biomechanics and sport-specific defensive skills.

This study recommends integrating balance training on unstable surfaces and proprioceptive drills into volleyball players' weekly programs to enhance postural balance and reactive control. Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretching and relaxation techniques should be applied before and after high-intensity sessions to optimize neuromuscular modulation and reduce muscle stiffness. Regular use of motion analysis tools, such as Kinovea, is advised to monitor kinematics variables and improve defensive posture, thereby lowering injury risk. Defensive drills should simulate real match conditions, incorporating

balance and tension control elements to boost accuracy and reaction speed. Extending the program across an entire competitive season is suggested, along with further large-scale, multi-team studies to confirm these findings.

## Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to all individuals who contributed to the success of this study. Special appreciation is extended to the staff members of the College of Physical Education and Sports Sciences, University of Baghdad, for their invaluable assistance throughout the research process. The authors also acknowledge the research team for their technical expertise and support in data collection and analysis.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

The study was approved by the Institutional Review Board (IRB) of College at the College of Physical Education and Sport Sciences/University of Baghdad (Approval Code: IRB-PESS-2025-02). All participants provided written informed consent. All procedures adhered to the Declaration of Helsinki and protected the confidentially and anonymity of subjects.

### Funding

No funding was received for this study. The research was self-funded by the authors.

### Authors' contributions

Moneer Fadel Ali Hassan: Conceptualized and designed the study, collected data, conducted statistical analysis, and wrote the initial draft of the manuscript, Omar Waleed Abdulkareem: Provided guidance on study design, supervised data collection, reviewed the manuscript, and contributed to the final revisions.

### Conflicts of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this research.

## مقاله پژوهشی

# تأثیر یک برنامه تمرینی ترکیبی تعادل و کنترل تنش عضلانی بر متغیرهای کینماتیکی و دقت دفاع در بازیکنان والیبال

*منیر فاضل علی حسن[۱]، عمر ولید عبدالکریم[۱]

۱. دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بغداد، بغداد، عراق.

Use your device to scan and read the article online

**Citation:** 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. https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.4.438

https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.4.438

**اطلاعات مقاله:**

تاریخ دریافت: ۲۳ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۲ مهر ۱۴۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴ مهر ۱۴۰۴

**کلید واژه‌ها:**
تعادل عضلانی، کنترل تنش عضلانی، تمرینات PNF، والیبال

## چکیده

**هدف** هدف این پژوهش بررسی تأثیر یک برنامه تمرینی ترکیبی بر تعادل، کنترل تنش عضلانی و متغیرهای حرکتی بازیکنان والیبال بود. در این برنامه، از تمرینات تسهیل عصبی ـ عضلانی حس عمقی (PNF) برای بهبود هماهنگی و کنترل عضلات استفاده شد.

**روش‌ها** نمونه پژوهش شامل ۱۴ بازیکن مرد والیبال از تیم لیگ برتر باشگاه ورزشی الجیش بود که به دو گروه آزمایشی (۷ نفر) و کنترل (۷ نفر) تقسیم شدند. در دوره‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون، تعادل پویا، کنترل تنش عضلانی و متغیرهای کینماتیکی در حین اجرای آزمون دست‌یابی جانبی، به‌همراه دقت عملکرد دفاعی در شرایط بروز خستگی ناشی از ضربات برگشتی لیزری مورد ارزیابی قرار گرفتند. برنامه مداخله‌ای به مدت شش هفته اجرا شد. برای ارزیابی عملکرد شرکت‌کنندگان از آزمون تعادل Y جهت سنجش تعادل پویا، از الکترومایوگرافی سطحی (sEMG) برای بررسی کنترل تنش عضلانی و از نرم‌افزار Kinovea برای تحلیل متغیرهای کینماتیکی استفاده گردید.

**یافته‌ها** نتایج نشان داد گروه تجربی نسبت به گروه کنترل پیشرفت قابل‌توجهی در تعادل (اندازه اثر ۱/۴۲)، کنترل فعالیت عضلات (اندازه اثر ۱/۳۸) و دقت عملکرد دفاعی (اندازه اثر ۱/۶۰) داشتند. همچنین زوایای مفصل‌های زانو، ران، شانه، آرنج، مچ پا و تنه در گروه تجربی بهبود متوسط تا زیادی را نشان دادند (اندازه اثر بین ۱/۰۳ تا ۱/۴۹). گروه کنترل تغییر چندانی در هیچ‌یک از شاخص‌ها نداشت.

**نتیجه‌گیری** تمرینات ترکیبی تعادل و کنترل تنش عضلانی باعث بهبود کارایی حرکتی و عملکرد دفاعی بازیکنان والیبال شد. بنابراین، این نوع تمرین می‌تواند به ارتقای عملکرد ورزشی، کاهش خطر آسیب‌دیدگی و افزایش اثربخشی برنامه‌های تمرینی مربیان کمک کند.

*نویسنده مسئول:
*منیر فاضل علی حسن*
آدرس: دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بغداد، بغداد، عراق.
ایمیل: Moneer.Fadel1104A@cope.uobaghdad.edu.iq

## مقدمه

والیبال یک ورزش پرفشار و متناوب است که ترکیبی از قدرت، چابکی، هماهنگی و کنترل دقیق عصبی ـ عضلانی را در بر می‌گیرد. توانایی حفظ مرکز ثقل بدن و تنظیم تنش عضلانی از ویژگی‌های مهم عملکرد دفاعی در این ورزش است و به میزان زیادی به توانایی بازیکن در حفظ تعادل بدن در شرایط ناپایدار مانند مسدود کردن ضربات، دریافت توپ و حرکات سریع جانبی بستگی دارد (۱). این توانایی‌ها علاوه بر نقش مهم در موفقیت ورزشی، در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی نیز مؤثر هستند (۲). تعادل با بسیاری از جنبه‌های فیزیکی ثبات بدنی در ارتباط است و می‌تواند باعث واکنش سریع‌تر، اجرای بهینه حرکات و کاهش احتمال آسیب‌دیدگی شود (۳،۴). همچنین توانایی کنترل تنش عضلانی اهمیت زیادی دارد، زیرا بازیکن باید بتواند بین انقباض‌های شدید و رهاسازی به‌موقع عضلات تعادل برقرار کند تا ضمن حفظ تکنیک مناسب، از خستگی زودرس ناشی از حرکات انفجاری جلوگیری شود (۵). پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که تمرینات تعادلی و تسهیل عصبی ـ عضلانی حس عمقی (PNF) سبب بهبود هماهنگی عصبی ـ عضلانی و پایداری مفاصل می‌شوند (۳، ۶).

علاوه بر تعادل، کنترل تنش عضلانی یکی از اجزای اساسی عملکرد ورزشی است، به‌ویژه در ورزش‌هایی مانند والیبال که حرکات سریع و تکراری دفاعی در آن نقش اصلی دارد. کنترل تنش عضلانی به توانایی ورزشکار در تنظیم میزان انقباض و انبساط گروه‌های عضلانی متناسب با نیاز حرکتی گفته می‌شود (۷). تنظیم مؤثر تنش عضلانی موجب بهبود هماهنگی حرکتی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از انقباضات غیرضروری می‌شود که ممکن است سرعت حرکت را کاهش داده یا موجب خستگی زودرس گردد (۸). از سوی دیگر، ضعف در کنترل تنش عضلانی می‌تواند خطر آسیب‌های ناشی از استفاده بیش از حد و کاهش دقت حرکتی در فعالیت‌های پرفشار را افزایش دهد (۹). روش‌های مختلفی برای بهبود کنترل تنش عضلانی پیشنهاد شده‌اند، از جمله تمرینات PNF، تکنیک‌های آرام‌سازی و برنامه‌های ترکیبی قدرتی ـ انعطافی. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این روش‌ها باعث افزایش کارایی عصبی ـ عضلانی، بهبود روانی حرکت و هماهنگی بهتر بین عضلات موافق و مخالف در حرکات پیچیده ورزشی می‌شوند (۱۲-۱۰). با این حال، بیشتر مطالعات پیشین این روش‌ها را به‌صورت جداگانه بررسی کرده‌اند و اثر ترکیبی آن‌ها به‌ویژه در ارتباط با عملکرد دفاعی در والیبال کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است.

با وجود شواهد موجود درباره تأثیر مثبت تمرینات تعادلی و کنترل تنش عضلانی، پژوهش‌هایی که تأثیر هم‌زمان این دو عامل در قالب یک برنامه تمرینی یکپارچه را بررسی کرده باشند، بسیار محدودند. بیشتر مطالعات یا بر تمرینات حس عمقی برای بهبود کنترل اندام تحتانی و عملکرد دفاعی تمرکز داشته‌اند (۱۳،۱۴)، یا اثر برنامه‌های کنترل تنش عضلانی بر انعطاف‌پذیری و کارایی عصبی ـ عضلانی را بررسی کرده‌اند (۱۵). چنین رویکردهای مجزا، اثرات هم‌افزایی احتمالی بین این دو مؤلفه را نادیده گرفته‌اند. همچنین مطالعات اندکی وجود دارد که تأثیر این نوع تمرینات ترکیبی را بر متغیرهای کینماتیکی مانند زوایای مفاصل زانو، ران، شانه، آرنج، مچ پا و تنه و ارتباط آن‌ها با دقت عملکرد دفاعی در والیبال بررسی کرده باشند (۱۶). بنابراین، نیاز به پژوهشی احساس می‌شود که با طراحی یک برنامه تمرینی تلفیقی شامل تمرینات تعادل و کنترل تنش عضلانی، تأثیر هم‌زمان این دو مؤلفه را بر کارایی بیومکانیکی و عملکرد دفاعی ارزیابی کند. نوآوری پژوهش حاضر در این است که با ترکیب تمرینات حس عمقی (برای بهبود تعادل) و تمرینات هدفمند کنترل تنش عضلانی، اثرات آن‌ها را بر متغیرهای خاص عملکرد دفاعی در والیبال بررسی می‌کند. نتایج این پژوهش می‌تواند الگویی علمی و مبتنی بر شواهد برای طراحی برنامه‌های تمرینی در والیبال و سایر ورزش‌های پویای پرشدت ارائه دهد.

## روش شناسی

### طرح پژوهش

در این پژوهش، گروه تجربی یک برنامه تمرینی ترکیبی را اجرا کرد، در حالی‌که گروه کنترل برنامه معمول تمرینی خود را ادامه داد (دو گروه موازی). برای بررسی اثر مداخله، آزمون‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون بر اساس اندازه‌گیری‌های تعادل پویا، فعالیت عضلات اندام تحتانی (بر اساس sEMG)، متغیرهای کینماتیکی و دقت مهارت‌های دفاعی انجام گرفت. همچنین سن، قد، وزن و سابقه تمرینی شرکت‌کنندگان به‌عنوان ویژگی‌های پایه پیش از شروع مداخله ثبت شد تا همگنی گروه‌ها مورد اطمینان قرار گیرد.

### شرکت‌کنندگان

نمونه شامل چهارده بازیکن مرد از تیم لیگ برتر والیبال باشگاه الجیش عراق بود که به‌صورت هدفمند انتخاب شدند تا از یکنواختی از نظر سطح رقابت و سابقه تمرینی اطمینان حاصل شود. همه شرکت‌کنندگان پس از آگاهی کامل از اهداف، روش‌ها، خطرات احتمالی و مزایای پژوهش، فرم رضایت‌نامه آگاهانه را امضا کردند. برای برآورد حجم نمونه پیش از انجام پژوهش، از نرم‌افزار G*Power استفاده شد. محاسبات بر اساس اندازه اثر متوسط (۰/۲۵)، سطح معناداری ۰/۰۵ و توان آماری ۰/۸۰ برای تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری (دو گروه و دو زمان اندازه‌گیری) انجام شد. نتایج نشان داد که برای دستیابی به توان آماری مناسب، حداقل به ۲۴ شرکت‌کننده نیاز است. با این حال، به‌دلیل محدود بودن تعداد بازیکنان تیم به ۱۴ نفر، افزایش حجم نمونه ممکن نبود. این محدودیت می‌تواند قابلیت تعمیم نتایج را به سایر تیم‌ها یا سطوح رقابتی کاهش دهد. با این وجود، استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری معتبر و پایا، یافته‌های پژوهش را در چارچوب نمونه موجود قابل اعتماد می‌سازد. گروه تجربی (n = ۷) برنامه تمرینی تلفیقی را اجرا کرد و گروه کنترل (n = ۷) تمرینات معمول خود را ادامه داد. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، در مقادیر پایه بین دو گروه از نظر سن، قد، وزن و سابقه تمرینی اختلاف معناداری وجود نداشت و این موضوع نشان‌دهنده هم‌ارزی گروه‌ها پیش از شروع دوره مداخله بود.

### تجهیزات و ابزارهای اندازه‌گیری

تعادل پویا با استفاده از آزمون تعادل Y اندام تحتانی (YBT) ارزیابی شد. این آزمون در حالت استاندارد و با سه جهت دستیابی شامل قدامی، خلفی ـ داخلی و خلفی ـ خارجی انجام گرفت. فاصله دستیابی با استفاده از فرمول (فاصله دستیابی ÷ طول پا × ۱۰۰) نرمال‌سازی شد. پس از یک جلسه آشنایی، هر شرکت‌کننده سه تلاش موفق در هر پا و در هر جهت دستیابی انجام داد. تلاش‌های نامعتبر، مانند بلند کردن پای تکیه‌گاه یا استفاده از دست برای حفظ تعادل، تکرار شدند. آزمون YBT دارای پایایی بالا (ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای حدود ۰/۸۵ تا ۰/۹۳) و روایی مناسب برای استفاده در ورزشکاران گزارش شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های پایه و هم‌ارزی بین گروه تجربی و کنترل

| متغیر | گروه تجربی | گروه کنترل | مقدار p |
|---|---|---|---|
| سن (سال) | ۲۳/۸ ± ۲/۵ | ۲۴/۱ ± ۲/۳ | *۰/۸۰ |
| قد (سانتی‌متر) | ۱۸۰/۵ ± ۴/۰ | ۱۷۹/۸ ± ۴/۳ | *۰/۷۲ |
| وزن (کیلوگرم) | ۷۴/۲ ± ۳/۸ | ۷۳/۹ ± ۴/۱ | *۰/۸۵ |
| سابقه تمرینی (سال) | ۴/۳ ± ۱/۲ | ۴/۴ ± ۱/۱ | *۰/۹۰ |

در این پژوهش، امتیازات اندام غالب و غیرغالب به‌طور جداگانه محاسبه و در جدول ارائه شد تا امکان تحلیل دقیق‌تر عملکرد تعادلی هر اندام فراهم شود. همچنین امتیاز ترکیبی هر اندام از میانگین سه جهت دستیابی به‌دست آمد (۱۷).

فعالیت عضلات اندام تحتانی با استفاده از الکترومایوگرافی سطحی بی‌سیم ارزیابی شد. عضلات هدف شامل رکـتوس فموریس، بای‌سپس فموریس و گاستروکنمیوس داخلی بودند که به‌ترتیب نمایانگر گروه‌های عضلانی چهارسر، همسترینگ و ساق پا هستند. این عضلات به دلیل نقش کلیدی در پایداری پاسچرال، حرکات جانبی دفاعی و فرودهای پرشی در والیبال انتخاب شدند. سیگنال‌های sEMG برای هر فرد بر اساس حداکثر انقباض ایزومتریک ارادی (MVIC) و طبق دستورالعمل‌های SENIAM نرمال‌سازی شدند تا مقایسه بین افراد امکان‌پذیر گردد و فعالیت عضلانی به‌صورت درصدی از حداکثر ظرفیت (%MVIC) بیان شود. ثبت فعالیت عضلانی به‌صورت پیوسته در طول اجرای کامل وظیفه دفاعی انجام شد و مقادیر میانگین مربعات (RMS) هم برای کل مدت زمان حرکت و هم در نقاط اوج انقباض محاسبه گردید. این روش، ارزیابی جامعی از کنترل تنش عضلانی فراهم می‌کند و توانایی ورزشکار در تنظیم پویا و متناسب فعالیت عضلات در حین حرکات ورزشی عملکردی را نشان می‌دهد (۱۸).

ارزیابی‌ها در هر دو اندام غالب و غیرغالب انجام شد. انتخاب این عضلات به‌دلیل نقش آن‌ها در کنترل تعادل و حرکات حفاظتی مانند پرش، فرود و جابجایی‌های جانبی در والیبال بود (۱۹). با توجه به تفاوت قدرت عضلانی بین دو سمت بدن، ارزیابی بر اندام غالب تمرکز داشت، اما اندام غیرغالب نیز برای مقایسه و شناسایی تفاوت‌های احتمالی در فعال‌سازی عضلانی بررسی شد. در مرحله حرکت پویا، داده‌ها از الکترودهای سطحی در طول حرکات دفاعی شامل پرش برای سدکردن توپ و جابجایی‌های جانبی جمع‌آوری شدند، زیرا این حرکات نیازمند بیشترین فعالیت عضلانی هستند و امکان تحلیل دقیق رفتار عضلات در شرایط واقعی مسابقه را فراهم می‌کنند. برای آماده‌سازی پوست، ابتدا موهای محل تراشیده، سپس با سایش ملایم و الکل تمیز شد. الکترودها مطابق دستورالعمل SENIAM (۲۰) و با فاصله حدود ۲۰ میلی‌متر و موازی با تارهای عضلانی قرار داده شدند. داده‌ها با نرخ نمونه‌برداری حداقل ۱۰۰۰ هرتز جمع‌آوری، با فیلتر میان‌گذر ۲۰ تا ۴۵۰ هرتز و ناچ فیلتر۵۰ هرتز برای حذف نویز برق شهری اعمال شد. سپس سیگنال‌ها رکتفیه و با پنجره RMS به طول ۵۰ میلی‌ثانیه هموارسازی شدند.

متغیرهای کینماتیکی شامل زوایای زانو، ران، شانه، آرنج، مچ پا و تنه با استفاده از دوربین‌های فیلم‌برداری سرعت بالا (۱۲۰ فریم بر ثانیه) که روی سه‌پایه در فاصله ۵ تا ۸ متری و عمود بر صفحه حرکت نصب شده بودند، ثبت شدند. در مجموع ده نشانگر بازتابی روی نقاط آناتومیکی شاخص نصب شد: خار خاصره‌ای قدامی‌ـفوقانی و خلفی‌ـفوقانی (برای ردیابی لگن)، تروکانتر بزرگ (برای حرکت ران)، اپی‌کوندیل خارجی زانو (برای حرکت زانو)، قوزک خارجی (برای مچ پا)، زائده آکرومیون (برای شانه)، اپی‌کوندیل خارجی آرنج (برای حرکت آرنج) و مهره C7 (برای حرکات تنه). در این پژوهش، زوایای مفصلی در فازهای جهش، پرواز و فرود در مهارت‌های دفاعی و نیز در حرکات جانبی مربوط به سدکردن و هدایت توپ تحلیل شدند. هر شرکت‌کننده سه اجرای موفق برای هر وظیفه انجام داد و میانگین سه تکرار برای تحلیل آماری استفاده شد تا پایایی نتایج افزایش یابد و تأثیر مقادیر پرت کاهش پیدا کند. این روش امکان ارزیابی دقیق‌تر تغییرات کینماتیکی ناشی از برنامه تمرینی ترکیبی را فراهم کرد. نقاط آناتومیکی به‌عنوان مرجع برای تعریف زوایای مفصلی در نظر گرفته شدند تا اندازه‌گیری دقیق‌تر انجام شود. زوایای مفصلی بر اساس راستای طبیعی قطعات بدنی تعریف شدند؛ به‌عنوان مثال، زاویه زانو بین ران و ساق، و زاویه آرنج بین بازو و ساعد محاسبه شد. یک قاب کالیبراسیون با نشانگرهای مدرج برای تعیین مقیاس پیکسل به سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت.

برای هر مفصل، صفحه حرکتی خاص در نظر گرفته شد: انعطاف و بازشدگی زانو در صفحه ساجیتال، دور و نزدیک شدن ران در صفحه فرونتال، خم و بازشدگی شانه در صفحه ساجیتال، دور و نزدیک شدن شانه در صفحه فرونتال، خم و بازشدگی آرنج در صفحه ساجیتال، خم شدن پشتی و پلانتار مچ پا در صفحه ساجیتال، و خم شدن جانبی و چرخش تنه به‌ترتیب در صفحات فرونتال و عرضی اندازه‌گیری شدند. این روش موجب شد زوایای مفصلی برای همه شرکت‌کنندگان با دقت بالا و به‌صورت پایا اندازه‌گیری شوند و حرکت هر مفصل بر اساس صفحه فیزیولوژیکی اصلی آن تحلیل شود. برای کاهش خطای دید (پارالاکس)، محور نوری دوربین‌ها با صفحه حرکت هم‌راستا تنظیم شد و شرایط نوری محیط ثابت نگه داشته شد. تحلیل حرکتی با نرم‌افزار Kinovea (نسخه‌های ۸/۰ $x$ و ۹/۰ $x$) انجام گرفت که دارای پایایی بالا بین ارزیاب‌ها و توافق مناسب با سیستم‌های سه‌بعدی ثبت حرکت است. داده‌های کینماتیکی با استفاده از فیلتر پایین‌گذر Butterworth با فرکانس قطع ۶ هرتز پالایش شدند تا نویزهای فرکانس بالا ناشی از حرکت نشانگرها و لرزش‌های جزئی حذف شود. این فرآیند باعث هموار شدن منحنی‌های زاویه مفصل و بازنمایی دقیق‌تر حرکات بیومکانیکی شد. محاسبه نهایی زوایای مفصل پس از پالایش داده‌ها انجام شد تا اثر نویز اندازه‌گیری کاهش یافته و ارزیابی دقیق تغییرات زوایای زانو، ران، شانه، آرنج، مچ پا و تنه در وظایف دفاعی امکان‌پذیر گردد (۲۴-۲۱).

## روش اجرا

پیش از آغاز آزمون‌های اصلی، تمامی شرکت‌کنندگان در یک جلسه آشنایی ساختارمند شرکت کردند تا با مراحل اجرای آزمون‌ها آشنا شوند و اثر یادگیری به حداقل برسد. در این جلسه، نحوه اجرای آزمون تعادل Y اندام تحتانی (YBT) و وظایف حرکتی دفاعی به‌صورت کامل توضیح داده شد و سپس تمرین تحت نظارت انجام گرفت. در این مرحله، وضعیت صحیح بدن، نحوه اجرای حرکت و قوانین مربوط به هر وظیفه به شرکت‌کنندگان آموزش داده شد و بازخورد لازم برای اصلاح حرکات غیر استاندارد ارائه گردید. هر جلسه تمرین یا آزمون برای هر شرکت‌کننده حدود دو ساعت به طول انجامید. گروه تجربی به‌مدت شش هفته یک برنامه تمرینی تلفیقی را اجرا کرد که شامل تمرینات تعادل بر روی سطوح ناپایدار، کشش‌های تسهیل عصبی ـ عضلانی حس عمقی (PNF) و تمرینات کنترل تنش عضلانی بود. در این برنامه تمرینی، از تکنیک‌های PNF برای بهبود کنترل تنش عضلانی استفاده شد. هدف از این بخش، بهینه‌سازی تعادل بین انقباض و آرام‌سازی عضلات بود. در پروتکل PNF از الگوی «انقباض ـ رهاسازی» برای تقویت هماهنگی عصبی ـ عضلانی و کاهش هم‌انقباضی‌های غیرضروری در حین حرکات دفاعی خاص والیبال مانند حرکات جانبی، سدکردن توپ و فرود پس از پرش استفاده شد. این پروتکل بر عضلات چهارسر، همسترینگ و گاستروکنمیوس داخلی تمرکز داشت، زیرا این عضلات نقش مهمی در حفظ پایداری پاسچرال و اجرای حرکات انفجاری در والیبال دارند.

### جزئیات پروتکل PNF بر اساس الگوی انقباض ـ رهاسازی

تعداد جلسات تمرین سه بار در هفته بود و این تمرینات در برنامه معمول گروه تجربی گنجانده شدند. مدت هر جلسه حدود بیست دقیقه بود و پس از پنج دقیقه گرم‌کردن پویا (مانند تاب دادن پاها یا لانج) برای آماده‌سازی عضلات انجام می‌شد. در این پروتکل، برای گروه‌های عضلانی هدف از توالی‌های انقباض و رهاسازی استفاده شد. برای عضله چهارسر ران، شرکت‌کنندگان در حالت نشسته، حرکت باز کردن زانو را در برابر مقاومت شریک تمرینی یا نوار کشی انجام داده و انقباض ایزومتریک حداکثری را به‌مدت شش ثانیه نگه می‌داشتند، سپس شریک تمرینی به‌مدت ده ثانیه کشش غیرفعال را انجام می‌داد. برای عضله همسترینگ، شرکت‌کنندگان در حالت درازکش به روی شکم، در هنگام خم کردن زانو در برابر مقاومت به‌مدت شش ثانیه انقباض ایجاد می‌کردند

و سپس به‌مدت ده ثانیه کشش غیرفعال برای باز شدن زانو انجام می‌دادند. برای عضله گاستروکنمیوس داخلی، شرکت‌کنندگان در حالت ایستاده، حرکت بالا رفتن روی پنجه پا را در برابر مقاومت انجام داده و انقباض را شش ثانیه حفظ می‌کردند، سپس به‌مدت ده ثانیه کشش دورسی‌فلکشن (خم شدن مچ پا به سمت بالا) انجام می‌شد. در هر جلسه، سه ست شامل پنج چرخه انقباض و رهاسازی برای هر گروه عضلانی اجرا شد. بین هر چرخه سی ثانیه و بین گروه‌های عضلانی شصت ثانیه استراحت داده می‌شد تا از خستگی جلوگیری شود. شدت مقاومت تمرین‌ها به‌صورت تدریجی افزایش یافت و بر اساس مقیاس درک شدت تمرین (RPE) بین عدد شش تا هشت از ده تنظیم شد که هر هفته توسط مربیان بازبینی و در صورت نیاز اصلاح می‌گردید. در مرحله رهاسازی هر چرخه، از تنفس دیافراگمی استفاده شد. شرکت‌کنندگان موظف بودند به‌مدت چهار ثانیه از بینی دم و به‌مدت شش ثانیه از دهان بازدم انجام دهند تا به آرام‌سازی عضلات و بهبود کنترل عصبی ـ عضلانی کمک شود. تمرینات PNF روی سطوح پایدار انجام شدند تا ایمنی ورزشکاران حفظ شود و تمرکز اصلی بر تنظیم تنش عضلانی باشد. مربیان در طول تمرین با ارائه بازخورد کلامی، بر وضعیت بدن و ریتم تنفس شرکت‌کنندگان نظارت داشتند. این پروتکل بر اساس پژوهش‌های معتبر طراحی شده بود که اثربخشی PNF را در بهبود هماهنگی عصبی ـ عضلانی و کاهش تنش‌های غیرضروری عضلات در فعالیت‌های پویا تأیید کرده‌اند. همچنین، ساختار هفتگی برنامه تمرینی تلفیقی شامل تمرینات PNF، تمرینات تعادلی و تمرینات اختصاصی ورزشی طی دوره شش‌هفته‌ای در جدول ۲ ارائه شده است.

در برنامه تمرینی تلفیقی، کنترل تنش عضلانی به‌صورت نظام‌مند از طریق تمرینات هدفمند توسعه یافت تا توانایی ورزشکاران در جابه‌جایی بین انقباض و رهاسازی عضلات در حین حرکات خاص ورزشی تقویت شود. این موضوع اهمیت زیادی دارد، زیرا تنش بیش از حد یا کنترل‌نشده عضلات معمولاً باعث کاهش دقت فنی و تولید نیروی ناکارآمد می‌شود، به‌ویژه در ورزش‌های با شدت بالا. برای رفع این مسئله، از تمرینات کششی پویا و تکنیک‌های PNF به‌عنوان راهبردهای آماده‌سازی و توسعه استفاده شد. پژوهش‌ها به‌طور مداوم نشان داده‌اند که کشش پویا و PNF باعث بهبود هماهنگی عصبی ـ عضلانی، افزایش دامنه حرکتی و کاهش هم‌انقباضی‌های غیرضروری می‌شوند و در نتیجه، کارایی در انجام حرکات پیچیده افزایش می‌یابد (۲۵). به‌طور خاص، در تمرینات PNF از الگوهای «انقباض ـ رهاسازی» برای ایجاد تعادل بهینه میان عضلات موافق و مخالف استفاده شد. این روش تمرینی توانایی ورزشکار را در تولید نیرو توسط یک گروه عضلانی در حالی که گروه مخالف مقاومت بیش از حد نشان نمی‌دهد، بهبود می‌بخشد. نتیجه این فرایند، روان‌تر شدن حرکات و کاهش اتلاف انرژی در فعالیت‌های انفجاری یا تکراری است. این موضوع به‌ویژه در ورزش‌هایی مانند والیبال که نیازمند تغییر سریع جهت، سد کردن توپ یا اتخاذ وضعیت‌های دفاعی دقیق هستند، اهمیت دارد؛ زیرا چنین فعالیت‌هایی نیازمند هماهنگی دقیق چند گروه عضلانی در بازه زمانی بسیار کوتاه است (۲۶).

جدول ۲. برنامه هفتگی تمرینات تلفیقی

| روز | محور تمرین | نوع تمرین و مدت زمان اجرا |
|---|---|---|
| دوشنبه | تمرین PNF و تعادل | اجرای الگوی انقباض ـ رهاسازی PNF (۲۰ دقیقه) برای عضلات چهارسر ران، همسترینگ و گاستروکنمیوس (۳ ست × ۵ چرخه). سپس انجام تمرینات تعادل روی سطوح ناپایدار مانند توپ BOSU یا تخته تعادلی، شامل حرکات جانبی و ایستادن روی یک پا (۲۰ دقیقه). |
| چهارشنبه | تمرین PNF و دفاعی | اجرای تمرینات PNF (۲۰ دقیقه) مشابه روز دوشنبه، سپس انجام تمرینات دفاعی اختصاصی والیبال مانند حرکات جانبی، جابه‌جایی‌های سریع و تمرینات شبیه‌سازی سد کردن توپ (۳۰ دقیقه). |
| جمعه | تمرین PNF و ترکیبی تعادل ـ دفاع | اجرای تمرینات PNF (۲۰ دقیقه) مشابه روز دوشنبه، سپس تمرینات ترکیبی شامل حرکات جانبی روی سطوح ناپایدار، تمرین پرش و فرود و تمرینات دفاعی پویا (۳۰ دقیقه). |
| سایر روزها | تمرینات معمول والیبال | اجرای تمرینات مهارتی و بدنسازی معمول والیبال بدون تمرکز ویژه بر PNF یا تعادل (۶۰ تا ۹۰ دقیقه). |

در برنامه تمرینی تلفیقی، از تمرینات تنفس کنترل‌شده نیز برای بهبود مستقیم توانایی ورزشکاران در تنظیم تنش عضلانی استفاده شد. به‌طور خاص، تنفس دیافراگمی در کنار تمرینات اختصاصی والیبال اجرا گردید. مطالعات نشان داده‌اند که الگوهای تنفس آگاهانه می‌توانند بر فعال‌سازی عصبی ـ عضلانی تأثیر بگذارند و هماهنگی میان عضلات موافق و مخالف را در حرکات پویا بهبود بخشند (۲۷). شدت تمرینات بر اساس مقیاس درک شدت تمرین (RPE) به‌تدریج افزایش یافت و در محدوده ۶ تا ۸ از ۱۰ حفظ شد. این مقدار توسط مربیان در طول دوره تمرینی پایش و تنظیم می‌شد. در مقابل، گروه کنترل برنامه معمول تمرینی والیبال خود را ادامه داد که شامل تمرینات فنی و بدنسازی استاندارد با مدت مشابه بود، اما هیچ تمرین خاصی برای تعادل یا کنترل تنش عضلانی در آن لحاظ نشد.

در آزمون تعادل Y، هر بازیکن والیبال سه تلاش برای هر پا در سه جهت قدامی، خلفی‌ـداخلی و خلفی‌ـخارجی انجام داد. هر دو اندام غالب و غیرغالب ارزیابی شدند تا نمایه‌ای جامع از تعادل اندام تحتانی و میزان عدم تقارن به‌دست آید. تشخیص پای غالب بر اساس سؤالی انجام شد که از بازیکنان پرسیده می‌شد کدام پا را معمولاً برای پرش یا ضربه زدن به توپ استفاده می‌کنند. میانگین امتیاز سه تلاش برای هر پا به‌صورت جداگانه محاسبه شد و علاوه بر آن، امتیاز ترکیبی هر بازیکن با میانگین‌گیری از فواصل نرمال‌شده دستیابی پاهای غالب و غیرغالب بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد محاسبه گردید (۲۸). بین تلاش‌ها ۶۰ تا ۹۰ ثانیه استراحت در نظر گرفته شد تا خستگی کاهش یابد. از میان ۱۴ شرکت‌کننده، ۹ نفر پای غالب راست و ۵ نفر پای غالب چپ داشتند که نشان‌دهنده وجود هر دو نوع غالبیت در نمونه بود. تحلیل کینماتیکی در حین انجام وظایف دفاعی والیبال که شرایط مسابقه را شبیه‌سازی می‌کردند، انجام شد. این وظایف شامل پرش، سد کردن توپ و حرکات جانبی بودند که بدون توپ اجرا شدند تا تمرکز بر مکانیک حرکت حفظ شود. ارتفاع تور برابر با استاندارد مردان (۲/۴۳ متر) تنظیم شد. هر حرکت دفاعی سه بار اجرا گردید و میانگین سه تلاش برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های کینماتیکی از لحظه شروع حرکت جانبی یا عمودی تا لحظه فرود جمع‌آوری شدند تا کل توالی حرکت پوشش داده شود.

دقت عملکرد دفاعی در والیبال به‌صورت عملیاتی به میزانی تعریف شد که بازیکنان حرکات دفاعی را بر اساس معیارهای فنی مشخص شامل جای‌گیری صحیح پاها، هم‌ترازی تنه، وضعیت مناسب بازوها و هدایت مؤثر مسیر فرضی توپ اجرا کردند. در این تعریف، دقت تنها به نتیجه حرکت محدود نبود بلکه کیفیت و صحت اجرای حرکات نیز در نظر گرفته شد. این تعریف با رویکرد پژوهش‌های پیشین درباره دقت عملکرد در ورزش همسو است، جایی که دقت به‌عنوان میزان شباهت اجرای واقعی با الگوی هدف یا مدل فنی مطلوب توصیف می‌شود (۲۹،۳۰). در والیبال، دقت عملکرد به توانایی ورزشکار در جای‌گیری بهینه بدن در فضا و کنترل الگوهای کینماتیکی مرتبط با واکنش‌های موفق دفاعی ارتباط دارد (۳۱). بر همین اساس، در این پژوهش، دقت دفاعی بر اساس معیارهای از پیش تعیین‌شده و از طریق تحلیل ویدئویی ارزیابی شد که هم کیفیت بیومکانیکی اجرا و هم موفقیت عملکرد دفاعی را در نظر می‌گرفت.

تمام مراحل آزمون در سالن والیبال سرپوشیده و در شرایط نوری استاندارد انجام گرفت. شرکت‌کنندگان از کفش و لباس تمرینی معمول خود استفاده کردند تا شرایط آزمون مشابه تمرین واقعی باشد. جلسات آزمون در بازه زمانی ثابت دو ساعته در ساعات عصر برگزار شد تا تأثیر تغییرات ریتم شبانه‌روزی بر نتایج به حداقل برسد. ضبط ویدئویی برای تحلیل کینماتیکی از موقعیت‌های ثابت دوربین انجام و داده‌ها به‌صورت محرمانه نگهداری شدند. افرادی که زوایای مفصلی را در نرم‌افزار Kinovea دیجیتالی‌سازی کردند،

از نوع گروه‌بندی و مرحله آزمون بی‌اطلاع بودند. برای کنترل کیفیت، ۲۰ درصد از تلاش‌ها دوباره تحلیل شدند تا پایایی درون‌ارزیاب و بین‌ارزیاب محاسبه گردد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

کلیه تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. برای مقایسه نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر گروه، از آزمون ***t*** همبسته استفاده شد و برای مقایسه تفاوت‌های پس‌آزمون بین دو گروه تجربی و کنترل، از آزمون t مستقل بهره گرفته شد. همچنین، به‌منظور تعیین اندازه اثر مداخله، شاخص اندازه اثر کوهن محاسبه گردید. متغیرهای اصلی مورد تحلیل شامل موارد تعادل پویا (امتیاز ترکیبی آزمون (YBT)، فعالیت عضلانی (مقادیر RMS حاصل از sEMG)، متغیرهای کینماتیکی (زاویای زانو، ران، شانه، آرنج، مچ پا و تنه) و دقت عملکرد دفاعی بودند.

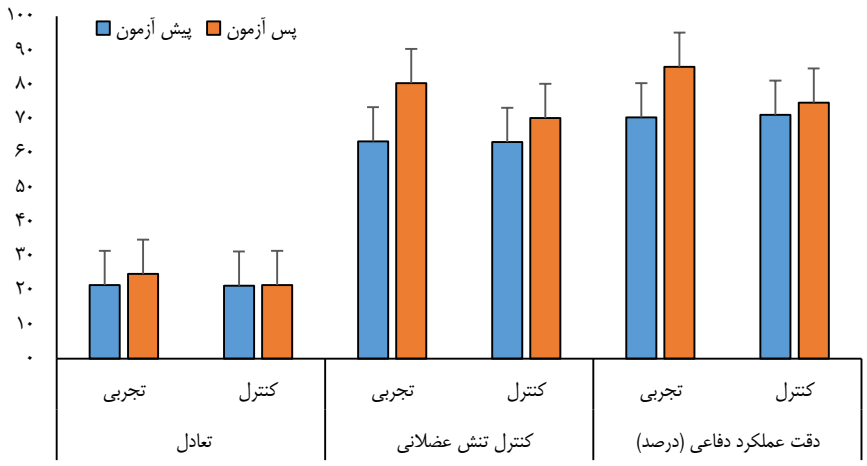
## نتایج

نتایج ارائه‌شده در دو جدول، تأثیر برنامه تمرینی تلفیقی را بر عملکرد جسمانی و متغیرهای بیومکانیکی در گروه تجربی در مقایسه با گروه کنترل نشان می‌دهند. در هیچ‌یک از دو گروه، تفاوت معناداری بین اندام غالب و غیرغالب از نظر فعالیت عضلانی یا عملکرد آزمون تعادل Y مشاهده نشد ($p > ۰/۰۵$)؛ از این‌رو برای تحلیل آماری از امتیاز ترکیبی استفاده گردید. بر اساس جدول ۳، گروه تجربی پس از اجرای مداخله در تمامی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده شامل تعادل (امتیاز آزمون YBT)، کنترل تنش عضلانی و دقت عملکرد دفاعی بهبود معناداری نشان داد، به‌طوری‌که مقادیر p کمتر از ۰/۰۵ و اندازه اثرها بزرگ (Cohen's d > ۱/۳) بودند. در مقابل، گروه کنترل تغییرات معناداری نداشت، جز بهبود متوسط در کنترل تنش عضلانی. جدول ۴ نشان می‌دهد که گروه تجربی پس از اجرای برنامه تمرینی، تغییرات چشمگیر و معناداری در زوایای اصلی مفاصل شامل زانو، ران، شانه، آرنج، مچ پا و تنه داشت و اندازه اثرها در محدوده متوسط تا زیاد قرار داشتند. در حالی‌که گروه کنترل تغییرات قابل توجهی در متغیرهای کینماتیکی نشان نداد. شکل ۱ مقایسه پیش‌آزمون و پس‌آزمون تعادل (امتیاز YBT)، کنترل تنش عضلانی (واحدهای sEMG) و دقت عملکرد دفاعی (درصد) را در گروه‌های تجربی و کنترل نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است، گروه تجربی پس از مداخله در هر سه متغیر بهبود قابل ملاحظه‌ای داشته و مقادیر از پیش‌آزمون به پس‌آزمون به‌طور محسوس افزایش یافته‌اند، در حالی‌که گروه کنترل تغییر چندانی نداشته است. این نتایج نشان‌دهنده اثربخشی برنامه تمرینی تلفیقی است.

جدول ۳. مقایسه نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون تعادل، کنترل تنش عضلانی و دقت عملکرد دفاعی

| متغیر | گروه | پیش‌آزمون | پس‌آزمون | مقدار t | مقدار p | اندازه اثر[c] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تعادل آزمون (YBT)[a] | تجربی | ۲۱/۵ ± ۲/۱ | ۲۴/۸ ± ۲/۵ | ۳/۶۷ | *۰/۰۰۵ | ۱/۴۱ |
| | کنترل | ۲۱/۳ ± ۲/۳ | ۲۱/۵ ± ۲/۱ | ۰/۳۳ | ۰/۷۵ | ۰/۱۴ |
| کنترل تنش عضلانی (sEMG)[b] | تجربی | ۶۳/۵ ± ۵/۴ | ۸۰/۵ ± ۶/۲ | ۵/۳۱ | *۰/۰۰۲ | ۱/۳۸ |
| | کنترل | ۶۳/۳ ± ۵/۰ | ۷۰/۳ ± ۵/۸ | ۲/۵۸ | *۰/۰۳ | ۰/۸۷ |
| دقت عملکرد دفاعی (٪) | تجربی | ۷۰/۵ ± ۵/۴ | ۸۵/۲ ± ۴/۶ | ۶/۱۳ | *۰/۰۰۱ | ۱/۶۰ |
| | کنترل | ۷۱/۲ ± ۶/۱ | ۷۴/۸ ± ۵/۸ | ۱/۵۶ | ۰/۰۹ | ۰/۶۱ |

نکته: a: آزمون تعادل (Y-Balance Test)، b: sEMG الکترومایوگرافی سطحی (surface electromyography)، c: Cohen's d شاخص اندازه اثر که مقادیر آن به این صورت تفسیر می‌شود: ۰/۲ = کوچک، ۰/۵ = متوسط، ۰/۸ و بیشتر = زیاد؛ * = معنادار در سطح $p < ۰/۰۵$.

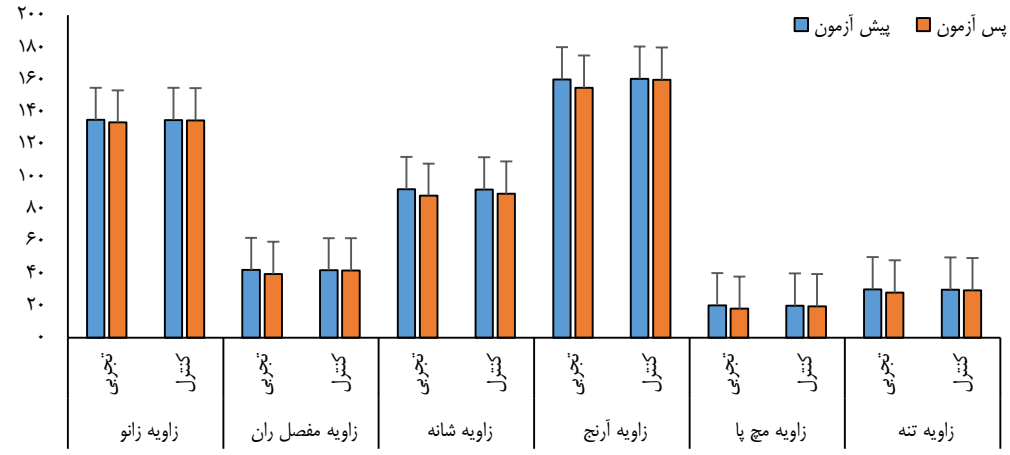



شکل ۱. مقایسه تعادل، کنترل تنش عضلانی و دقت عملکرد دفاعی

جدول ۴. مقایسه نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون متغیرهای کینماتیکی

| متغیر | گروه | پیش‌آزمون | پس‌آزمون | مقدار t | مقدار p | اندازه اثر (Cohen's d) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| زاویه زانو (°) | تجربی | ۱۳۵/۰ ± ۵/۳ | ۱۳۳/۴ ± ۴/۸ | ۳/۳۳ | ٭۰/۰۱۲ | ۱/۳۹ |
| | کنترل | ۱۳۴/۹ ± ۵/۰ | ۱۳۴/۷ ± ۴/۵ | ۰/۳۳ | ۰/۸۵ | ۰/۱۴ |
| زاویه مفصل ران (°) | تجربی | ۴۲/۰ ± ۲/۱ | ۳۹/۵ ± ۲/۰ | ۲/۵۰ | ٭۰/۰۳۰ | ۱/۰۹ |
| | کنترل | ۴۱/۸ ± ۲/۳ | ۴۱/۷ ± ۲/۲ | ۰/۵۰ | ۰/۶۲ | ۰/۲۸ |
| زاویه شانه (°) | تجربی | ۹۲/۰ ± ۲/۸ | ۸۸/۰ ± ۲/۶ | ۳/۰۸ | ٭۰/۰۲۰ | ۱/۴۹ |
| | کنترل | ۹۱/۸ ± ۲/۹ | ۸۹/۲ ± ۲/۷ | ۱/۴۴ | ۰/۱۷ | ۰/۷۹ |
| زاویه آرنج (°) | تجربی | ۱۶۰/۰ ± ۵/۱ | ۱۵۵/۰ ± ۴/۸ | ۲/۷۸ | ٭۰/۰۲۵ | ۱/۱۵ |
| | کنترل | ۱۶۰/۵ ± ۴/۷ | ۱۵۹/۸ ± ۴/۹ | ۱/۵۶ | ۰/۱۰ | ۰/۷۵ |
| زاویه مچ پا (°) | تجربی | ۲۰/۰ ± ۲/۱ | ۱۸/۰ ± ۱/۹ | ۲/۲۲ | ٭۰/۰۴۰ | ۱/۰۳ |
| | کنترل | ۱۹/۸ ± ۲/۰ | ۱۹/۵ ± ۲/۱ | ۰/۷۸ | ۰/۴۶ | ۰/۱۸ |
| زاویه تنه (°) | تجربی | ۳۰/۰ ± ۳/۲ | ۲۸/۰ ± ۳/۱ | ۲/۵۰ | ٭۰/۰۳۵ | ۰/۹۳ |
| | کنترل | ۲۹/۸ ± ۳/۱ | ۲۹/۴ ± ۳/۲ | ۱/۲۲ | ۰/۲۵ | ۰/۴۲ |

نکته: ٭ = معنادار در سطح p> ۰/۰۵




شکل ۲. مقایسه متغیرهای کینماتیکی

شکل ۲ مقایسه متغیرهای کینماتیکی بین گروه‌های تجربی و کنترل را در آزمون‌های پیش و پس از تمرین نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، در گروه تجربی زوایای اکثر مفاصل مانند زانو، شانه، آرنج و تنه پس از دوره تمرینی تغییرات معناداری داشته‌اند، در حالی‌که تغییرات در گروه کنترل اندک یا تقریباً ثابت باقی مانده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که برنامه تمرینی باعث بهبود الگوهای زاویه‌ای مفاصل در حرکات دفاعی شده است.

## بحث

نتایج این پژوهش به روشنی فرضیه تحقیق را تأیید می‌کند؛ به طوری که گروه تجربی در متغیرهای تعادل، کنترل تنش عضلانی، دقت عملکرد دفاعی و شاخص‌های کینماتیکی بهبودهای معناداری نشان داد، در حالی که گروه کنترل تغییرات اندک یا ناچیزی داشت. این یافته‌ها بیانگر آن است که برنامه تمرینی تلفیقی طراحی شده توانسته است هماهنگی عصبی ـ عضلانی و کارایی بیومکانیکی بازیکنان والیبال را به طور مؤثری ارتقا دهد. در ارتباط با هدف نخست یعنی بهبود تعادل، گروه تجربی پیشرفت قابل توجهی نشان داد که مؤید آن است تمرینات تعادلی مبتنی بر حس عمقی و سطوح ناپایدار می‌توانند به طور مؤثر موجب بهبود تعادل ورزشکاران شوند. این یافته‌ها با پژوهش‌های پیشین (۱،۲) همسو است که نقش تمرینات تعادلی را در کاهش خطر آسیب و بهبود عملکرد ورزشی تأیید کرده‌اند. ادغام تمرینات تعادل و کنترل تنش عضلانی باعث بهبود عملکرد دفاعی در بازیکنان والیبال شد. دوشن و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که پایداری مرکزی و بارگذاری مفصل زانو در حین تغییر جهت، به میزان مهارت در حرکات جانبی وابسته است و این عامل با کنترل تعادل و هماهنگی عصبی ـ عضلانی ارتباط دارد. مطالعه آنان بیان می‌کند که افزایش پایداری مرکزی می‌تواند به الگوهای حرکتی کارآمدتر و کاهش خطر آسیب منجر شود؛ یافته‌ای که با نتایج حاضر در خصوص بهبود متغیرهای کینماتیکی و دقت عملکرد دفاعی پس از اجرای تمرینات تلفیقی مطابقت دارد (۳۲). مطالعات انجام شده در سایر رشته‌های ورزشی مانند بسکتبال و فوتبال نیز نشان داده‌اند که تمرینات حس عمقی و کنترل تنش عضلانی موجب بهبود کارایی حرکتی و عملکرد دفاعی می‌شوند (۳۳، ۳۴). پژوهش حاضر با تمرکز بر ورزش والیبال، به شواهد موجود افزوده و اثرات ترکیبی این دو نوع تمرین را به صورت همزمان مورد بررسی قرار داده است. ییلماز (۲۰۲۴) نیز گزارش کرد که تمرینات تعادلی موجب بهبود کنترل عصبی ـ عضلانی پویا در ورزشکاران می‌شود و به افزایش کارایی حرکتی و کاهش خطر آسیب کمک می‌کند (۳۵). در مطالعه‌ای مشابه در بسکتبال، اجرای برنامه‌ای ترکیبی شامل تمرینات تعادلی منجر به بهبود در مهارت‌های پاس، شوت و تعادل پویا شد (۳۶). همچنین، در فوتبال، تمرینات تعادلی اختصاصی باعث افزایش توان انفجاری، چابکی و کنترل توپ در موقعیت‌های دفاعی گردید (۳۷). این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همسو است، زیرا تغییرات محسوس در الگوهای پاسچرال تنها پس از یک دوره تمرینات ترکیبی تعادل و کنترل انقباض عضلانی مشاهده شد.

هدف دوم پژوهش، یعنی بهبود کنترل تنش عضلانی، نیز بر اساس داده‌های جدول ۳ تأیید می‌شود. گروه تجربی افزایش معناداری در شاخص کنترل عضلانی مبتنی بر sEMG نشان داد. این یافته تأیید می‌کند که کشش‌های PNF و تمرینات آرام‌سازی عضلانی می‌توانند به بهبود تنظیم عصبی ـ عضلانی در فعالیت‌های شدید منجر شوند، که با پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد (۵). هدف سوم پژوهش، یعنی بهینه‌سازی متغیرهای کینماتیکی، با نتایج جدول ۴ پشتیبانی می‌شود. در این جدول بهبودهای معناداری در تمامی زوایای مفصلی شامل زانو، ران، شانه، آرنج، مچ پا و تنه مشاهده شد. برای مثال، زاویه زانو با اندازه اثر زیاد بهبود یافت که نشان‌دهنده بهبود عملکرد مکانیکی اندام تحتانی است. الگوهای مشابهی نیز در مفاصل اندام فوقانی مانند شانه مشاهده شد که نقش مهمی در حفظ وضعیت دفاعی مناسب دارند. این تغییرات بیومکانیکی فرضیه تحقیق را مبنی بر تأثیر تمرینات تلفیقی بر بهبود کارایی

حرکتی و کاهش خطر آسیب تأیید می‌کند (۱۴). بهبود در زوایای زانو و ران، به ویژه در حین حرکات دفاعی مانند سد کردن یا شیرجه، موجب بهبود هم‌ترازی بدن و جذب نیرو می‌شود که از عوامل کلیدی در پیشگیری از آسیب‌های زانو و کمر است (۳۸). همچنین، پیامدهای بیومکانیکی تمرینات تلفیقی با یافته‌های پژوهش‌های اخیر در حوزه مدل‌سازی اسکلتی و رباتیک مطابقت دارد. کاواهارازوکا و همکاران (۲۰۲۴) روشی را برای یادگیری کنترل تعادل در مدل‌های اسکلتی انسان‌نما ارائه کردند که در آن تغییرات وضعیت بدن، زوایای مفاصل و تنش عضلانی در نظر گرفته می‌شود (۳۹). این رویکرد اهمیت کنترل پویا و هماهنگی بین مفاصل و عضلات را در حفظ تعادل نشان می‌دهد که مستقیماً با عملکرد ورزشی مرتبط است. یافته‌های آن‌ها اهمیت کنترل تنش عضلانی را در بهینه‌سازی حرکات و پیشگیری از آسیب تأیید می‌کند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (۳۲).

هدف چهارم پژوهش، یعنی بهبود دقت عملکرد دفاعی، نیز بر اساس نتایج جدول ۳ تأیید می‌شود، جایی که گروه تجربی بیشترین اندازه اثر را نشان داد. این موضوع بیانگر آن است که ترکیب تمرینات تعادل و کنترل تنش عضلانی تأثیر مستقیمی بر مهارت‌های خاص ورزشی مانند پیش‌بینی و واکنش به حملات حریف دارد. این یافته‌ها نتایج مطالعات قبلی را گسترش داده و نشان می‌دهد که مداخله ترکیبی می‌تواند منجر به بهبود بیشتر عملکرد شود (۴۰). برنامه تمرینی تلفیقی نه تنها عملکرد دفاعی را بهبود می‌بخشد بلکه به توسعه کلی توانایی‌های ورزشی نیز کمک می‌کند و موجب افزایش کارایی حرکتی در هر دو فاز دفاعی و هجومی بازی می‌شود (۴۱). به طور کلی، نتایج حاصل از جداول ۲ و ۳ فرضیه اصلی پژوهش را تأیید می‌کند؛ بدین معنا که یک برنامه تمرینی ساختارمند مبتنی بر تعادل و کنترل تنش عضلانی نسبت به تمرینات معمول تأثیر بیشتری در بهبود کارایی بیومکانیکی و عملکرد دفاعی بازیکنان والیبال دارد.

بهبودهای چشمگیر مشاهده شده در این جداول کاربردهای عملی مهمی برای تمرینات والیبال دارند. افزایش محسوس در تعادل و کنترل تنش عضلانی (جدول ۳) نشان می‌دهد که ادغام تمرینات تعادل روی سطوح ناپایدار، تمرینات حس عمقی و تکنیک‌های آرام‌سازی عضلانی مبتنی بر PNF در برنامه‌های معمول تمرینی می‌تواند به بهبود پایداری پاسچرال و کارایی عصبی ـ عضلانی کمک کند. چنین پیشرفت‌هایی به بازیکنان اجازه می‌دهد تا در شرایط تغییر سریع جهت یا فشار زیاد بازی، وضعیت بدنی بهینه خود را حفظ کنند. تمرینات به‌کاررفته در برنامه تمرینی تلفیقی، شامل تمرینات تعادلی روی سطوح ناپایدار، تمرینات حس عمقی و تکنیک‌های آرام‌سازی عضلانی مبتنی بر PNF، به طور مستقیم با اهداف پژوهش مرتبط بودند. تمرینات تعادل روی سطوح ناپایدار برای به چالش کشیدن تعادل پویا در حرکات دفاعی جانبی در والیبال طراحی شدند. تمرینات حس عمقی بر بهبود درک موقعیت مفصل و پایداری واکنشی تمرکز داشتند، در حالی که تمرینات آرام‌سازی مبتنی بر PNF قبل و بعد از تمرین اجرا شدند تا تنظیم عصبی ـ عضلانی بهینه شود و از انقباض‌های غیرضروری جلوگیری گردد (۴۲). بهبود مشاهده شده در متغیرهای کینماتیکی (جدول ۴)، به ویژه در زوایای زانو، ران و شانه، اهمیت بهینه‌سازی بیومکانیکی را برای مربیان نشان می‌دهد. استفاده از ابزارهای تحلیل حرکتی ویدئویی مانند نرم‌افزار Kinovea می‌تواند به شناسایی و اصلاح موقعیت‌های نامطلوب مفصلی کمک کند و اطمینان دهد که مهارت‌های فنی با بیشترین بازده و کمترین خطر آسیب انجام می‌شوند.

افزایش دقت عملکرد دفاعی (جدول ۳) که بزرگ‌ترین اندازه اثر را در این پژوهش داشت، بیانگر مزیت رقابتی استفاده از این نوع تمرینات است. تمریناتی که شرایط واقعی بازی را شبیه‌سازی می‌کنند، در ترکیب با تمرینات تعادل و کنترل تنش عضلانی، می‌توانند سرعت واکنش، پیش‌بینی و دقت فنی بازیکنان را در موقعیت‌های دفاعی بهبود بخشند. به طور عملی، استفاده از مدل تمرینی تلفیقی آزموده شده در این پژوهش می‌تواند به افزایش چابکی و تعادل در شرایط رقابتی، کاهش خطر آسیب از طریق بهبود هم‌ترازی

مفاصل و کنترل عصبی ـ عضلانی، و ارتقای عملکرد مسابقه‌ای به ویژه در نقش‌های دفاعی منجر شود. بنابراین، با به‌کارگیری نظام‌مند یافته‌های حاصل از جداول ۲ و ۳، مربیان و متخصصان تمرینات بدنی می‌توانند برنامه‌هایی جامع‌تر طراحی کنند که هم کارایی بیومکانیکی و هم اجرای مهارت‌های تخصصی ورزشی را بهبود بخشند. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که برنامه تمرینی تلفیقی مورد استفاده توانسته است به طور مؤثری موجب بهبود تعادل، کنترل تنش عضلانی، دقت دفاعی و متغیرهای کینماتیکی شود و این موضوع با یافته‌های پژوهش‌های پیشین درباره فواید تمرینات ترکیبی برای ورزشکاران همخوان است (۴۳).

یافته‌های این پژوهش با محدودیت‌هایی همراه است که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست، حجم نمونه کوچک (۱۴ نفر) و انتخاب شرکت‌کنندگان از یک باشگاه خاص، قابلیت تعمیم نتایج را محدود می‌کند. دوم، مداخله در یک بازه زمانی نسبتاً کوتاه اجرا شد و تأثیرات بلندمدت آن مورد بررسی قرار نگرفت. همچنین، تمرینات در محیط کنترل‌شده و در سالن سرپوشیده انجام شدند که ممکن است با شرایط واقعی مسابقه متفاوت باشد. عوامل فردی مانند سرعت بازیابی بدن، تغذیه و کیفیت خواب نیز در این پژوهش مورد سنجش قرار نگرفتند، در حالی‌که این عوامل می‌توانند بر عملکرد عصبی ـ عضلانی تأثیرگذار باشند. علاوه بر این، ارزیابی عملکرد تنها در دو مرحله، پیش از مداخله و پس از آن، انجام شد و سنجش‌های میان‌دوره‌ای برای بررسی روند پیشرفت در طول دوره تمرین وجود نداشت. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، از نمونه‌های بزرگ‌تر و متنوع‌تر، دوره‌های تمرینی طولانی‌تر و ارزیابی‌های دوره‌ای استفاده شود تا تغییرات عملکردی در طول زمان با دقت بیشتری بررسی گردد. اگرچه داده‌های sEMG برای اندام‌های غالب و غیرغالب جمع‌آوری شدند، اما به دلیل تمرکز بر نتایج کلی عملکرد، مقایسه دقیق تقارن فعالیت عضلانی بین دو سمت بدن انجام نگرفت. در پژوهش‌های آینده می‌توان با تمرکز بر تفاوت‌های اندام غالب و غیرغالب، تأثیر تمرینات بر کنترل عصبی ـ عضلانی را با جزئیات بیشتری بررسی کرد.

## نتیجه‌گیری نهایی

برنامه تمرینی تلفیقی که ترکیبی از تمرینات تعادلی و کنترل تنش عضلانی بود، موجب بهبود قابل توجهی در تعادل، کنترل عصبی ـ عضلانی، متغیرهای کینماتیکی و دقت عملکرد دفاعی بازیکنان والیبال لیگ دسته یک شد. این بهبودها هم از نظر آماری و هم از نظر کاربردی معنادار بودند. تغییرات مشاهده شده در زوایای مفصلی نیز نشان‌دهنده پتانسیل بالای این نوع تمرینات برای افزایش عملکرد و پیشگیری از آسیب‌های ورزشی است. به طور کلی، یافته‌های این پژوهش از به‌کارگیری روش‌های تلفیقی به جای تمرینات معمول برای بهینه‌سازی بیومکانیک حرکتی و مهارت‌های دفاعی اختصاصی حمایت می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود تمرینات تعادلی بر روی سطوح ناپایدار و تمرینات حس عمقی به‌صورت منظم در برنامه هفتگی بازیکنان والیبال گنجانده شود تا تعادل پاسچرال و کنترل واکنشی آنان تقویت گردد. همچنین، کشش‌ها و تمرینات آرام‌سازی عضلانی مبتنی بر تسهیل عصبی ـ عضلانی حس عمقی (PNF) پیش و پس از جلسات تمرینی شدید اجرا شود تا تنظیم عصبی ـ عضلانی بهینه و سفتی عضلانی کاهش یابد. استفاده منظم از ابزارهای تحلیل حرکتی مانند نرم‌افزار Kinovea برای پایش متغیرهای کینماتیکی و بهبود وضعیت دفاعی توصیه می‌شود، زیرا این کار می‌تواند خطر آسیب‌دیدگی را کاهش دهد. تمرینات دفاعی نیز باید شرایط واقعی مسابقه را شبیه‌سازی کنند و شامل مؤلفه‌های تعادل و کنترل تنش عضلانی باشند تا دقت و سرعت واکنش بازیکنان افزایش یابد. در نهایت، پیشنهاد می‌شود اجرای این برنامه تمرینی در طول یک فصل کامل رقابتی ادامه یابد و پژوهش‌های گسترده‌تر با حضور چند تیم و نمونه‌های بزرگ‌تر برای تأیید و تعمیم نتایج انجام شود.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمامی افرادی که در اجرای موفق این پژوهش همکاری و همراهی داشته‌اند صمیمانه قدردانی می‌شود. از شرکت‌کنندگانی که با صرف وقت و تعهد خود در مراحل مختلف تحقیق حضور یافتند سپاسگزاریم. همچنین از اعضای محترم هیئت علمی و کارکنان دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی دانشگاه بغداد به‌ویژه به خاطر یاری ارزشمندشان در طول اجرای این پژوهش تشکر ویژه به عمل می‌آید. نویسندگان از تیم پژوهشی نیز بابت همکاری فنی، جمع‌آوری داده‌ها و مشارکت در تحلیل نتایج قدردانی می‌کنند.

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش به تصویب کمیته اخلاق پژوهش (IRB) دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی دانشگاه بغداد رسیده است (کد تأییدیه: IRB-PESS-2025-02). تمامی شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه کتبی آگاهانه را امضا کردند. تمامی مراحل اجرا مطابق با اصول بیانیه هلسینکی انجام شد و محرمانگی و گمنامی اطلاعات شرکت‌کنندگان به‌طور کامل رعایت گردید.

### حامی مالی

هیچ‌گونه حمایت مالی برای انجام این پژوهش دریافت نشده است و هزینه‌های تحقیق به‌صورت شخصی توسط نویسندگان تأمین گردید.

### مشارکت نویسندگان

منیر فاضل علی حسن: طراحی و تدوین طرح پژوهش، جمع‌آوری داده‌ها، انجام تحلیل‌های آماری و نگارش پیش‌نویس اولیه مقاله. عمر ولید عبدالکریم: ارائه راهنمایی در طراحی مطالعه، نظارت بر جمع‌آوری داده‌ها، بازبینی نسخه اولیه مقاله و مشارکت در اصلاح نهایی متن.

### تعارض

هیچ نوع تعارض منافعی در این مطالعه وجود ندارد.

### Reference

1. Picot B, Terrier R, Forestier N, Fourchet F, McKeon PO. The Star Excursion Balance Test: An Update Review and Practical Guidelines. International Journal of Athletic Therapy and Training. 2021;26(6):285-293. [DOI:10.1123/ijatt.2020-0106]

2. Al Attar WSA, Khaledi EH, Bakhsh JM, Faude O, Ghulam H, Sanders RH. Injury prevention programs that include balance training exercises reduce ankle injury rates among soccer players: a systematic review. Journal of physiotherapy. 2022;68(3):165-173. [DOI:10.1016/j.jphys.2022.05.019] [PMID]

3. Salem R. The effect of a training program Using Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF) on the improvement the special physical abilities and numerical level for an 110Meter Hurdles Juniors. Assiut Journal of Sport Science and Arts. 2016;216(2):81-116. [DOI:10.21608/ajssa.2016.70522]

4. Acar H, Eler N. The Effect of Balance Exercises on Speed and Agility in Physical Education Lessons. Universal Journal of Educational Research. 2019;7(1):74-79. [DOI:10.13189/ujer.2019.070110]

5. Brachman A, Kamieniarz A, Michalska J, Pawłowski M, Słomka KJ, Juras G. Balance Training Programs in Athletes-A Systematic Review. Journal of Human Kinetics. 2017;1:58:45. [DOI:10.1515/hukin-2017-0088] [PMID]

6. Fort-Vanmeerhaeghe A, Romero-Rodriguez D, Lloyd RS, Kushner A, Myer GD. Integrative Neuromuscular Training in Youth Athletes. Part II: Strategies to Prevent Injuries and Improve Performance. Strength & Conditioning Journal. 2016;38(4):9-27. [DOI:10.1519/SSC.0000000000000234]

7. Kato K, Vogt T, Kanosue K. Brain Activity Underlying Muscle Relaxation. Frontiers in Physiology. 2019;10:1457. [DOI:10.3389/fphys.2019.01457] [PMID]

8. Latash ML. Muscle coactivation: Definitions, mechanisms, and functions. Journal of Neurophysiology. 2018;120(1):88-104. [DOI:10.1152/jn.00084.2018] [PMID]

9. Schwiete C, Roth C, Mester J, Broich H, Behringer M. Overlaps of Skeletal Muscle Fatigue and Skeletal Muscle Damage: The Muscle Injury Continuum. Sports Medicine - Open. 2025;11(1):73. [DOI:10.1186/s40798-025-00876-z] [PMID]

10. Kooroshfard N, Rahimi Z. The Effect of the Neuromuscular, Strength, and Combined Training on Balance and Performance in Female Basketball Players. Physical Treatments - Specific Physical Therapy. 2022;12(1):41-50. [DOI:10.32598/ptj.12.1.513.1]

11. Renaghan E, Wishon MJ, Wittels HL, Feigenbaum LA, Bellamy K, Hatfield M, Girardi J, Lee S, McDonald SM, Wittels SH. The effects of relaxation techniques following acute, high intensity football training on parasympathetic reactivation. Frontiers in Sports and Active Living. 2023;5:1267631. [DOI:10.3389/fspor.2023.1267631] [PMID]

12. Alsulaie J, Alghamdi M. Efficacy of proprioceptive neuromuscular facilitation on dynamic stability, athletic performance, and range of motion of the lower limb - A narrative review. Saudi Journal of Sports Medicine. 2021;21(1):1. [DOI:10.4103/sjsm.sjsm_6_21]

13. Marotta N, Moggio L, Calafiore D, Prestifilippo E, Spanó R, Tasselli A, Drago Ferrante V, Invernizzi M, de Sire A, Ammendolia A. Efficacy of Proprioceptive Training on Plantar Pressure and Jump Performance in Volleyball Players: A Proof-of-Principle Study. Sensors. 2023;23(4):1906. [DOI:10.3390/s23041906] [PMID]

14. Zandi F, Khodaveisi H. Comparison of electromyography activity of abdominal muscles and hamstrings in women with low back pain during different lifting positions. Journal of Sport Biomechanics. 2021;7(3):226-37. [DOI:10.32598/biomechanics.7.3.328.1]

15. 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):326-42. [DOI:10.61882/JSportBiomech.11.3.326]

16. Reddy SPS, Dr. C. ARUMUGAM DCA. Effect of Instructional And Skill Based Training on Selected Skill Performance Variables Among School Cricketer. International Journal of Scientific Research. 2012;3(5):517-518. [DOI:10.15373/22778179/MAY2014/167]

17. 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] [PMID]

18. Hug F, Tucker K. Surface electromyography to study muscle coordination. In: Handbook of Human Motion. 2018 (pp. 451-470). Springer, Cham. [DOI:10.1007/978-3-319-14418-4_184]

19. Wang J, Qin Z, Zhang Q, Wang J. Lower limb dynamic balance, strength, explosive power, agility, and injuries in volleyball players. Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2025;20(1):211. [DOI:10.1186/s13018-025-05566-w] [PMID]

20. Moiroux--Sahraoui A, Mazeas J, Gold M, Kakavas G, Forelli F. Neuromuscular Control Deficits After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Pilot Study Using Single-Leg Functional Tests and Electromyography. Journal of Functional Morphology and Kinesiology. 2025;10(1):98. [DOI:10.3390/jfmk10010098] [PMID]

21. Elrahim RMA, Embaby EA, Ali MF, Kamel RM. Inter-rater and intra-rater reliability of Kinovea software for measurement of shoulder range of motion. Bulletin of Faculty of Physical Therapy. 2016;21(2):80-87. [DOI:10.4103/1110-6611.196778]

22. Puig-Diví A, Escalona-Marfil C, Padullés-Riu JM, Busquets A, Padullés-Chando X, Marcos-Ruiz D. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. PLOS ONE. 2019;14(6):e0216448. [DOI:10.1371/journal.pone.0216448] [PMID]

23. Fernández-González P, Koutsou A, Cuesta-Gómez A, Carratalá-Tejada M, Miangolarra-Page JC, Molina-Rueda F. Reliability of Kinovea® Software and Agreement with a Three-Dimensional Motion System for Gait Analysis in Healthy Subjects. Sensors. 2020;20(11):3154. [DOI:10.3390/s20113154] [PMID]

24. Shishov N, Elabd K, Komisar V, Chong H, Robinovitch SN. Accuracy of Kinovea software in estimating body segment movements during falls captured on standard video: Effects of fall direction, camera perspective and video calibration technique. PLoS ONE. 2021;16:e0258923. [DOI:10.1371/journal.pone.0258923] [PMID]

25. Behm DG, Chaouachi A. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. European Journal of Applied Physiology. 2011;111(11):2633-51. [DOI:10.1007/s00421-011-1879-2] [PMID]

26. Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: Mechanisms and clinical implications. Sports Medicine. 2006;36(11):929-39. [DOI:10.2165/00007256-200636110-00002] [PMID]

27. Migliaccio GM, Russo L, Maric M, Padulo J. Sports Performance and Breathing Rate: What Is the Connection? A Narrative Review on Breathing Strategies. Sports. 2023;11(5):103. [DOI:10.3390/sports11050103] [PMID]

28. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star excursion balance test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. 2006;36(12):911-919. [DOI:10.2519/jospt.2006.2244] [PMID]

29. Payne VG, Isaacs LD. Human Motor Development: A Lifespan Approach, 10th Edition. Human Motor Development: A Lifespan Approach, 10th Edition. Routledge; 2020. [DOI:10.4324/9780429327568]

30. Souza GT De, Souza GT De. Impact of Age , practice time , time on the team and gender on self-efficacy of volleyball athletes . Palavras-chave. Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación. 2025(69):240-9. [DOI:10.47197/retos.v69.113299]

31. Dhaliwal M. Investigating visual and motor influences on action prediction of a volleyball set action. (Doctoral dissertation, University of British Columbia). 2025.

32. Duchene Y, Gauchard GC, Mornieux G. Influence of sidestepping expertise and core stability on knee joint loading during change of direction. Journal of Sports Sciences. 2022;40(9):959-967. [DOI:10.1080/02640414.2022.2042980] [PMID]

33. Stanković M, Čaprić I, Katanić B, Špirtović O, Maljanović D, Nailović H, Muković I, Jelaska I, Trajković N. Proprioceptive training methods (PTM) in female soccer players - a systematic review. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. 2024;16(1):101. [DOI:10.1186/s13102-024-00892-8] [PMID]

34. Francavilla VC, Messina G, Mingrino O, Parisi MC, Di Corrado D. Effects of a Specific Proprioceptive Training Program on Injury Prevention and Stress in Basketball Players: A Pilot Study. Journal of Functional Morphology and Kinesiology. 2025;10(2):226. [DOI:10.3390/jfmk10020226] [PMID]

35. Yılmaz O, Soylu Y, Erkmen N, Kaplan T, Batalik L. Effects of proprioceptive training on sports performance: a systematic review. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. 2024;16(1):149. [DOI:10.1186/s13102-024-00936-z] [PMID]

36. Ali IO, Has SK. The effect of specific exercises using a balance ball to develop dynamic balance and learn the skills of dribbling and scoring in basketball for female students. Modern Sport. 2023;22(4):131-142.

37. Eraslan M, Gürkan AC, Aydın S, Şahin M, Çelik S, Söyler M, Altuğ T, Mülhim MA. The Effect of Proprioceptive Training on Technical Soccer Skills in Youth Professional Soccer. Medicina (Lithuania). 2025;61(2):252. [DOI:10.3390/medicina61020252] [PMID]

38. Somerset D, Pope D. Rock Solid Resilience: An Evidence-Based Guide to Preventing Injury, Optimizing Strength, and Enhancing Performance. Human Kinetics; 2025.

39. Kawaharazuka K, Ribayashi Y, Miki A, Toshimitsu Y, Suzuki T, Okada K, Inaba M. Learning of Balance Controller Considering Changes in Body State for Musculoskeletal Humanoids. In2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2022 Oct 23 (pp. 5809-5816). IEEE. [DOI:10.1109/IROS47612.2022.9981051]

40. Bahrami F, Langeroudi MS. Comparison of the Effects of Core Stability and Trampoline Exercises on Static and Dynamic Balance, and Ankle Proprioception in Female Volleyball Players with Chronic Ankle Instability. Journal of Sport Biomechanics. 2023;9(2):140-154. [DOI:10.61186/JSportBiomech.9.2.140]

41. Barbu D, Stoica D. Increasing the execution speed of offensive and defensive tactical actions in the football game at the time of transition. Journal of Sport and Kinetic Movement 2020;36(36):5.

42. Abdulghani LY, Abdulghani MY, Abdulkareem OW. Designing a palm pressure measurement device to improve motor coordination in freestyle swimming among female students. Journal of Physical Education and Sport. 2025;25(7):1506-13.

43. Muttib F, Hamzah M, Fadhel M. Psychological Toughness and its Relationship to Some Coordination, Physical Abilities and Accuracy of Some Basic Skills Performance Among the Iraqi Junior National Handball Team Players. International Journal of Disabilities Sports and Health Sciences. 2024;330-336. [DOI:10.33438/ijdshs.1436061]