Journal of
Sport Biomechanics

Winter 2027. Vol 12. Issue 4

Research Paper

Effects of Ladder Drill Training and Plyometric Training on Planned Change-of-Direction Performance in Sub-Elite Badminton Players: A Two-Arm, Parallel-Group Randomized Active-Comparator Trial

Anusheela R.N[1], **Dhanusia S***[1], **Suriya N**[1], **Priyadharshini Kumar**[1], **Vanitha Jayaraj**[1], **Prathap Suganthirababu**[1, 2]

1. Saveetha College of Physiotherapy, Saveetha Institute of Medical and Technical Sciences, Chennai, Tamil Nadu, India.

2. Department of Physiotherapy, College of Pharmacy and Health Sciences, Center of Medical and Bio-Allied Health Sciences Research, Ajman University, Ajman, United Arab Emirates.

Scan to read online

Citation: R.N A, S D, N S, Kumar P, Jayaraj V, Suganthirababu P. Effects of Ladder Drill Training and Plyometric Training on Planned Change-of-Direction Performance in Sub-Elite Badminton Players: A Two-Arm, Parallel-Group Randomized Active-Comparator Trial. Journal of Sport Biomechanics. 2027;12(4):946–984. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.4.946

Article Info:

Received: 25 July 2026

Accepted: 11 November 2026

Published: 21 November 2026

Keywords:

Racquet Sports; Athletes; Plyometric Exercise; Exercise; Physical Fitness.

ABSTRACT

Objective To compare the effects of ladder drill training and plyometric training on planned change-of-direction performance in sub-elite badminton players.

Methods In this two-arm, parallel-group randomized active-comparator trial, 52 sub-elite badminton players aged 18–30 years were randomly assigned to ladder drill training (n = 26) or plyometric training (n = 26). Both groups trained three times weekly for six weeks alongside regular badminton practice. Performance was assessed before and after training using the Modified Agility T-test (MAT) and 505 Agility Test.

Results Both groups demonstrated reduced completion times on the MAT and 505 Agility Test. ANCOVA revealed significantly lower adjusted post-intervention completion times in the ladder drill group than in the plyometric group for both the MAT ($p = 0.011$) and 505 Agility Test ($p < 0.001$).

Conclusion Both training approaches were associated with improved planned change-of-direction performance, with ladder drill training producing greater improvements. However, these findings cannot be generalized to reactive agility or sport-specific decision-making. The absence of a regular-training-only control group also prevents ruling out test–retest learning effects and changes over time.

*** Corresponding Author:**

Dhanusia S

dhanusiasuresh1798@gmail.com

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, adaptation, and reproduction in any medium or format, provided the original author(s) and the source are credited.

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

Introduction

Badminton is one of the most widely played racket sports worldwide. The Badminton World Federation (BWF) estimates that approximately 200 million people participate in badminton recreationally, while more than 7,000 players compete annually in national and international tournaments (1). The sport is played across all age groups and competitive levels and is recognized as one of the fastest racket sports, requiring rapid decision-making, precise motor control, and a high level of physical fitness (2, 3). It is characterized by repeated high-intensity movements, including jumping, lunging, rapid acceleration and deceleration, multidirectional changes of direction, and explosive upper-limb actions (4-7). Match-play analyses have demonstrated that badminton consists of short, high-intensity rallies alternating with short recovery periods, imposing considerable demands on both aerobic and anaerobic energy metabolism (8-10). Consequently, successful badminton performance relies on multiple performance-related attributes, including muscular strength, power, speed, coordination, endurance, flexibility, balance, stability, change-of-direction ability, and neuromuscular control (11-14). Change-of-direction (COD) performance is an important physical demand in badminton, involving rapid deceleration and subsequent acceleration in a different direction during court movements (15, 16).

Given the importance of change of direction performance in badminton, specific training approaches are required to develop the footwork, movement speed, and lower-limb power needed for efficient court movement. Ladder drill training, an integral component of Speed, Agility, and Quickness (SAQ) training, is commonly used to develop footwork and movement speed, which are important components of planned change of direction performance in badminton players (17, 18). It requires athletes to perform rapid and precise footwork patterns using an agility ladder while maintaining coordination, balance, concentration, and postural control (19). The drills can be progressively advanced from simple to complex movement patterns, placing increasing demands on neuromotor coordination, which is considered important for rapidly performing complex motor tasks in fast-action sports (20). Common ladder drill variations, including the in-out shuffle, zig-zag crossover, side shuffle, one-foot-in-each, two-feet-in-each, and Ali shuffle, are incorporated into training programmes targeting footwork, movement speed, lower-limb coordination, and planned change of direction performance (21-23). Through repeated practice of multidirectional footwork patterns, ladder drill training may improve neuromuscular coordination, foot speed, movement precision, and movement efficiency, potentially contributing to better performance during planned change of direction tasks (17, 23). From a biomechanical perspective, ladder drills involve rapid foot-placement patterns, frequent steps, quick adjustments during ground contact, and coordinated movements in different directions. These drills require athletes to control foot placement accurately and reposition the lower limbs rapidly from one step to the next (24). In comparison, plyometric exercises involve rapid eccentric and concentric muscle actions through the stretch–shortening cycle (25), promoting rapid force generation, rate of force development (26), and the production of vertical or lateral ground forces depending on the exercise (27). Therefore, although both training methods may improve physical performance attributes relevant to planned change of direction tasks, they provide different training stimuli. Ladder drills primarily emphasize rapid footwork, coordination, and movement control, whereas plyometric exercises place greater emphasis on reactive force production and explosive power. These differences in training characteristics may influence their respective effects on planned change of direction performance.

Plyometric training is another widely employed conditioning strategy for improving physical performance attributes relevant to change of direction performance in badminton. It consists of explosive body-weight exercises that utilize the stretch-shortening cycle, in which a rapid eccentric action is followed immediately by a forceful concentric contraction, thereby increasing force production and movement efficiency (28, 29). Previous studies have reported beneficial effects of plyometric training on agility, speed, muscular power, coordination, landing mechanics, lower-limb neuromuscular function, and change of direction performance across various athletic populations

(30-33). Commonly used plyometric exercises include squat jumps, depth jumps, tuck jumps, bounding drills, lateral hopping exercises, and sport-specific jump drills that closely replicate the movement demands of badminton (34). These exercises enable players to accelerate, decelerate, change direction rapidly, generate explosive power for jumping and stroke execution, and improve dynamic balance which are relevant to the physical demands of badminton (34-38). Evidence also suggests that systematic plyometric training enhances physical preparedness and may contribute to reducing lower-limb injury incidence in athletic populations (31, 39).

The potential transfer of adaptations from a training intervention to a performance outcome can be considered according to the principle of training specificity, whereby the characteristics of the training stimulus influence the nature and extent of its transfer to subsequent performance tasks (40-42). This principle provides a theoretical framework for considering whether the movement characteristics and mechanical demands practiced during training are sufficiently related to those required during performance testing to facilitate transfer. In the present study, ladder drills repeatedly involve rapid foot-placement sequences and multidirectional stepping, whereas the Modified Agility t-test (MAT) and 505 Agility Test require rapid movement and planned changes of direction (43, 44). The similarity between ladder-based footwork and the movement patterns involved in these tests may provide a rationale for improvements in planned COD performance following ladder drill training. However, sharp directional changes also place substantial demands on the lower limbs, requiring rapid deceleration, controlled absorption of braking forces through eccentric muscle actions, and subsequent force generation to accelerate in a different direction. These mechanical requirements may not be fully addressed through the rapid foot-placement sequences emphasized in ladder drills. Plyometric training may offer a complementary approach by developing the capacity to absorb and generate force during dynamic movements. Therefore, although movement specificity provides a theoretical basis for the potential benefits of ladder drills, the relative effects of ladder drill and plyometric training on planned COD performance remain an empirical question investigated in the present randomized controlled trial.

Previous research has investigated various training approaches to improve speed, agility, and change of direction related performance in badminton players. Chandrakumar and Ramesh (17) reported improvements in speed and agility following ladder-drill and speed, agility, and quickness (SAQ) training among sports-club badminton players. Other studies have examined different ladder-drill variations and agility-oriented training approaches in badminton players (22, 23). However, these investigations primarily evaluated broader agility and physical-performance outcomes rather than specifically examining pre-planned change of direction performance. Furthermore, a study combining ladder drills with plyometric exercises and multidirectional speed drills reported improvements in change of direction performance among young female volleyball players, although the combined intervention did not allow the independent contribution of each training component to be established (21). Plyometric-based training has also been investigated among badminton players, with reported improvements in agility, dynamic postural control, and change of direction performance (34, 45, 46). Evidence from other team-sport populations has also demonstrated improvements in change of direction speed following multidirectional plyometric training (33). A comparative study evaluating plyometric and SAQ training in amateur badminton players reported improvements in agility and speed following both approaches, although significant between-group differences were not observed for these outcomes (36). Nevertheless, SAQ training incorporates a broader range of exercises and cannot be considered equivalent to an intervention consisting exclusively of ladder drills. Thus, although previous studies provide evidence supporting both ladder-based and plyometric training among badminton players, their comparative effects as separate interventions on pre-planned change of direction performance remain insufficiently established. In particular, evidence directly comparing ladder-drill training and plyometric training using specific pre-planned change of direction tests among sub-elite badminton players is limited. The Modified Agility t-test (MAT) and 505 Agility Test assess planned directional movement through

different movement sequences and turning demands. Therefore, the present randomized controlled trial aimed to compare the effects of six weeks of ladder-drill training and plyometric training on pre-planned change of direction performance, assessed using the MAT and 505 Agility Test, in sub-elite badminton players. The primary hypothesis was that both interventions would reduce completion times on both tests. The secondary directional hypothesis was that ladder-drill training would produce greater reductions in completion times than plyometric training, based on the movement similarity between ladder-based footwork and the planned change of direction demands represented by these tests.

Methods

Study Design and Participants

A two-arm, parallel-group, active-comparator randomized controlled trial was conducted at Nothing But Net Badminton Academy, Chennai, India, to compare the effects of ladder drill training and plyometric training on planned change-of-direction performance in sub-elite badminton players. Both groups continued their regular badminton practice alongside their assigned interventions. As no non-intervention or regular-training-only control group was included, the study was designed to compare the relative effects of the two training approaches rather than determine their effectiveness compared with regular training alone.

Participants were recruited from the academy using convenience sampling. The sampling frame consisted of actively training sub-elite badminton players who were available during the recruitment period and met the prespecified eligibility criteria. Recruitment was conducted from November 2025 to January 2026, and the final post-intervention assessment was completed in March 2026.

The study protocol was finalized and approved by the Institutional Scientific Review Board of Saveetha College of Physiotherapy (Approval No. 005/10/2025/ISRB/UGSR/SCPT) before recruitment commenced. An active-comparator design was adopted to allow all participants to continue their regular badminton practice while receiving a structured exercise intervention. Athletes and members of the public were not involved in the design, conduct, analysis, interpretation, or reporting of the trial. The study was not prospectively registered in a public clinical trial registry. Initially, 60 sub-elite badminton players were screened, of whom 52 met the eligibility criteria and were included in the study (Fig. 1).

The sample size was calculated using G*Power software (version 3.1) based on a two-tailed independent-samples t-test, with an alpha level of 0.05, statistical power of 0.80, and an anticipated effect size of Cohen's d = 0.80. The selection of a large anticipated effect size was informed by previous badminton-specific and sports-training studies that used similar assumptions for sample-size determination (47, 48). The calculated sample size was 52 participants, with 26 allocated to each intervention group.

The original sample-size calculation was based on a between-group comparison using an independent-samples t-test, consistent with the initially planned statistical analysis involving paired and independent t-tests. Following commencement of the study, the analysis plan was revised to use separate analyses of covariance (ANCOVA), comparing post-intervention scores between groups while adjusting for the corresponding baseline values. This approach was adopted to account for potential baseline differences. The original sample-size calculation was retained, and no separate a priori calculation based on the revised ANCOVA model was performed. No changes were made to the outcome measures, and no additional participants were recruited to account for anticipated attrition. No interim analyses or formal stopping guidelines were specified. Eight of the 60 screened players were excluded before randomization because they did not meet the eligibility criteria. All 52 randomized participants completed the study and were included in the final analysis. The primary

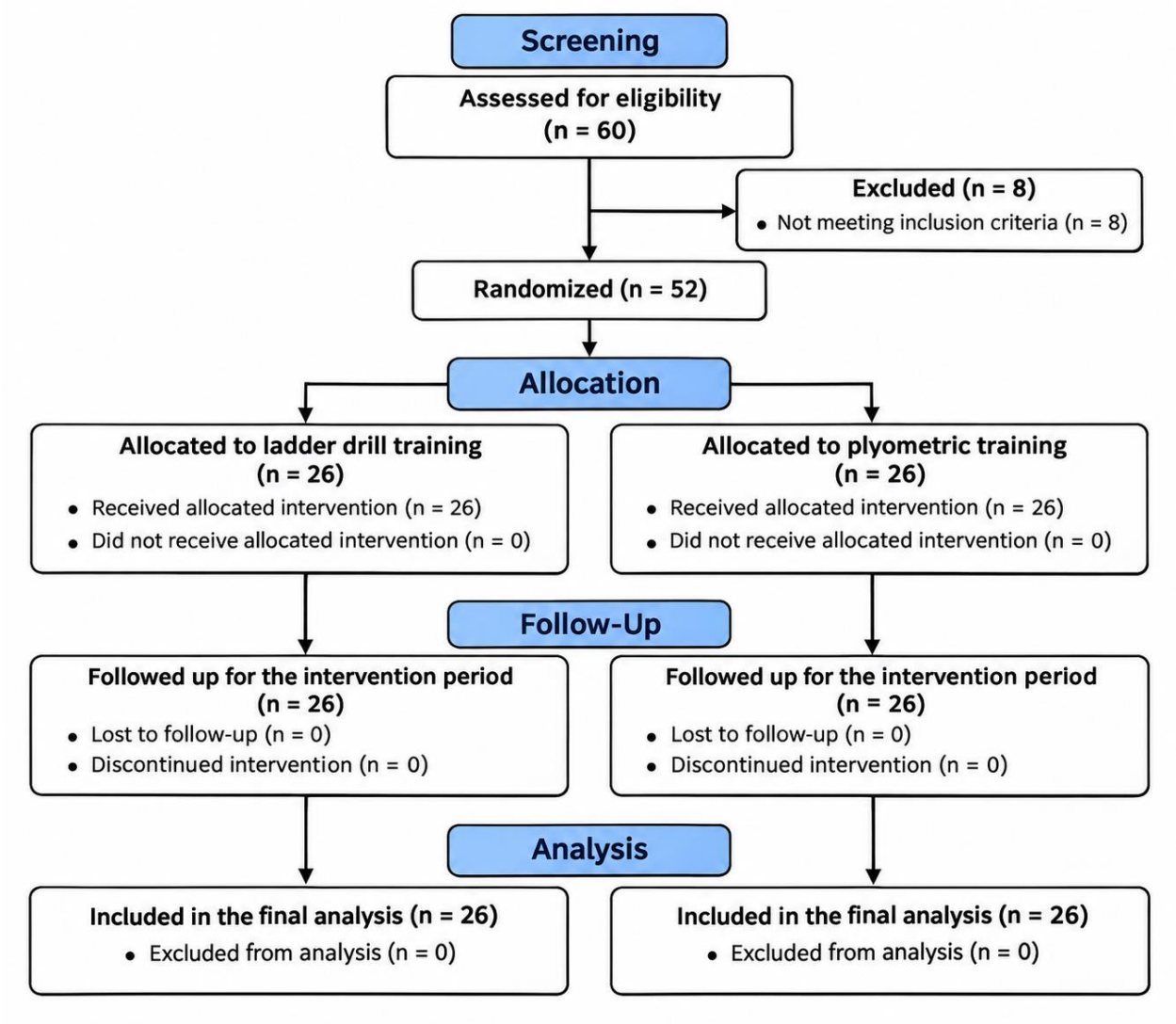


Fig. 1. CONSORT Flowchart

outcome was planned change-of-direction performance, assessed using the Modified Agility T-test (MAT) and 505 Agility Test.

The principal investigator conducted participant screening and enrolment. Group allocation was performed after completion of the baseline assessment. An independent researcher, who was not involved in recruitment, intervention delivery, outcome assessment, or data analysis, generated the random allocation sequence using a physical lottery procedure. Equal numbers of slips marked "A" and "B," representing ladder drill training and plyometric training, respectively, were placed in an opaque container, thoroughly mixed, and drawn individually. The order of the drawn slips determined the allocation sequence.

The independent researcher documented the sequence and prepared sequentially numbered, opaque, sealed envelopes (SNOSE) containing the corresponding group assignments. A second independent researcher managed allocation concealment and opened the envelopes sequentially only after each eligible participant had completed enrolment and baseline assessment. Thus, the principal investigator had no access to the allocation sequence or upcoming assignments before

baseline assessment. This separation of sequence generation and allocation concealment was intended to minimize selection and allocation bias.

Because of the nature of the exercise interventions, participants and the supervising physiotherapist could not be blinded. However, the assessor conducting the MAT and 505 Agility Test was blinded to group allocation to minimize detection bias.

Sub-elite badminton players of either sex, aged 18–30 years, were eligible if they had at least six months of continuous badminton training experience, participated in structured training at least three times per week, and actively competed in district- or state-level badminton competitions. Sub-elite players were defined as regularly trained competitive athletes participating in academy-level training and district- or state-level competitions but not competing at the national or international elite level. Participants were also required to have medical clearance for moderate- to high-intensity physical activity. Baseline demographic and training characteristics, including age, sex, height, weight, body mass index (BMI), weekly training frequency, and dominant lower limb, are presented in Table 1. Exclusion criteria included lower-limb surgery, fracture, or major injury within the preceding six months; current musculoskeletal pain or injury involving the lower limbs or spine; neurological or balance disorders affecting movement performance; medical conditions contraindicating moderate- to high-intensity exercise; and participation in a structured ladder drill or plyometric training program during the previous three months.

Procedure

All participants completed a six-week supervised training program consisting of three sessions per week, with each session lasting approximately 40–45 minutes, in addition to their regular badminton practice. Regular badminton training was standardized across both groups at approximately two hours per day, five days per week (approximately 10 hours per week). Participants were instructed to maintain this schedule throughout the intervention to minimize differences in background training exposure. Each intervention session consisted of a 10-minute warm-up, 25–30 minutes of intervention-specific exercises, and a 5-minute cool-down. Both interventions were delivered by the same licensed physiotherapist according to the standardized protocols presented in Table 2. The physiotherapist supervised exercise execution, monitored movement technique and landing mechanics, ensured adherence to the prescribed progression, and monitored participants for pain, discomfort, or adverse events.

Table 1. Baseline Characteristics

Baseline Characteristics	Group A: Ladder Drill Training (n = 26)	Group B: Plyometric Training (n = 26)	p-value
Age (years)	22.46 ± 2.71	22.81 ± 2.58	0.64
Height (cm)	168.04 ± 7.21	167.62 ± 6.84	0.82
Weight (kg)	62.72 ± 8.13	63.31 ± 7.86	0.79
BMI (kg/m^2)	22.18 ± 2.43	22.54 ± 2.29	0.59
Years of experience	1.13 ± 0.37	1.17 ± 0.38	0.70
Modified Agility T-Test	10.37 ± 0.35	10.33 ± 0.29	0.66
505 Agility Test	2.74 ± 0.11	2.72 ± 0.10	0.50
Sex, n (%)			0.78
Male	15 (57.7%)	14 (53.8%)	
Female	11 (42.3%)	12 (46.2%)	
Weekly training frequency (days/week)	4.35 ± 0.75	4.42 ± 0.70	0.73
Dominant lower limb, n (%)			0.64
Right	23 (88.5%)	24 (92.3%)	
Left	3 (11.5%)	2 (7.7%)	

Note: Data are presented as mean ± standard deviation (SD) or frequency (%). p-values represent between-group comparisons at baseline. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Table 2. Six-week ladder drill and plyometric training protocols

Intervention	Exercise Description	Training Progression (sets × repetitions)	Rest Interval
Group A – Ladder Drill Training			
Single-Foot Run	From a standing position at the start of the agility ladder, participants rapidly stepped through each ladder space using alternating single-foot contacts, progressing forward along the entire ladder while maintaining an upright posture and accurate foot placement.	Weeks 1–2: 2 × 3 Weeks 3–4: 3 × 3 Weeks 5–6: 4 × 3	60 s
Double-Foot Run	From the start of the ladder, participants placed both feet sequentially inside each ladder space before advancing to the next space, progressing forward with rapid and rhythmical bilateral foot movements.	Weeks 1–2: 2 × 3 Weeks 3–4: 3 × 3 Weeks 5–6: 4 × 3	60 s
In–In–Out-Out Drill	Participants progressed forward through the ladder by placing both feet inside a ladder space followed by both feet outside the ladder, repeating the pattern through successive spaces with rapid and coordinated foot movements.	Weeks 1–2: 2 × 3 Weeks 3–4: 3 × 3 Weeks 5–6: 4 × 3	60 s
Carioca Drill	Participants performed a lateral crossover stepping pattern along the length of the ladder, alternately crossing one leg in front of and behind the other while progressing laterally and maintaining coordinated trunk and lower-limb movement.	Weeks 1–2: 2 × 3 Weeks 3–4: 3 × 3 Weeks 5–6: 4 × 3	60 s
Icky Shuffle Drill	Participants performed a rapid lateral stepping sequence in which one foot entered the ladder space while the other foot remained outside, followed by repositioning of both feet before advancing to the next space.	Weeks 1–2: 2 × 3 Weeks 3–4: 3 × 3 Weeks 5–6: 4 × 3	60 s
Group B – Plyometric Training			
Squat Jump	From a standing position, participants lowered into a squat and immediately performed a maximal vertical jump, followed by a controlled landing and return to the starting position.	Weeks 1–2: 2 × 10 Weeks 3–4: 3 × 10 Weeks 5–6: 3 × 12	60 s
Split Squat Jump	From a split-stance position, participants performed an explosive vertical jump and landed in a controlled split stance, alternating the lead leg as prescribed while maintaining lower-limb alignment.	Weeks 1–2: 2 × 10 Weeks 3–4: 3 × 10 Weeks 5–6: 3 × 12	60 s
Lateral Bound (Skater Jump)	From a single-leg stance, participants performed an explosive lateral bound and landed on the opposite limb, stabilizing the landing before performing the subsequent movement.	Weeks 1–2: 2 × 10 Weeks 3–4: 3 × 10 Weeks 5–6: 3 × 12	60 s
Lateral Cone Hop	Participants performed repeated rapid lateral hops over a cone, taking off and landing from side to side while maintaining controlled lower-limb alignment and balance.	Weeks 1–2: 2 × 10 Weeks 3–4: 3 × 10 Weeks 5–6: 3 × 12	60 s
Single-Leg Hop	From a single-leg stance, participants performed repeated explosive hops while maintaining balance and controlled landings on the same limb before continuing the prescribed hopping sequence.	Weeks 1–2: 2 × 10 Weeks 3–4: 3 × 10 Weeks 5–6: 3 × 12	60 s

The two groups trained separately under direct supervision to minimize intervention contamination. Participants were instructed not to perform exercises assigned to the alternative group or exchange training techniques during the intervention period. Both groups followed the same session frequency, approximate duration, warm-up and cool-down procedures, and standardized 60-second rest intervals between sets and exercises. Exercise intensity during supervised sessions was monitored individually using a 0–10 rating of perceived exertion (RPE) scale. However, RPE was not recorded during regular badminton practice, and the associated internal training load and cumulative fatigue could not be quantified. Furthermore, external mechanical workload was not directly matched between interventions because ladder drills and plyometric exercises differed in movement characteristics, repetitions, and mechanical demands. Therefore, potential differences in exercise-specific loading could not be completely excluded.

Group A – Ladder Drill Training

The 10-minute warm-up consisted of 2–3 minutes of light jogging followed by approximately 7–8 minutes of dynamic stretching targeting the major lower-limb muscle groups, including the hip flexors, quadriceps, hamstrings, gluteal muscles, gastrocnemius–soleus complex, and ankle musculature. The ladder drill training program consisted of five exercises: Single-Foot Run, Double-Foot Run, In–In–Out–Out Drill, Carioca Drill, and Icky Shuffle Drill. These exercises were selected to emphasize rapid stepping, foot-placement accuracy, neuromuscular coordination, dynamic balance, and multidirectional movement relevant to badminton footwork. Representative images of selected exercises are presented in Fig. 2. Participants were instructed to perform each drill as rapidly as possible while maintaining correct movement technique, body alignment, and accurate foot placement. Training was progressively increased by adjusting the number of repetitions or ladder traversals over the six-week intervention while maintaining exercise quality and participant safety. One repetition was defined as one complete traversal of the agility ladder. A standardized 60-second rest interval was provided between sets and exercises. The detailed training progression is presented in Table 2. The 5-minute cool-down consisted of low-intensity walking followed by static stretching of the quadriceps, hamstrings, gastrocnemius, soleus, hip flexors, hip adductors, gluteal muscles, and lower back. Each stretch was maintained for approximately 20–30 seconds.

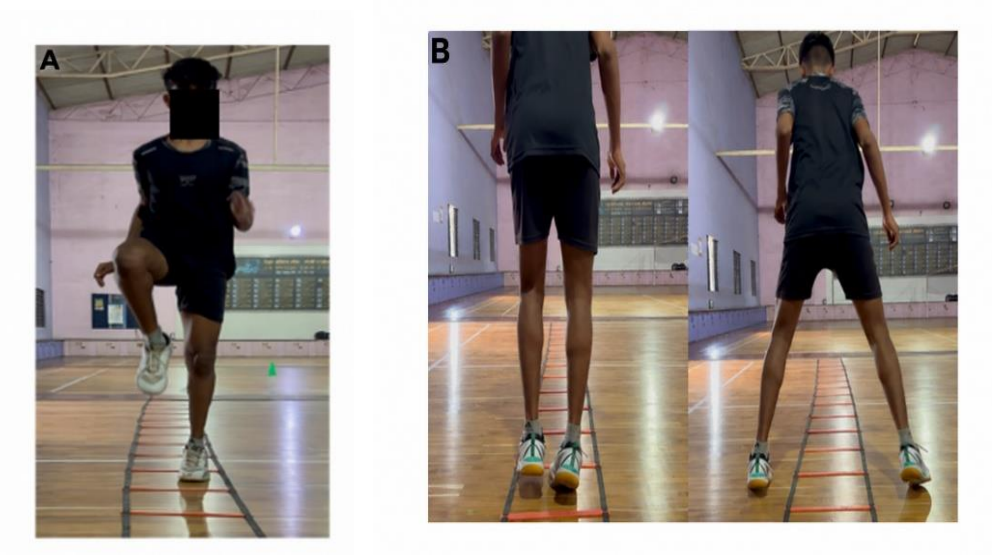


Fig. 2. Representative ladder drill exercises: (A) Single-Foot Run and (B) In–In–Out–Out Drill

Group B – Plyometric Training

The warm-up and cool-down procedures were identical to those used in the ladder drill group.

The plyometric training program consisted of five exercises: Squat Jump, Split Squat Jump, Lateral Bound (Skater Jump), Lateral Cone Hop, and Single-Leg Hop. These exercises were selected to target lower-limb explosive power, reactive force production, dynamic stability, neuromuscular control, and multidirectional force production. Representative images of selected exercises are shown in Fig. 3. Participants were instructed to perform each repetition with maximal intended effort while maintaining appropriate landing mechanics, lower-limb alignment, and movement control. Training volume was progressively increased over the six-week intervention while maintaining exercise quality and participant safety. One repetition was defined as one complete execution of the prescribed jumping or hopping movement. A standardized 60-second rest interval was provided between sets and exercises. The detailed plyometric training progression is presented in Table 2.

Training Attendance, Adherence, and Protocol Modifications

Both groups were scheduled to complete three supervised sessions per week for six weeks, resulting in 18 prescribed sessions per participant. Attendance was recorded throughout the intervention using an attendance register. Participants received WhatsApp reminders approximately 24 hours and two hours before scheduled sessions. Flexible session timings and make-up sessions within the same week were offered when necessary to maintain the prescribed training frequency. Participants also provided written commitments to complete the intervention. Session RPE was recorded after each supervised training session. Session training load (sRPE) was calculated by multiplying the RPE score by the session duration (45 minutes). Mean session RPE was 4.03 ± 0.29 in the ladder drill group and 4.00 ± 0.27 in the plyometric group. The corresponding mean session training loads were 181.35 ± 12.91 and 179.81 ± 12.16 arbitrary units (AU), respectively, with no statistically significant between-group difference ($p = 0.660$). All 52 participants completed the 18 prescribed intervention sessions, resulting in 100% completion of the prescribed intervention dose, with no withdrawals. No exercise substitutions, modifications, or reductions in the prescribed training programs were required. Exercise-specific training volume differed between groups because of the distinct characteristics of the interventions. In the ladder drill group, each exercise progressed from 2 × 3 traversals during Weeks 1–2 to 3 × 3 traversals during Weeks 3–4 and 4 × 3 traversals during Weeks 5–6. In the plyometric group, each exercise progressed from 2 × 10 repetitions during Weeks 1–2 to 3 × 10 repetitions during Weeks 3–4 and 3 × 12 repetitions during Weeks 5–6 (Table 2). Traversal and repetition counts were specific to each exercise type and were not considered equivalent measures of mechanical workload. Because individual exercise-bout durations were not recorded, numerical work-to-rest ratios could not be calculated. Thus, although session structure and rest intervals were standardized, differences in external mechanical loading may have contributed to the observed between-group differences. Participants were instructed to report any pain, discomfort, or adverse events immediately. All sessions were monitored for protocol adherence, correct exercise execution, and participant safety. No adverse events or training-related injuries were reported during the study.



Fig. 3. Representative plyometric exercises: (A) Squat Jump and (B) Lateral Bound (Skater Jump).

Outcome Measures

Outcome assessments were conducted at baseline and immediately after the six-week intervention by the same assessor under standardized conditions. The MAT and 505 Agility Test were used to evaluate planned change-of-direction performance. Both tests involved predetermined movement patterns without unpredictable external stimuli and therefore did not assess reactive agility. The MAT was performed first, followed by the 505 Agility Test, with a three-minute recovery period between tests. The testing order and recovery period were identical for all participants. Before the recorded trials, participants completed one or two familiarization attempts for each test at submaximal effort, followed by recorded trials performed with maximal intended effort. Completion times were measured manually using a Casio HS-80TW-1DF digital stopwatch (Casio Computer Co., Ltd., Japan). Although the stopwatch had millisecond display capability, times were recorded to the nearest 0.01 s because timing was manually initiated and stopped. Electronic timing gates were unavailable at the study site. The same assessor, stopwatch, and timing procedure were used throughout the study to maintain procedural consistency. Manual timing is susceptible to operator reaction-time error and may provide lower measurement precision than electronic timing gates. This limitation is particularly relevant when interpreting the relatively small between-group differences in change observed for the MAT (0.23 s) and 505 Agility Test (0.13 s). Although standardized procedures were used, the possibility that manual timing error influenced these differences cannot be excluded. Therefore, the results should be interpreted cautiously, and future studies should employ electronic timing gates to improve measurement precision.

Modified Agility T-test

The MAT was performed on a T-shaped course. The distance from the starting line to the central cone was 5 m, with 2.5 m between the central cone and each lateral cone and 5 m between the central and rear cones. Participants began in a standing position with both feet behind the starting line. On the start signal, they moved forward to the central cone, completed the prescribed lateral and backward movements, and returned through the finish line. After one or two familiarization attempts, participants completed three recorded trials at maximal intended effort, with a three-minute rest period between trials. The fastest trial was used for statistical analysis. Lower completion times indicated better planned change-of-direction performance.

505 Agility Test

The 505 Agility Test was performed using a 10-m approach distance to the timing point. Participants accelerated through the approach, crossed the timing point, continued for 5 m to the turning line, performed a 180° turn, and returned through the timing point. Each participant used their preferred turning limb, and the same limb and turning direction were maintained across all recorded trials. Only one turning direction was assessed; therefore, bilateral turning performance was not evaluated. Following one or two familiarization attempts, participants completed three recorded trials at maximal intended effort, with a three-minute rest period between trials. The fastest completion time was used for statistical analysis. Lower completion times indicated better planned change-of-direction performance.

Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics for Windows, version 29.0. Descriptive data were expressed as mean ± standard deviation (SD). The Shapiro–Wilk test was used to assess normality. As the data showed no statistically significant departures from normality ($p > 0.05$), parametric statistical methods were applied. Separate analyses of covariance (ANCOVA) were performed for the MAT and 505 Agility Test to compare post-intervention completion times between the ladder drill and plyometric training groups, with the corresponding baseline values included as covariates. This approach adjusted for baseline scores when estimating between-group differences in post-intervention performance. Levene's test was used to assess the homogeneity of error variances. Results were reported as adjusted means, standard errors (SE), 95% confidence intervals

(CI), F-statistics, p-values, and partial eta squared (η^2p). Bonferroni adjustment was applied to pairwise comparisons of estimated marginal means. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Between-group effect sizes were calculated using Cohen's d, defined as the difference in mean change scores between groups divided by the pooled standard deviation of change scores. Change scores were calculated by subtracting post-intervention values from pre-intervention values:

d = (Mean change in ladder drill group − Mean change in plyometric group) / Pooled standard deviation of change scores

Intra-session reliability of the three repeated trials was assessed using the intraclass correlation coefficient (ICC). A two-way mixed-effects, single-measure model [ICC (3,1)] was used, and the standard error of measurement (SEM) was calculated to quantify absolute measurement error.

Results

A total of 52 participants completed the study, with 26 participants allocated to each intervention group. The baseline characteristics of the participants are presented in Table 1. The ladder drill and plyometric training groups were comparable at baseline, with no statistically significant between-group differences in participant characteristics or baseline measurements ($p > 0.05$). Intra-session reliability was assessed using the three repeated trials obtained during the pre-intervention assessment. The intraclass correlation coefficient (ICC [3,1]) was 0.990 (95% CI: 0.984–0.994) for the Modified Agility t-test and 0.907 (95% CI: 0.858–0.942) for the 505 Agility Test. The corresponding standard error of measurement (SEM) values were 0.032 s for both tests.

Pre- and post-intervention pre planned change of direction performance values are presented in Table 3. In the ladder drill training group, Modified Agility t-test completion time decreased from 10.37 ± 0.35 s at baseline to 9.71 ± 0.29 s after six weeks, representing a mean reduction of 0.66 s (95% CI: 0.48-0.83). In the plyometric training group, completion time decreased from 10.33 ± 0.29 s to 9.90 ± 0.24 s, representing a mean reduction of 0.43 s (95% CI: 0.28-0.57). Similarly, 505 Agility Test completion time decreased from 2.74 ± 0.11 s to 2.44 ± 0.09 s in the ladder drill training group and from 2.72 ± 0.10 s to 2.56 ± 0.08 s in the plyometric training group, corresponding to mean reductions of 0.29 s (95% CI: 0.22-0.36) and 0.16 s (95% CI: 0.10-0.21), respectively. The between-group differences in mean change favoured ladder drill training for both the Modified Agility t-test (0.23 s, 95% CI: 0.01–0.45) and the 505 Agility Test (0.13 s, 95% CI: 0.05–0.22). The corresponding effect sizes were Cohen's d = 0.58 and 0.89, respectively.

Separate analyses of covariance (ANCOVA) were performed to compare post-intervention pre planned change of direction performance between the groups, adjusting for the corresponding baseline scores. As presented in Table 4, the adjusted post-intervention mean completion time for the Modified Agility t-test was 9.706 ± 0.053 s in the ladder drill training group and 9.902 ± 0.053 s in the plyometric training group Fig. 4. The between-group difference was statistically significant (adjusted mean difference = −0.196 s, 95% CI: −0.346 to −0.046; $F(1,49) = 6.907$, $p = 0.011$, partial $\eta^2 = 0.124$), favouring ladder drill training. Similarly, for the 505 Agility Test, the adjusted post-intervention mean completion time was 2.444 ± 0.017 s in the ladder drill training group and 2.558 ± 0.017 s in the plyometric training group Fig. 5. This difference was also statistically significant (adjusted mean difference = −0.114 s, 95% CI: −0.162 to −0.065; $F(1,49) = 22.282$, $p < 0.001$, partial $\eta^2 = 0.313$), favouring ladder drill training. The standard error of measurement (SEM) was calculated to quantify absolute measurement error. The minimal detectable change at the 95% confidence level (MDC95) was calculated using the formula $MDC95 = SEM \times 1.96 \times \sqrt{2}$. Based on the observed SEM of 0.032 seconds for both outcome measures, the corresponding MDC95 was 0.089 seconds. The MDC95 was used to contextualize the magnitude of observed changes relative to measurement error. The observed within-group reductions in completion time exceeded the calculated MDC95. However, the MDC95 represents an individual-level measurement threshold and should not be interpreted as direct evidence that the between-group differences exceed measurement error.

Table 3. Descriptive Statistics of Pre Planned Change of Direction (COD) Performance Measures Before and After the Intervention

Outcome	Group	Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	Mean difference	Between-group difference in change (95% CI)	Cohen's d
Modified Agility T-Test	Group A (Ladder Drill Training)	10.37 ± 0.35	9.71 ± 0.29	0.66	0.23 (0.01–0.45)	0.58
	Group B (Plyometric Training)	10.33 ± 0.29	9.90 ± 0.24	0.43		
505 Agility Test	Group A (Ladder Drill Training)	2.74 ± 0.11	2.44 ± 0.09	0.29	0.13 (0.05–0.22)	0.89
	Group B (Plyometric Training)	2.72 ± 0.10	2.56 ± 0.08	0.16		

Note: Values are presented as mean ± standard deviation (SD). Lower completion times indicate better pre-planned change of direction performance.

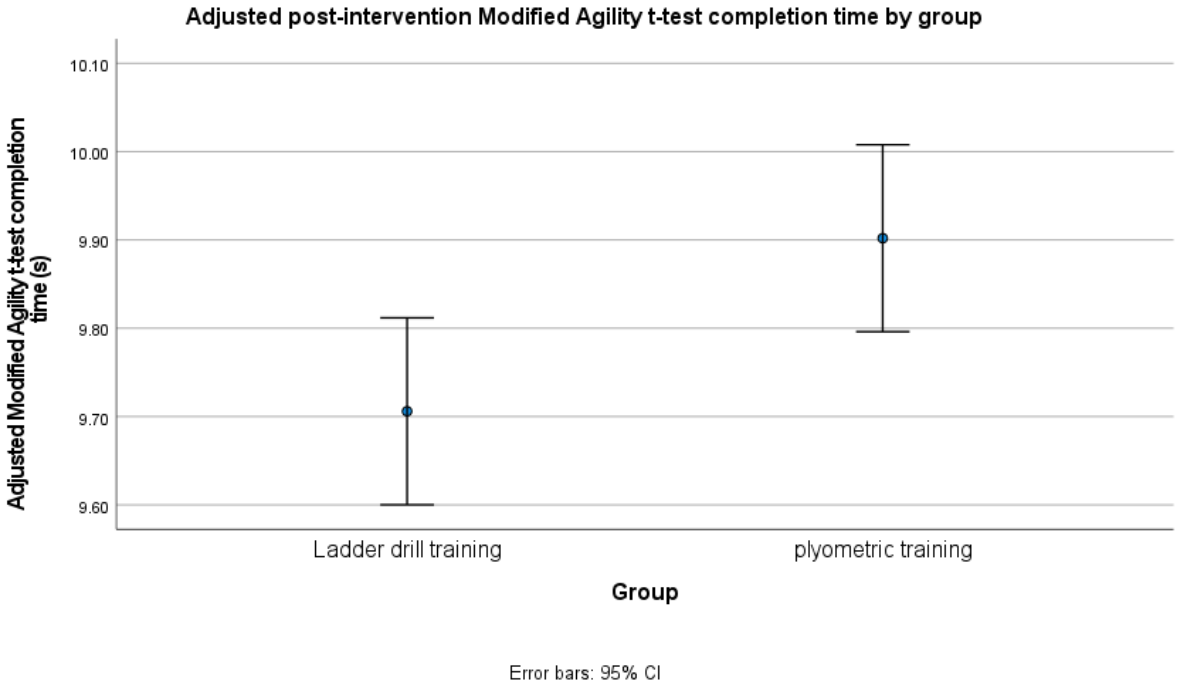


Fig. 4. Baseline-adjusted post-intervention Modified Agility t-test completion times in the ladder drill and plyometric training groups. Error bars represent 95% confidence intervals.



Fig. 5. Baseline-adjusted post-intervention means for the 505 Agility Test in the ladder drill and plyometric training groups. Error bars represent 95% confidence intervals.

Table 4. Analysis of Covariance (ANCOVA) Comparing Post-Intervention Pre Planned Change of Direction (COD) Performance Between Groups, Adjusted for Baseline Scores

Outcome	Adjusted mean (SE), Group A	Adjusted mean (SE), Group B	Adjusted mean difference (A – B), SE	F (1,49)	95% CI	p-value	Partial η^2
Modified Agility t-test	9.706 (0.053)	9.902 (0.053)	-0.196 (0.075)	6.907	-0.346 to -0.046	.011	.124
505 Agility Test	2.444 (0.017)	2.558 (0.017)	-0.114 (0.024)	22.282	-0.162 to -0.065	<.001	.313

Note: Analysis of covariance (ANCOVA) was used to compare post intervention pre planned change of direction (COD) performance between the ladder drill and plyometric training groups, adjusting for the corresponding pre-intervention scores as covariates. Values are presented as adjusted means, standard errors (SE), 95% confidence intervals (CI), F-statistics, p-values, and partial eta squared (η^2p). Lower completion times indicate better pre planned change of direction performance.

Discussion

The present randomized controlled trial compared the effects of six weeks of ladder drill training and plyometric training on change of direction performance in sub-elite badminton players. Both groups demonstrated reductions in completion times on the Modified Agility t-test (MAT) and 505 Agility Test following the intervention. However, the baseline-adjusted comparisons favoured ladder drill training, indicating greater improvements in the two planned change of direction outcomes assessed in this study. These findings suggest that ladder drill training may offer an advantage over the plyometric programme used in the present study for improving planned change of direction performance. Nevertheless, the between-group differences should be interpreted cautiously, considering the distinct mechanical demands and potentially unmatched training loads of the interventions, as well as the potential measurement error associated with manual stopwatch timing. Previous studies have investigated the effects of ladder-based training on speed, agility, and change

of direction related performance in badminton players and other athletic populations (17, 21, 22, 24). Chandrakumar and Ramesh (17) reported improvements in speed and agility following ladder-drill and speed, agility, and quickness (SAQ) training among sports-club badminton players. Similarly, Sanrijaya et al. (22) reported beneficial changes in speed and agility following different ladder-drill variations. Bai and Selvanayagam (24) also reported improvements in agility-related performance, including change of direction outcomes, following ladder-based training in badminton players. Further evidence of change of direction improvements was reported by Bassa et al. (21) in young female volleyball players following a combined programme incorporating ladder drills, plyometric exercises, and multidirectional speed drills. Although these findings support the potential benefits of ladder-based training for movement-related performance, differences in participant characteristics, intervention protocols, and assessment methods should be considered when interpreting the evidence. Therefore, the present study extends the existing literature by directly comparing six weeks of ladder-drill training and plyometric training on pre-planned change of direction performance in sub-elite badminton players.

A possible explanation for the greater improvement observed in the ladder drill group is the repeated practice of rapid foot-placement sequences and successive stepping movements. Ladder drills require participants to organize foot placement rapidly while maintaining repeated ground contacts and progressing through predetermined movement patterns. These tasks provide repeated opportunities to practise the timing and positioning of successive steps and transitions between foot contacts (24). More efficient execution of these movement sequences could theoretically contribute to faster completion of planned movement tasks. However, step frequency, foot-contact characteristics, foot-placement accuracy, dynamic balance, and lower-limb movement kinematics were not directly measured in the present study. Accordingly, these factors represent plausible explanations for the observed performance changes rather than confirmed physiological or biomechanical adaptations. The potential advantage of ladder drill training may be interpreted through the principle of training specificity, which proposes that performance transfer is influenced by the correspondence between the training stimulus and the demands of the target activity (40-42). In the present study, ladder drills emphasised rapid stepping and foot-placement patterns, whereas the MAT and 505 Agility Test required participants to complete predetermined movement sequences involving changes of direction (43, 44). The greater improvement following ladder drill training is therefore consistent with a possible movement-specific transfer effect, although the study did not directly measure the similarity between training and test biomechanics.

Previous studies have examined the effects of plyometric-based training on change of direction (COD) performance in badminton players. Guo and Xu (46) evaluated COD performance following an eight-week combined balance and plyometric training programme in young badminton players. Their findings showed greater improvements in the modified T-test and Hexagon Test in the combined training group compared with plyometric training alone. Similarly, Guo et al. (49) investigated the effects of six weeks of combined balance and plyometric training compared with plyometric training alone in elite badminton players. Both groups demonstrated improvements in COD performance, although the combined training group showed greater improvement in the 505 test, with no significant between-group difference in the SEMO test. Together, these studies provide evidence that plyometric-based training approaches can improve COD performance in badminton players, although the magnitude of improvement may differ according to the training combination and assessment method. More broadly, plyometric training involves rapid eccentric–concentric muscle actions through the stretch-shortening cycle, which can support explosive performance and rapid force production (28, 29, 31, 50). Daneshjoo and Raeisi (51) also reported changes in explosive and agility-related performance following an eight-week plyometric programme in elite parkour athletes, providing additional evidence from another athletic population. These adaptations may contribute to acceleration, propulsion, and force production during directional changes. The

improvement observed in the plyometric group in the present study is consistent with the potential contribution of plyometric exercise to planned COD performance.

The mechanical demands of the change of direction tests may help explain the comparatively smaller improvement observed following plyometric training. Both the Modified Agility t-test (MAT) and the 505 Agility Test involve acceleration, deceleration, and directional transitions, while the 505 test additionally requires a 180° turn. Successful performance therefore depends not only on rapid force production but also on the ability to control horizontal momentum during braking and generate force in the new direction. Although plyometric training develops explosive lower-limb power through rapid eccentric–concentric actions and the stretch-shortening cycle (28, 29, 31), these adaptations may not transfer equally to all change of direction tasks. Such transfer is influenced by the correspondence between the training exercises and the mechanical demands of the target activity (40–41). In the present study, the plyometric programme included squat jumps, split-squat jumps, lateral bounds, lateral cone hops, and single-leg hops. Although the lateral and unilateral exercises incorporated multidirectional movements and landing demands, the programme did not systematically emphasise horizontal deceleration, unilateral braking, and subsequent directional reversal. Furthermore, eccentric force absorption during landing does not necessarily reproduce the braking and force-redirection demands of rapid change of direction movements. In contrast, ladder drill training provided repeated practice of sequential stepping and foot-placement adjustments, which may have offered greater movement correspondence with the planned change of direction tasks assessed in this study. This difference in exercise-specific demands may partly explain the smaller improvement following plyometric training. However, this interpretation remains hypothetical because braking forces, ground-reaction forces, and lower-limb kinematics were not directly measured.

Several limitations should be considered when interpreting the findings. First, although both groups completed the same intervention duration, session frequency, and approximate session schedule, the exercise-specific volume and mechanical demands of ladder drills and plyometric exercises were not directly matched. Ladder drills involved repeated stepping contacts, whereas plyometric exercises involved explosive jumping or hopping actions and their associated landings. Although intervention intensity was monitored using a 0–10 Rating of Perceived Exertion (RPE) scale during supervised sessions, exercise-specific mechanical workload and external training load were not quantitatively matched. Therefore, the observed between-group differences may reflect both movement specificity and differences in exercise volume and mechanical loading. Regular badminton exposure was maintained at approximately two hours per day, five days per week, in both groups. However, RPE and other physiological measures were not recorded during routine badminton practice. Consequently, differences in cumulative training load and fatigue associated with regular practice cannot be completely excluded as potential influences on performance. Furthermore, the absence of a regular-practice-only control group limits the ability to separate the effects of the experimental interventions from ongoing badminton practice, repeated test exposure, familiarisation, learning effects, and natural variation in performance. The use of a handheld stopwatch to record completion times represents another methodological limitation. Although times were recorded to the nearest 0.01 seconds, this display precision does not eliminate potential errors associated with manual starting and stopping. Electronic timing gates would provide a more objective method of recording performance. Other methodological limitations include convenience sampling from a single badminton academy, which may restrict the generalisability of the findings beyond sub-elite players aged 18–30 years. Although allocation was conducted independently using a concealed lottery-based procedure, a computer-generated randomisation sequence was not used. In addition, the study was not prospectively registered in a public clinical trial registry. The six-week intervention period also did not include follow-up assessment; therefore, the retention of improvements after training cessation remains unknown. Furthermore, the sample size was originally calculated using an independent-samples t-test and was not recalculated following the

adoption of the baseline-adjusted ANCOVA model. Therefore, the study may not have been optimally powered for detecting between-group differences under the final analytical approach.

Future studies should compare ladder drill and plyometric training using clearly quantified and, where feasible, comparable training loads. Recording session-RPE during both intervention sessions and regular badminton practice, alongside actual session duration and exercise-specific repetitions and contacts, would improve characterisation of internal and external training loads. Instrumented assessments could examine braking impulse, ground-reaction forces, force-vector orientation, and movement kinematics during change of direction tasks. The inclusion of reactive-agility tests, badminton-specific court-movement tasks, electronic timing gates, and a usual-practice control group would help determine whether improvements transfer to broader performance outcomes. Future studies should also use sample-size calculations appropriate to the planned statistical analysis, include longer follow-up periods, and recruit participants across multiple training settings to establish the durability and generalisability of the findings.

Conclusion

Following six weeks of training, pre-planned change of direction speed, assessed using the Modified Agility t-test and 505 Agility Test, improved in both the ladder-drill and plyometric-training groups, as reflected by reduced completion times. Greater numerical reductions were observed in the ladder-drill group for both tests. However, these between-group findings should be interpreted cautiously in view of potential measurement error associated with manual stopwatch timing and differences in exercise-specific training loads. Both training approaches may contribute to improvements in pre-planned change of direction performance in sub-elite badminton players. Future studies should investigate an integrated conditioning approach combining ladder-based footwork drills and plyometric exercises to determine whether their complementary training effects can further enhance change of direction performance in badminton players. The findings of the present study are limited to the pre-planned change of direction tasks assessed and should not be generalised to reactive agility or overall badminton-specific agility during match play.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Institutional Scientific Review Board of Saveetha College of Physiotherapy (Approval No. 005/10/2025/ISRB/UGSR/SCPT). Written informed consent was obtained from all participants prior to participation.

Funding

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

Authors' contributions

Anusheela R.N.: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing – original draft.

Dhanusia S.: Methodology, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Suriya N.: Conceptualization, Writing – review & editing.

Priyadharshini Kumar: Investigation, Writing – review & editing.

Vanitha Jayaraj: Project administration, Methodology.

Prathap Suganthirababu: Supervision, Formal analysis.

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

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات نردبان چابکی و تمرینات پلایومتریک بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در بازیکنان بدمینتون سطح نیمه‌حرفه‌ای: یک کارآزمایی تصادفی‌سازی‌شده دوگروهی موازی با گروه مقایسه فعال

آنوشیلا آر. اِن[۱]، دانوسیا اِس*[۱]، سوریا اِن[۱]، پریادارشینی کومار[۱]، وانیتا جایاراج[۱]، پراتاپ سوگانتیرابابو[۲]

۱. دانشکده فیزیوتراپی ساویتا، مؤسسه علوم پزشکی و فنی ساویتا، چنای، تامیل نادو، هند.

۲. گروه فیزیوتراپی، دانشکده داروسازی و علوم سلامت، مرکز تحقیقات علوم پزشکی و علوم سلامت وابسته، دانشگاه عجمان، عجمان، امارات متحده عربی.

Scan to read online

Citation: R.N A, S D, N S, Kumar P, Jayaraj V, Suganthirababu P. Effects of Ladder Drill Training and Plyometric Training on Planned Change-of-Direction Performance in Sub-Elite Badminton Players: A Two-Arm, Parallel-Group Randomized Active-Comparator Trial. Journal of Sport Biomechanics. 2027;12(4): 946-984. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.4.946

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۳ مرداد ۱۴۰۵

پذیرش: ۲۰ آبان ۱۴۰۵

انتشار: ۳۰ آبان ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

ورزش‌های راکتی، ورزشکاران، تمرینات پلایومتریک، تمرین ورزشی، آمادگی جسمانی

چکیده

هدف مقایسه تأثیر تمرینات نردبان چابکی و تمرینات پلایومتریک بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه.

روش‌ها در این کارآزمایی تصادفی‌سازی‌شده دوگروهی موازی با مقایسه‌کننده فعال، ۵۲ بازیکن بدمینتون سطح زیرنخبه با دامنه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال به‌صورت تصادفی در دو گروه تمرینات نردبان چابکی (۲۶ نفر) و تمرینات پلایومتریک (۲۶ نفر) قرار گرفتند. هر دو گروه به مدت شش هفته، سه جلسه در هفته، علاوه بر تمرینات معمول بدمینتون، تمرینات اختصاصی خود را انجام دادند. عملکرد شرکت‌کنندگان پیش و پس از مداخله با استفاده از آزمون اصلاح‌شده چابکی و آزمون چابکی ۵۰۵ ارزیابی شد.

یافته‌ها زمان اجرای هر دو آزمون در هر دو گروه کاهش یافت. نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد که زمان اجرای تعدیل‌شده پس از مداخله در گروه تمرینات نردبان چابکی در مقایسه با گروه تمرینات پلایومتریک، در هر دو آزمون MAT(p=۰/۰۱۱) و چابکی ۵۰۵ (p=۰/۰۰۱) به‌طور معناداری کمتر بود.

نتیجه‌گیری هر دو روش تمرینی با بهبود عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده همراه بودند، اما تمرینات نردبان چابکی بهبود بیشتری ایجاد کردند. بااین‌حال، این یافته‌ها را نمی‌توان به چابکی واکنشی یا تصمیم‌گیری اختصاصی ورزش تعمیم داد. همچنین، نبود گروه کنترل با تمرینات معمول، امکان رد اثرات یادگیری ناشی از تکرار آزمون و تغییرات طبیعی در طول زمان را محدود می‌کند.

* نویسنده مسئول:

دانوسیا اِس

dhanusiasuresh۱۷۹۸@gmail.com

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, adaptation, and reproduction in any medium or format, provided the original author(s) and the source are credited.

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

مقدمه

بدمینتون یکی از پرطرفدارترین ورزش‌های راکتی در سراسر جهان است. بر اساس برآورد فدراسیون جهانی بدمینتون (BWF)، تقریباً ۲۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان به‌صورت تفریحی در این رشته ورزشی فعالیت می‌کنند و سالانه بیش از ۷۰۰۰ بازیکن در مسابقات ملی و بین‌المللی شرکت دارند (۱). این ورزش در گروه‌های سنی و سطوح مختلف رقابتی انجام می‌شود و به‌عنوان یکی از سریع‌ترین ورزش‌های راکتی شناخته می‌شود که به تصمیم‌گیری سریع، کنترل حرکتی دقیق و سطح بالایی از آمادگی جسمانی نیاز دارد (۲, ۳). بدمینتون با حرکات شدید و تکراری از جمله پرش، گام بلند، شتاب‌گیری و کاهش سرعت سریع، تغییر جهت در مسیرهای مختلف و حرکات انفجاری اندام فوقانی مشخص می‌شود (۴–۷). تحلیل مسابقات نشان داده است که بدمینتون شامل رالی‌های کوتاه و شدید است که به‌طور متناوب با دوره‌های کوتاه بازیافت همراه هستند و در نتیجه، فشار قابل‌توجهی بر هر دو دستگاه انرژی هوازی و بی‌هوازی وارد می‌کنند (۸–۱۰). بنابراین، عملکرد موفق در بدمینتون به مجموعه‌ای از ویژگی‌های مرتبط با عملکرد ورزشی شامل قدرت عضلانی، توان، سرعت، هماهنگی، استقامت، انعطاف‌پذیری، تعادل، ثبات، توانایی تغییر جهت و کنترل عصبی‌عضلانی وابسته است (۱۱–۱۴). عملکرد تغییر جهت (COD) یکی از الزامات جسمانی مهم در بدمینتون است که شامل کاهش سریع سرعت و شتاب‌گیری مجدد در جهتی متفاوت هنگام جابه‌جایی در زمین بازی می‌شود (۱۵، ۱۶).

با توجه به اهمیت عملکرد تغییر جهت در بدمینتون، استفاده از روش‌های تمرینی اختصاصی برای توسعه حرکات پا، سرعت جابه‌جایی و توان اندام تحتانی، که برای حرکت کارآمد در زمین بازی ضروری هستند، اهمیت دارد. تمرینات نردبان چابکی، به‌عنوان یکی از اجزای تمرینات سرعت، چابکی و سرعت عمل (SAQ)، معمولاً برای بهبود حرکات پا و سرعت جابه‌جایی استفاده می‌شوند که از مؤلفه‌های مهم عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در بازیکنان بدمینتون به شمار می‌روند (۱۷, ۱۸). در این تمرینات، ورزشکاران باید الگوهای حرکتی سریع و دقیق پا را با استفاده از نردبان چابکی اجرا کنند و هم‌زمان هماهنگی، تعادل، تمرکز و کنترل پاسچرال خود را حفظ کنند (۱۹). این تمرینات را می‌توان به‌تدریج از الگوهای حرکتی ساده به پیچیده پیش برد؛ به‌گونه‌ای که نیاز به هماهنگی عصبی‌حرکتی افزایش یابد. این ویژگی برای اجرای سریع تکالیف حرکتی پیچیده در ورزش‌های پرسرعت اهمیت دارد (۲۰). انواع رایج تمرینات نردبان چابکی شامل جابه‌جایی پا به داخل و خارج نردبان، حرکت ضربدری زیگزاگی، جابه‌جایی جانبی، قرار دادن یک پا در هر خانه، قرار دادن هر دو پا در هر خانه و حرکت علی شافل است که در برنامه‌های تمرینی با هدف بهبود حرکات پا، سرعت جابه‌جایی، هماهنگی اندام تحتانی و عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده استفاده می‌شوند (۲۱–۲۳). تمرینات نردبان چابکی از طریق تکرار الگوهای حرکتی پا در جهت‌های مختلف ممکن است هماهنگی عصبی‌عضلانی، سرعت حرکات پا، دقت حرکت و کارایی حرکتی را بهبود بخشند و در نتیجه، به ارتقای عملکرد در تکالیف تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده کمک کنند (۱۷, ۲۳). از دیدگاه بیومکانیکی، تمرینات نردبان چابکی شامل الگوهای سریع جای‌گذاری پا، گام‌های متوالی، تنظیمات سریع هنگام تماس پا با زمین و حرکات هماهنگ در جهت‌های مختلف هستند. اجرای این تمرینات مستلزم کنترل دقیق محل قرارگیری پا و تغییر سریع موقعیت اندام‌های تحتانی از یک گام به گام بعدی است (۲۴). در مقابل، تمرینات پلایومتریک شامل فعالیت‌های عضلانی سریع برون‌گرا و درون‌گرا از طریق چرخه کشش–کوتاه‌شدن هستند (۲۵) که تولید سریع نیرو، نرخ توسعه نیرو (۲۶) و تولید نیروهای عمودی یا جانبی عکس‌العمل زمین را متناسب با نوع تمرین تقویت می‌کنند (۲۷). بنابراین، اگرچه هر دو روش تمرینی ممکن است ویژگی‌های عملکرد جسمانی مرتبط با تکالیف تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده را بهبود بخشند، محرک‌های تمرینی متفاوتی ایجاد می‌کنند. تمرینات نردبان چابکی عمدتاً بر حرکات سریع پا، هماهنگی و کنترل حرکت تأکید دارند، درحالی‌که

تمرینات پلایومتریک بیشتر بر تولید نیروی واکنشی و توان انفجاری متمرکز هستند. این تفاوت‌ها در ویژگی‌های تمرینی ممکن است بر میزان تأثیر هر یک از این روش‌ها بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده اثر بگذارند.

تمرینات پلایومتریک یکی دیگر از روش‌های آماده‌سازی جسمانی هستند که به‌طور گسترده برای بهبود ویژگی‌های عملکردی مرتبط با تغییر جهت در بدمینتون استفاده می‌شوند. این تمرینات شامل حرکات انفجاری با وزن بدن هستند که از چرخه کشش–کوتاه‌شدن بهره می‌گیرند. در این چرخه، یک فعالیت عضلانی برون‌گرای سریع بلافاصله با یک انقباض درون‌گرای قدرتمند دنبال می‌شود و در نتیجه، تولید نیرو و کارایی حرکت افزایش می‌یابد (۲۸, ۲۹). مطالعات پیشین آثار سودمند تمرینات پلایومتریک را بر چابکی، سرعت، توان عضلانی، هماهنگی، مکانیک فرود، عملکرد عصبی‌عضلانی اندام تحتانی و عملکرد تغییر جهت در جمعیت‌های مختلف ورزشی گزارش کرده‌اند (۳۰–۳۳). تمرینات رایج پلایومتریک شامل پرش اسکوات، پرش عمقی، پرش جمع‌کردن زانوها به سمت سینه، پرش‌های متوالی با جابه‌جایی، پرش‌های جانبی و تمرینات پرشی اختصاصی ورزش هستند که شباهت زیادی به نیازهای حرکتی بدمینتون دارند (۳۴). این تمرینات به بازیکنان کمک می‌کنند تا شتاب بگیرند، سرعت خود را کاهش دهند، به‌سرعت تغییر جهت دهند، توان انفجاری لازم برای پرش و اجرای ضربات را تولید کنند و تعادل پویای خود را بهبود بخشند؛ ویژگی‌هایی که با نیازهای جسمانی بدمینتون ارتباط دارند (۳۴–۳۸). شواهد همچنین نشان می‌دهند که تمرینات پلایومتریک نظام‌مند موجب بهبود آمادگی جسمانی می‌شوند و ممکن است در کاهش بروز آسیب‌های اندام تحتانی در جمعیت‌های ورزشی نقش داشته باشند (۳۱، ۳۹).

انتقال سازگاری‌های حاصل از یک مداخله تمرینی به عملکرد ورزشی را می‌توان بر اساس اصل ویژگی تمرین بررسی کرد. مطابق این اصل، ویژگی‌های محرک تمرینی بر ماهیت و میزان انتقال سازگاری‌ها به تکالیف عملکردی بعدی تأثیر می‌گذارند (۴۰–۴۲). این اصل چارچوبی نظری برای بررسی میزان شباهت ویژگی‌های حرکتی و نیازهای مکانیکی تمرین با الزامات آزمون‌های عملکردی فراهم می‌کند؛ شباهتی که ممکن است انتقال سازگاری‌های تمرینی را تسهیل کند. در مطالعه حاضر، تمرینات نردبان چابکی به‌طور مکرر شامل توالی‌های سریع جای‌گذاری پا و گام‌برداری در جهت‌های مختلف هستند، درحالی‌که آزمون اصلاح‌شده چابکی (MAT) Tو آزمون چابکی ۵۰۵ مستلزم جابه‌جایی سریع و تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده هستند (۴۳, ۴۴). شباهت میان الگوهای حرکتی پا در تمرینات نردبان و الگوهای حرکتی موردنیاز در این آزمون‌ها ممکن است مبنایی برای توجیه بهبود عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده پس از تمرینات نردبان چابکی فراهم کند. بااین‌حال، تغییر جهت‌های تند نیز نیازهای مکانیکی قابل‌توجهی بر اندام‌های تحتانی تحمیل می‌کنند که شامل کاهش سریع سرعت، جذب کنترل‌شده نیروهای ترمزی از طریق فعالیت برون‌گرای عضلات و تولید نیروی متعاقب برای شتاب‌گیری در جهتی متفاوت است. این الزامات مکانیکی ممکن است به‌طور کامل از طریق توالی‌های سریع جای‌گذاری پا که در تمرینات نردبان چابکی بر آن‌ها تأکید می‌شود، تأمین نشوند. تمرینات پلایومتریک ممکن است با توسعه ظرفیت جذب و تولید نیرو در حرکات پویا، رویکردی مکمل فراهم کنند. بنابراین، اگرچه ویژگی حرکتی تمرین مبنایی نظری برای مزایای احتمالی تمرینات نردبان چابکی فراهم می‌کند، تأثیرات نسبی تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده همچنان پرسشی تجربی است که در کارآزمایی تصادفی‌سازی‌شده کنترل‌شده حاضر بررسی می‌شود.

پژوهش‌های پیشین روش‌های تمرینی مختلفی را برای بهبود سرعت، چابکی و عملکرد مرتبط با تغییر جهت در بازیکنان بدمینتون بررسی کرده‌اند. چاندراکومار و رامش (۱۷) بهبود سرعت و چابکی را پس از اجرای تمرینات نردبان چابکی و تمرینات سرعت، SAQ در بازیکنان بدمینتون عضو باشگاه‌های ورزشی گزارش کردند. مطالعات دیگری نیز انواع مختلف تمرینات نردبان چابکی و رویکردهای

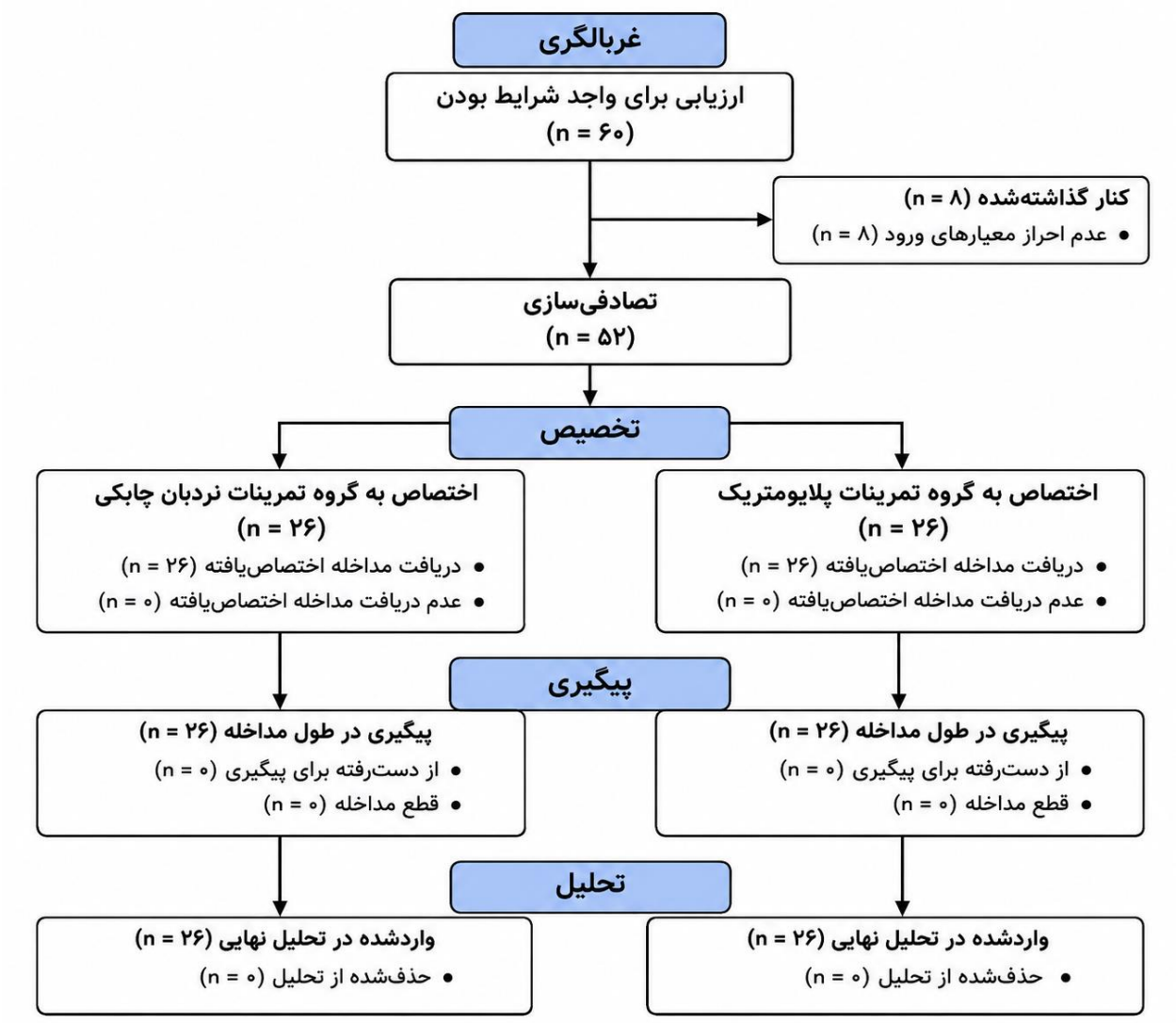
تمرینی مبتنی بر چابکی را در بازیکنان بدمینتون بررسی کرده‌اند (۲۲, ۲۳). بااین‌حال، این پژوهش‌ها عمدتاً پیامدهای عمومی‌تر چابکی و عملکرد جسمانی را ارزیابی کرده‌اند و به‌طور اختصاصی بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده متمرکز نبوده‌اند. افزون بر این، مطالعه‌ای که تمرینات نردبان چابکی را با تمرینات پلایومتریک و تمرینات سرعت در جهت‌های مختلف ترکیب کرده بود، بهبود عملکرد تغییر جهت را در بازیکنان جوان زن والیبال گزارش کرد؛ هرچند ماهیت ترکیبی مداخله امکان تعیین سهم مستقل هر یک از اجزای تمرینی را فراهم نمی‌کرد (۲۱). تمرینات مبتنی بر پلایومتریک نیز در بازیکنان بدمینتون بررسی شده‌اند و بهبودهایی در چابکی، کنترل پاسچرال پویا و عملکرد تغییر جهت گزارش شده است (۳۴, ۴۵, ۴۶). شواهد حاصل از سایر ورزش‌های تیمی نیز بهبود سرعت تغییر جهت را پس از تمرینات پلایومتریک چندجهته نشان داده‌اند (۳۳). یک مطالعه مقایسه‌ای که تمرینات پلایومتریک و SAQ را در بازیکنان بدمینتون آماتور ارزیابی کرده بود، بهبود چابکی و سرعت را پس از هر دو روش گزارش کرد؛ هرچند تفاوت معناداری بین گروه‌ها در این پیامدها مشاهده نشد (۳۶). بااین‌حال، تمرینات SAQ مجموعه گسترده‌تری از حرکات را در بر می‌گیرند و نمی‌توان آن‌ها را معادل مداخله‌ای دانست که منحصراً شامل تمرینات نردبان چابکی است. بنابراین، اگرچه مطالعات پیشین شواهدی در حمایت از تمرینات مبتنی بر نردبان چابکی و تمرینات پلایومتریک در بازیکنان بدمینتون ارائه کرده‌اند، تأثیرات مقایسه‌ای این دو روش به‌عنوان مداخلات مستقل بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده هنوز به‌اندازه کافی مشخص نشده است. به‌ویژه، شواهد حاصل از مطالعاتی که به‌طور مستقیم تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک را با استفاده از آزمون‌های اختصاصی تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه مقایسه کرده باشند، محدود است. آزمون اصلاح‌شده چابکی T و آزمون چابکی ۵۰۵، حرکات جهت‌دار از پیش برنامه‌ریزی‌شده را از طریق توالی‌های حرکتی و الزامات چرخش متفاوت ارزیابی می‌کنند. بنابراین، هدف کارآزمایی تصادفی‌سازی‌شده کنترل‌شده حاضر، مقایسه تأثیر شش هفته تمرینات نردبان چابکی و تمرینات پلایومتریک بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه بود که با استفاده از آزمون‌های MAT و چابکی ۵۰۵ ارزیابی شد. فرضیه اصلی پژوهش این بود که هر دو مداخله موجب کاهش زمان اجرای هر دو آزمون می‌شوند. فرضیه جهت‌دار ثانویه نیز این بود که تمرینات نردبان چابکی در مقایسه با تمرینات پلایومتریک کاهش بیشتری در زمان اجرای آزمون‌ها ایجاد می‌کنند؛ فرضیه‌ای که بر اساس شباهت حرکتی میان الگوهای حرکات پا در تمرینات نردبان چابکی و الزامات تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در این آزمون‌ها مطرح شد.

روش‌ها

طرح پژوهش و شرکت‌کنندگان

این پژوهش به‌صورت یک کارآزمایی تصادفی‌سازی‌شده کنترل‌شده، دوگروهی موازی با گروه مقایسه فعال، در آکادمی بدمینتون Nothing But Net در شهر چنای هند انجام شد. هدف پژوهش، مقایسه تأثیر تمرینات نردبان چابکی و تمرینات پلایومتریک بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه بود. هر دو گروه در کنار مداخله تمرینی اختصاص‌یافته، تمرینات معمول بدمینتون خود را ادامه دادند. ازآنجاکه گروه کنترل بدون مداخله یا گروهی که صرفاً تمرینات معمول بدمینتون را انجام دهد در پژوهش وجود نداشت، مطالعه با هدف مقایسه تأثیرات نسبی دو روش تمرینی طراحی شد، نه تعیین اثربخشی آن‌ها در مقایسه با تمرینات معمول به‌تنهایی. شرکت‌کنندگان با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس از میان بازیکنان آکادمی انتخاب شدند. جامعه در دسترس شامل بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه بود که در دوره جذب نمونه به‌طور فعال تمرین می‌کردند و معیارهای ورود از پیش تعیین‌شده را داشتند. فرایند جذب شرکت‌کنندگان از نوامبر ۲۰۲۵ تا ژانویه ۲۰۲۶ انجام شد و

ارزیابی نهایی پس از مداخله در مارس ۲۰۲۶ به پایان رسید.پروتکل پژوهش پیش از آغاز جذب شرکت‌کنندگان، توسط هیئت بررسی علمی دانشکده فیزیوتراپی ساویتا با شماره تأیید 005/10/2025/ISRB/UGSR/SCPT تصویب شد. طرح مقایسه‌کننده فعال به‌منظور فراهم‌کردن امکان ادامه تمرینات معمول بدمینتون برای تمام شرکت‌کنندگان و دریافت یک مداخله تمرینی ساختاریافته انتخاب شد. ورزشکاران و اعضای جامعه در طراحی، اجرا، تحلیل، تفسیر یا گزارش این کارآزمایی مشارکت نداشتند. این پژوهش پیش از آغاز اجرا در هیچ‌یک از سامانه‌های عمومی ثبت کارآزمایی بالینی ثبت نشده بود. در ابتدا، ۶۰ بازیکن بدمینتون سطح زیرنخبه غربالگری شدند که از میان آن‌ها، ۵۲ نفر واجد معیارهای ورود بودند و در پژوهش شرکت کردند (شکل ۱). حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power نسخه ۱/۳ و بر اساس آزمون t مستقل دوطرفه، سطح آلفای ۰/۰۵، توان آماری ۰/۸۰ و اندازه اثر مورد انتظار ۰/۸۰ بر اساس شاخص d کوهن محاسبه شد. انتخاب اندازه اثر بزرگ مورد انتظار بر اساس مطالعات پیشین مرتبط با بدمینتون و تمرینات ورزشی بود که از مفروضات مشابهی برای تعیین حجم نمونه استفاده کرده بودند (۴۷, ۴۸). حجم نمونه محاسبه‌شده ۵۲



شکل ۱. نمودار جریان شرکت‌کنندگان پژوهش بر اساس الگوی کانسورت

نفر بود که ۲۶ نفر به هر گروه مداخله اختصاص یافتند. محاسبه اولیه حجم نمونه بر اساس مقایسه بین‌گروهی با آزمون t مستقل و مطابق با برنامه اولیه تحلیل آماری شامل آزمون‌های t زوجی و مستقل انجام شده بود. پس از آغاز پژوهش، برنامه تحلیل آماری تغییر یافت و مقرر شد از تحلیل‌های کوواریانس جداگانه برای مقایسه نمرات پس از مداخله بین گروه‌ها، با کنترل مقادیر متناظر پیش‌آزمون، استفاده شود. این رویکرد به‌منظور کنترل تفاوت‌های احتمالی مقادیر پایه انتخاب شد. محاسبه اولیه حجم نمونه حفظ شد و محاسبه جداگانه‌ای بر اساس مدل اصلاح‌شده ANCOVA انجام نگرفت. هیچ تغییری در متغیرهای پیامد ایجاد نشد و شرکت‌کننده اضافی برای جبران ریزش احتمالی نمونه جذب نشد. همچنین، هیچ تحلیل میان‌دوره‌ای یا معیار رسمی توقف برای کارآزمایی تعیین نشده بود. از مجموع ۶۰ بازیکن غربالگری‌شده، هشت نفر به دلیل نداشتن معیارهای ورود، پیش از تصادفی‌سازی کنار گذاشته شدند. تمام ۵۲ شرکت‌کننده تصادفی‌سازی‌شده پژوهش را تکمیل کردند و در تحلیل نهایی وارد شدند. پیامد اصلی پژوهش، عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده بود که با استفاده از آزمون اصلاح‌شده چابکی T و آزمون چابکی ۵۰۵ ارزیابی شد.

غربالگری و ثبت‌نام شرکت‌کنندگان توسط پژوهشگر اصلی انجام شد. تخصیص گروهی پس از تکمیل ارزیابی اولیه صورت گرفت. یک پژوهشگر مستقل که در جذب شرکت‌کنندگان، اجرای مداخله، ارزیابی پیامدها یا تحلیل داده‌ها نقشی نداشت، توالی تخصیص تصادفی را با استفاده از روش قرعه‌کشی فیزیکی ایجاد کرد. تعداد برابری برگه با علامت‌های A و B که به‌ترتیب نشان‌دهنده گروه تمرینات نردبان چابکی و گروه تمرینات پلایومتریک بودند، در ظرفی مات قرار گرفتند، کاملاً مخلوط شدند و به‌صورت انفرادی برداشت شدند. ترتیب برداشت برگه‌ها، توالی تخصیص تصادفی را تعیین کرد. پژوهشگر مستقل، توالی حاصل را ثبت کرد و پاکت‌های مات، مهروموم‌شده و دارای شماره‌های متوالی (SNOSE) را که حاوی تخصیص گروهی متناظر بودند، آماده کرد. پژوهشگر مستقل دوم مسئول پنهان‌سازی تخصیص بود و پاکت‌ها را تنها پس از ثبت‌نام هر شرکت‌کننده واجد شرایط و تکمیل ارزیابی اولیه، به‌ترتیب باز می‌کرد. بنابراین، پژوهشگر اصلی پیش از ارزیابی اولیه به توالی تخصیص یا گروه‌های تعیین‌شده بعدی دسترسی نداشت. جداسازی فرایند تولید توالی تصادفی از پنهان‌سازی تخصیص با هدف کاهش سوگیری انتخاب و تخصیص انجام شد. به دلیل ماهیت مداخلات تمرینی، کورسازی شرکت‌کنندگان و فیزیوتراپیست ناظر امکان‌پذیر نبود. بااین‌حال، ارزیاب آزمون‌های MAT و چابکی ۵۰۵ نسبت به تخصیص گروهی شرکت‌کنندگان کور بود تا سوگیری تشخیص به حداقل برسد.

بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه از هر دو جنس، با دامنه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال، در صورت داشتن حداقل شش ماه سابقه تمرین مستمر بدمینتون، شرکت در تمرینات ساختاریافته حداقل سه جلسه در هفته و حضور فعال در مسابقات بدمینتون منطقه‌ای یا ایالتی، واجد شرایط ورود به پژوهش بودند. بازیکنان سطح زیرنخبه به‌عنوان ورزشکاران رقابتی دارای تمرین منظم تعریف شدند که در تمرینات آکادمی و مسابقات منطقه‌ای یا ایالتی شرکت می‌کردند، اما در سطح نخبه ملی یا بین‌المللی رقابت نداشتند. همچنین، شرکت‌کنندگان باید مجوز پزشکی برای انجام فعالیت بدنی با شدت متوسط تا زیاد را دارا می‌بودند. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و تمرینی اولیه شامل سن، جنس، قد، وزن، شاخص توده بدنی، تعداد جلسات تمرین هفتگی و اندام تحتانی غالب در جدول ۱ ارائه شده‌اند. معیارهای خروج شامل سابقه جراحی اندام تحتانی، شکستگی یا آسیب شدید طی شش ماه گذشته، درد یا آسیب اسکلتی‌عضلانی فعلی در اندام‌های تحتانی یا ستون فقرات، اختلالات عصبی یا تعادلی مؤثر بر عملکرد حرکتی، بیماری‌هایی که انجام فعالیت بدنی با شدت متوسط تا زیاد را منع می‌کردند و شرکت در برنامه ساختاریافته تمرینات نردبان چابکی یا پلایومتریک طی سه ماه گذشته بود.

جدول ۱. ویژگی‌های پایه شرکت‌کنندگان

ویژگی‌های پایه	گروه الف: تمرین نردبان چابکی (۲۶ نفر)	گروه ب: تمرین پلایومتریک (۲۶ نفر)	مقدار p
سن (سال)	۲۲/۴۶ ± ۲/۷۱	۲۲/۸۱ ± ۲/۵۸	۰/۶۴
قد (سانتی‌متر)	۱۶۸/۰۴ ± ۷/۲۱	۱۶۷/۶۲ ± ۶/۸۴	۰/۸۲
وزن (کیلوگرم)	۶۲/۷۲ ± ۸/۱۳	۶۳/۳۱ ± ۷/۸۶	۰/۷۹
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۲/۱۸ ± ۲/۴۳	۲۲/۵۴ ± ۲/۲۹	۰/۵۹
سابقه فعالیت ورزشی (سال)	۱/۱۳ ± ۰/۳۷	۱/۱۷ ± ۰/۳۸	۰/۷۰
آزمون چابکی T اصلاح‌شده (ثانیه)	۱۰/۳۷ ± ۰/۳۵	۱۰/۳۳ ± ۰/۲۹	۰/۶۶
آزمون چابکی ۵۰۵ (ثانیه)	۲/۷۴ ± ۰/۱۱	۲/۷۲ ± ۰/۱۰	۰/۵۰
جنسیت، تعداد (درصد)			۰/۷۸
مرد	۱۵ (۵۷/۷٪)	۱۴ (۵۳/۸٪)	
زن	۱۱ (۴۲/۳٪)	۱۲ (۴۶/۲٪)	
تعداد جلسات تمرین هفتگی (روز در هفته)	۴/۳۵ ± ۰/۷۵	۴/۴۲ ± ۰/۷۰	۰/۷۳
اندام تحتانی غالب، تعداد (درصد)			۰/۶۴
راست	۲۳ (۸۸/۵٪)	۲۴ (۹۲/۳٪)	
چپ	۳ (۱۱/۵٪)	۲ (۷/۷٪)	

نکته: داده‌ها به‌صورت میانگین ± انحراف معیار یا فراوانی (درصد) ارائه شده‌اند. مقادیر p مربوط به مقایسه بین دو گروه در مرحله پیش‌آزمون هستند. سطح معناداری آماری $p < ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

روش اجرا

تمام شرکت‌کنندگان علاوه بر تمرینات معمول بدمینتون، یک برنامه تمرینی نظارت‌شده شش‌هفته‌ای شامل سه جلسه در هفته را انجام دادند که مدت هر جلسه تقریباً ۴۰ تا ۴۵ دقیقه بود. تمرینات معمول بدمینتون در هر دو گروه در حدود دو ساعت در روز و پنج روز در هفته، معادل تقریباً ۱۰ ساعت در هفته، استاندارد شد. از شرکت‌کنندگان خواسته شد این برنامه را در طول دوره مداخله حفظ کنند تا تفاوت‌های ناشی از میزان تمرینات معمول بین گروه‌ها به حداقل برسد. هر جلسه مداخله شامل ۱۰ دقیقه گرم‌کردن، ۲۵ تا ۳۰ دقیقه تمرین اختصاصی و پنج دقیقه سردکردن بود. هر دو مداخله توسط یک فیزیوتراپیست دارای مجوز حرفه‌ای و مطابق با پروتکل‌های استاندارد ارائه‌شده در جدول ۲ اجرا شدند. فیزیوتراپیست بر اجرای تمرینات نظارت داشت، تکنیک حرکتی و مکانیک فرود را بررسی می‌کرد، پایبندی به روند پیشرفت تمرینات را کنترل می‌کرد و شرکت‌کنندگان را از نظر درد، ناراحتی یا عوارض ناخواسته تحت نظر قرار می‌داد. دو گروه به‌صورت جداگانه و تحت نظارت مستقیم تمرین کردند تا احتمال آلودگی مداخله کاهش یابد. به شرکت‌کنندگان توصیه شد از اجرای تمرینات اختصاص‌یافته به گروه مقابل یا تبادل تکنیک‌های تمرینی در طول دوره مداخله خودداری کنند. تعداد جلسات، مدت تقریبی هر جلسه، روش‌های گرم‌کردن و سردکردن و فاصله استراحت استاندارد ۶۰ ثانیه‌ای بین ست‌ها و تمرینات در هر دو گروه یکسان بود. شدت تمرین در جلسات نظارت‌شده با استفاده از مقیاس صفر تا ۱۰ درک فشار تمرین (RPE) به‌صورت فردی پایش شد. بااین‌حال، RPE در طول تمرینات معمول بدمینتون ثبت نشد؛ بنابراین، بار تمرینی درونی و خستگی تجمعی ناشی از این تمرینات قابل‌اندازه‌گیری نبود. همچنین، بار مکانیکی خارجی بین دو مداخله به‌طور مستقیم همسان‌سازی نشد؛ زیرا تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک از نظر ویژگی‌های حرکتی، تعداد تکرارها و نیازهای مکانیکی متفاوت بودند. بنابراین، نمی‌توان تفاوت‌های احتمالی بارگذاری اختصاصی تمرین را به‌طور کامل رد کرد.

جدول ۲. پروتکل‌های شش‌هفته‌ای تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک

مداخله / تمرین	شرح تمرین	پیشرفت تمرین (ست × تکرار)	فاصله استراحت
گروه الف ـ تمرین با نردبان چابکی			
دویدن تک‌پا	شرکت‌کنندگان از حالت ایستاده در ابتدای نردبان چابکی، با تماس متناوب یک پا در هر خانه و با سرعت زیاد در طول نردبان به جلو حرکت کردند و در عین حال وضعیت قائم بدن و دقت جای‌گذاری پاها را حفظ کردند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۳ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۳ هفته‌های ۵–۶: ۴ × ۳	۶۰ ثانیه
دویدن دوپا	شرکت‌کنندگان از ابتدای نردبان، پیش از رفتن به خانه بعدی، هر دو پا را به‌ترتیب داخل هر خانه قرار دادند و با حرکات سریع و موزون دو پا به سمت جلو پیش رفتند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۳ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۳ هفته‌های ۵–۶: ۴ × ۳	۶۰ ثانیه
تمرین داخل–داخل–خارج–خارج	شرکت‌کنندگان با قرار دادن هر دو پا درون یک خانه نردبان و سپس قرار دادن هر دو پا در بیرون نردبان، الگو را در خانه‌های متوالی با حرکات سریع و هماهنگ پاها تکرار کردند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۳ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۳ هفته‌های ۵–۶: ۴ × ۳	۶۰ ثانیه
تمرین کاریوکا	شرکت‌کنندگان با الگوی گام‌برداری ضربدری جانبی در طول نردبان حرکت کردند؛ به‌گونه‌ای که یک پا را به‌تناوب از جلو و پشت پای دیگر عبور می‌دادند و هماهنگی تنه و اندام‌های تحتانی را حفظ می‌کردند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۳ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۳ هفته‌های ۵–۶: ۴ × ۳	۶۰ ثانیه
تمرین ایکی شافل	شرکت‌کنندگان یک توالی سریع گام‌برداری جانبی انجام دادند که طی آن یک پا وارد خانه نردبان می‌شد و پای دیگر بیرون می‌ماند؛ سپس هر دو پا پیش از حرکت به خانه بعدی تغییر موقعیت می‌دادند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۳ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۳ هفته‌های ۵–۶: ۴ × ۳	۶۰ ثانیه
گروه ب ـ تمرین پلایومتریک			
پرش اسکوات	شرکت‌کنندگان از حالت ایستاده به وضعیت اسکوات پایین رفتند و بلافاصله یک پرش عمودی بیشینه انجام دادند؛ سپس با فرودی کنترل‌شده به وضعیت آغازین بازگشتند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۱۰ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۱۰ هفته‌های ۵–۶: ۳ × ۱۲	۶۰ ثانیه
پرش اسکوات قیچی	شرکت‌کنندگان از وضعیت گام باز، پرش عمودی انفجاری انجام دادند و با حفظ راستای اندام‌های تحتانی در وضعیت گام باز فرود آمدند؛ پای جلو مطابق دستور به‌تناوب تغییر می‌کرد.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۱۰ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۱۰ هفته‌های ۵–۶: ۳ × ۱۲	۶۰ ثانیه
پرش جانبی اسکیت‌باز	شرکت‌کنندگان از ایستادن روی یک پا، پرشی انفجاری به سمت جانبی انجام دادند و روی اندام مقابل فرود آمدند؛ پیش از حرکت بعدی، فرود را تثبیت کردند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۱۰ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۱۰ هفته‌های ۵–۶: ۳ × ۱۲	۶۰ ثانیه
پرش جانبی از روی مخروط	شرکت‌کنندگان پرش‌های سریع و تکراری به طرفین از روی یک مخروط انجام دادند و با حفظ راستای کنترل‌شده اندام‌های تحتانی و تعادل، از یک سمت به سمت دیگر جهیدند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۱۰ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۱۰ هفته‌های ۵–۶: ۳ × ۱۲	۶۰ ثانیه
پرش تک‌پا	شرکت‌کنندگان از وضعیت ایستادن روی یک پا، پرش‌های انفجاری متوالی انجام دادند و پیش از ادامه توالی تعیین‌شده، تعادل و فرود کنترل‌شده روی همان پا را حفظ کردند.	هفته‌های ۱–۲: ۲ × ۱۰ هفته‌های ۳–۴: ۳ × ۱۰ هفته‌های ۵–۶: ۳ × ۱۲	۶۰ ثانیه

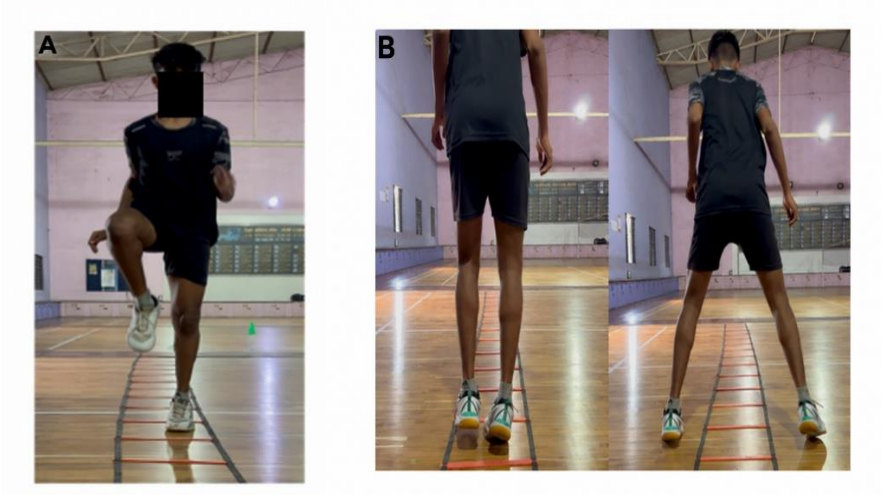
گروه A : تمرینات نردبان چابکی

برنامه گرم‌کردن ۱۰ دقیقه‌ای شامل دو تا سه دقیقه دویدن آرام و سپس حدود هفت تا هشت دقیقه کشش پویا برای گروه‌های عضلانی اصلی اندام تحتانی بود. این عضلات شامل خم‌کننده‌های ران، چهارسر ران، همسترینگ، عضلات سرینی، مجموعه عضلانی دوقلو و نعلی ساق و عضلات اطراف مچ پا بودند. برنامه تمرینات نردبان چابکی شامل پنج تمرین دویدن با یک پا در هر خانه، دویدن

با دو پا در هر خانه، حرکت داخل–داخل–خارج–خارج، حرکت کاریوکا و حرکت ایکی شافل بود. این تمرینات با هدف بهبود گام‌برداری سریع، دقت جای‌گذاری پا، هماهنگی عصبی‌عضلانی، تعادل پویا و حرکات چندجهته مرتبط با حرکات پای بدمینتون انتخاب شدند. تصاویر نمونه برخی از تمرینات در شکل ۲ ارائه شده‌اند. از شرکت‌کنندگان خواسته شد هر تمرین را با بیشترین سرعت ممکن و همراه با حفظ تکنیک صحیح حرکت، راستای مناسب بدن و جای‌گذاری دقیق پا انجام دهند. حجم تمرین با افزایش تدریجی تعداد تکرارها یا دفعات پیمودن نردبان طی دوره شش‌هفته‌ای افزایش یافت؛ درحالی‌که کیفیت اجرا و ایمنی شرکت‌کنندگان حفظ شد. یک تکرار به‌عنوان یک بار پیمودن کامل طول نردبان تعریف شد. بین ست‌ها و تمرینات، ۶۰ ثانیه استراحت استاندارد در نظر گرفته شد. جزئیات روند پیشرفت تمرینات در جدول ۲ ارائه شده است. برنامه سردکردن پنج‌دقیقه‌ای شامل راه‌رفتن با شدت کم و سپس کشش ایستا برای عضلات چهارسر ران، همسترینگ، دوقلو، نعلی، خم‌کننده‌ها و نزدیک‌کننده‌های ران، عضلات سرینی و ناحیه تحتانی کمر بود. هر حرکت کششی تقریباً ۲۰ تا ۳۰ ثانیه حفظ شد.

گروه B : تمرینات پلایومتریک

روش‌های گرم‌کردن و سردکردن در این گروه مشابه گروه تمرینات نردبان چابکی بود. برنامه تمرینات پلایومتریک شامل پنج تمرین پرش اسکوات، پرش اسکوات قیچی، پرش جانبی اسکیت‌باز، پرش جانبی از روی مانع مخروطی پرش بود. این تمرینات با هدف توسعه توان انفجاری اندام تحتانی، تولید نیروی واکنشی، ثبات پویا، کنترل عصبی‌عضلانی و تولید نیرو در جهت‌های مختلف انتخاب شدند. تصاویر نمونه برخی از تمرینات در شکل ۳ ارائه شده‌اند. از شرکت‌کنندگان خواسته شد هر تکرار را با حداکثر تلاش موردنظر و همراه با حفظ مکانیک مناسب فرود، راستای صحیح اندام تحتانی و کنترل حرکت انجام دهند. حجم تمرین طی دوره شش‌هفته‌ای به‌تدریج افزایش یافت و هم‌زمان کیفیت اجرا و ایمنی شرکت‌کنندگان حفظ شد. یک تکرار به‌عنوان یک بار اجرای کامل حرکت پرشی تعیین‌شده تعریف شد. بین ست‌ها و تمرینات، ۶۰ ثانیه استراحت استاندارد در نظر گرفته شد. جزئیات روند پیشرفت تمرینات پلایومتریک در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. نمونه‌هایی از تمرینات نردبان چابکی: (الف) دویدن با یک پا در هر خانه و (ب) تمرین داخل–داخل–خارج–خارج



شکل ۳. نمونه‌هایی از تمرینات پلایومتریک: (الف) پرش اسکوات و (ب) پرش جانبی اسکیت‌باز

حضور در جلسات، پایبندی به مداخله و تغییرات پروتکل

برای هر دو گروه، سه جلسه تمرین نظارت‌شده در هفته به مدت شش هفته برنامه‌ریزی شد که در مجموع شامل ۱۸ جلسه برای هر شرکت‌کننده بود. حضور شرکت‌کنندگان در طول دوره مداخله در دفتر ثبت حضور مستند شد. یادآوری جلسات از طریق واتس‌اپ، تقریباً ۲۴ ساعت و دو ساعت پیش از زمان تعیین‌شده، برای شرکت‌کنندگان ارسال می‌شد. در صورت نیاز، امکان تغییر زمان جلسات و برگزاری جلسات جبرانی در همان هفته فراهم بود تا تعداد جلسات تمرینی تجویزشده حفظ شود. شرکت‌کنندگان همچنین تعهد کتبی برای تکمیل برنامه مداخله ارائه کردند. مقدار RPE جلسه پس از پایان هر جلسه تمرینی نظارت‌شده ثبت شد. بار تمرینی جلسه (sRPE) از حاصل‌ضرب نمره RPE در مدت جلسه، معادل ۴۵ دقیقه، محاسبه شد. میانگین RPE جلسه در گروه تمرینات نردبان چابکی ۴/۰۳ ± ۰/۲۹ و در گروه تمرینات پلایومتریک ۴/۰۰ ± ۰/۲۷ بود. میانگین بار تمرینی جلسه در این دو گروه به‌ترتیب ۱۸۱/۳۵ ± ۱۲/۹۱ و ۱۷۹/۸۱ ± ۱۲/۱۶ واحد قراردادی (AU) گزارش شد و تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده نشد (p=۰/۶۶۰). تمام ۵۲ شرکت‌کننده، هر ۱۸ جلسه تمرینی تعیین‌شده را تکمیل کردند. بنابراین، میزان تکمیل مداخله تجویزشده ۱۰۰ درصد بود و هیچ شرکت‌کننده‌ای از پژوهش خارج نشد. همچنین، در هیچ‌یک از گروه‌ها نیازی به جایگزینی تمرینات، تغییر پروتکل یا کاهش حجم برنامه تمرینی تعیین‌شده وجود نداشت. حجم تمرین اختصاصی بین گروه‌ها به دلیل تفاوت ماهیت مداخلات یکسان نبود. در گروه تمرینات نردبان چابکی، هر تمرین از دو ست سه‌بار پیمودن نردبان در هفته‌های اول و دوم، به سه ست سه‌بار پیمودن در هفته‌های سوم و چهارم و چهار ست سه‌بار پیمودن در هفته‌های پنجم و ششم افزایش یافت. در گروه تمرینات پلایومتریک، هر تمرین از دو ست ۱۰ تکراری در هفته‌های اول و دوم، به سه ست ۱۰ تکراری در هفته‌های سوم و چهارم و سه ست ۱۲ تکراری در هفته‌های پنجم و ششم افزایش یافت (جدول ۲). تعداد دفعات پیمودن نردبان و تعداد تکرارهای تمرینات پلایومتریک مختص ماهیت هر تمرین بودند و به‌عنوان شاخص‌های معادل بار کاری مکانیکی در نظر گرفته نشدند. ازآنجاکه مدت اجرای هر نوبت تمرین ثبت نشده بود، محاسبه نسبت عددی کار به استراحت امکان‌پذیر نبود. بنابراین، اگرچه ساختار جلسات و فاصله‌های استراحت استاندارد شده بودند، تفاوت در بارگذاری مکانیکی خارجی ممکن است در تفاوت‌های مشاهده‌شده بین گروه‌ها نقش داشته باشد. به شرکت‌کنندگان توصیه شد هرگونه درد، ناراحتی یا عارضه ناخواسته را بلافاصله گزارش کنند. تمام جلسات از نظر پایبندی به پروتکل، اجرای صحیح تمرینات و ایمنی شرکت‌کنندگان تحت نظارت قرار داشتند. در طول پژوهش، هیچ‌گونه عارضه ناخواسته یا آسیب مرتبط با تمرین گزارش نشد.

متغیرهای پیامد

ارزیابی متغیرهای پیامد در مرحله پیش‌آزمون و بلافاصله پس از پایان مداخله شش‌هفته‌ای، توسط یک ارزیاب و در شرایط استاندارد انجام شد. آزمون اصلاح‌شده چابکی T و آزمون چابکی ۵۰۵ برای ارزیابی عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده استفاده شدند. هر دو آزمون شامل الگوهای حرکتی از پیش تعیین‌شده و بدون محرک خارجی غیرقابل‌پیش‌بینی بودند؛ بنابراین، چابکی واکنشی را ارزیابی نمی‌کردند. ابتدا آزمون MAT و سپس آزمون چابکی ۵۰۵ اجرا شد و بین دو آزمون، سه دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. ترتیب آزمون‌ها و مدت استراحت برای تمام شرکت‌کنندگان یکسان بود. پیش از کوشش‌های اصلی، شرکت‌کنندگان یک یا دو کوشش آشنایی برای هر آزمون با شدت کمتر از حداکثر انجام دادند و سپس کوشش‌های ثبت‌شده با حداکثر تلاش موردنظر اجرا شدند. زمان اجرای آزمون‌ها به‌صورت دستی با استفاده از کرنومتر دیجیتال Casio HS-80TW-1DF ساخت شرکت کاسیو ژاپن اندازه‌گیری شد. اگرچه این کرنومتر قابلیت نمایش زمان در مقیاس میلی‌ثانیه را داشت، زمان‌ها با دقت نمایشی ۰/۰۱ ثانیه ثبت شدند؛ زیرا شروع و توقف زمان‌سنجی به‌صورت دستی انجام می‌شد. سامانه زمان‌سنجی الکترونیکی در محل پژوهش در دسترس نبود. برای حفظ یکنواختی روش اندازه‌گیری، در سراسر پژوهش از یک ارزیاب، یک کرنومتر و روش زمان‌سنجی یکسان استفاده شد. زمان‌سنجی دستی ممکن است تحت تأثیر خطای زمان واکنش ارزیاب قرار گیرد و در مقایسه با سامانه‌های زمان‌سنجی الکترونیکی، دقت اندازه‌گیری کمتری داشته باشد. این محدودیت به‌ویژه هنگام تفسیر تفاوت‌های نسبتاً کوچک تغییرات بین گروه‌ها در آزمون MAT (۰/۲۳ ثانیه) و آزمون چابکی ۵۰۵ (۰/۱۳ ثانیه) اهمیت دارد. اگرچه از روش‌های استاندارد استفاده شد، نمی‌توان احتمال تأثیر خطای زمان‌سنجی دستی بر این تفاوت‌ها را رد کرد. بنابراین، نتایج باید با احتیاط تفسیر شوند و پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از سامانه‌های زمان‌سنجی الکترونیکی برای افزایش دقت اندازه‌گیری استفاده شود.

آزمون اصلاح‌شده چابکی T

آزمون اصلاح‌شده چابکی T در مسیری به شکل حرف T اجرا شد. فاصله خط شروع تا مخروط مرکزی پنج متر، فاصله مخروط مرکزی تا هر یک از مخروط‌های جانبی ۵/۲ متر و فاصله مخروط مرکزی تا مخروط عقبی پنج متر بود. شرکت‌کنندگان در وضعیت ایستاده و با قرارگیری هر دو پا پشت خط شروع قرار گرفتند. با شنیدن علامت شروع، به سمت مخروط مرکزی حرکت کردند، حرکات جانبی و عقب‌روی تعیین‌شده را انجام دادند و با عبور از خط پایان، آزمون را تکمیل کردند. پس از یک یا دو کوشش آشنایی، شرکت‌کنندگان سه کوشش اصلی را با حداکثر تلاش موردنظر انجام دادند و بین کوشش‌ها سه دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. سریع‌ترین کوشش برای تحلیل آماری انتخاب شد. زمان اجرای کمتر نشان‌دهنده عملکرد بهتر تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده بود.

آزمون چابکی ۵۰۵

آزمون چابکی ۵۰۵ با استفاده از مسیر نزدیک‌شدن ۱۰ متری تا نقطه زمان‌سنجی اجرا شد. شرکت‌کنندگان در مسیر نزدیک‌شدن شتاب گرفتند، از نقطه زمان‌سنجی عبور کردند و پنج متر دیگر تا خط چرخش ادامه دادند. سپس چرخش ۱۸۰ درجه انجام دادند و در مسیر بازگشت، دوباره از نقطه زمان‌سنجی عبور کردند. هر شرکت‌کننده از اندام تحتانی ترجیحی خود برای چرخش استفاده کرد و همان اندام و جهت چرخش در تمام کوشش‌های ثبت‌شده حفظ شد. برای هر شرکت‌کننده فقط یک جهت چرخش ارزیابی شد؛ بنابراین، عملکرد چرخش در هر دو جهت بررسی نشد. پس از یک یا دو کوشش آشنایی، شرکت‌کنندگان سه کوشش اصلی را با

حداکثر تلاش موردنظر انجام دادند و بین کوشش‌ها سه دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. کمترین زمان اجرا برای تحلیل آماری استفاده شد. زمان کمتر نشان‌دهنده عملکرد بهتر تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده بود.

تحلیل آماری

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۹ برای ویندوز انجام شد. داده‌های توصیفی به‌صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شدند. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو–ویلک استفاده شد. ازآنجاکه انحراف معناداری از توزیع نرمال مشاهده نشد، روش‌های آماری پارامتریک به کار گرفته شدند. برای مقایسه زمان اجرای آزمون‌ها پس از مداخله بین گروه‌های تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک، تحلیل کوواریانس (ANCOVA) جداگانه برای آزمون‌های MAT و چابکی ۵۰۵ انجام شد. در هر تحلیل، مقدار متناظر پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر کمکی وارد مدل شد. این رویکرد امکان کنترل مقادیر پایه را هنگام برآورد تفاوت‌های بین‌گروهی در عملکرد پس از مداخله فراهم کرد. برای بررسی همگنی واریانس خطاها از آزمون لوین استفاده شد. نتایج به‌صورت میانگین‌های تعدیل‌شده، خطای استاندارد (SE)، فاصله اطمینان ۹۵ درصد (CI)، آماره F، مقادیر p و مجذور اتای سهمی (η^2p) گزارش شدند. برای مقایسه‌های زوجی میانگین‌های حاشیه‌ای برآوردشده، اصلاح بونفرونی اعمال شد. سطح معناداری آماری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. اندازه اثر بین‌گروهی با استفاده از شاخص d کوهن محاسبه شد. این شاخص از تقسیم تفاوت میانگین نمرات تغییر بین گروه‌ها بر انحراف معیار تجمیعی نمرات تغییر به دست آمد. نمرات تغییر از تفاضل مقادیر پس‌آزمون از پیش‌آزمون محاسبه شدند. فرمول مورد استفاده به‌صورت زیر بود:

D= (میانگین تغییرات گروه نردبان چابکی − میانگین تغییرات گروه پلایومتریک) ÷ انحراف معیار تجمیعی نمرات تغییر

پایایی درون‌جلسه‌ای سه کوشش تکراری با استفاده از ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای (ICC) ارزیابی شد. برای این منظور، مدل آمیخته دوطرفه با اندازه‌گیری منفرد ICC] (۱,۳) [به کار گرفته شد. همچنین، خطای استاندارد اندازه‌گیری (SEM) برای تعیین میزان خطای مطلق اندازه‌گیری محاسبه شد.

یافته‌ها

در مجموع، ۵۲ شرکت‌کننده پژوهش را تکمیل کردند که ۲۶ نفر به هر یک از دو گروه مداخله اختصاص یافته بودند. ویژگی‌های اولیه شرکت‌کنندگان در جدول ۱ ارائه شده است. دو گروه تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک در ابتدای پژوهش از نظر ویژگی‌های فردی و اندازه‌گیری‌های پایه تفاوت آماری معناداری نداشتند (p>۰/۰۵). پایایی درون‌جلسه‌ای با استفاده از سه کوشش تکراری ثبت‌شده در ارزیابی پیش از مداخله بررسی شد. ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای ICC (۱,۳) برای آزمون اصلاح‌شده چابکی T برابر با ۰/۹۹۰ (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از ۰/۹۸۴ تا ۰/۹۹۴) و برای آزمون چابکی ۵۰۵ برابر با ۰/۹۰۷ (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از ۰/۸۵۸۰ تا ۰/۹۴۲) بود. مقدار خطای استاندارد اندازه‌گیری (SEM) نیز برای هر دو آزمون ۰/۰۳۲ ثانیه به دست آمد.

مقادیر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون در جدول ۳ ارائه شده‌اند. در گروه تمرینات نردبان چابکی، زمان اجرای آزمون اصلاح‌شده چابکی T از ۰/۳۵ ± ۱۰/۳۷ ثانیه در پیش‌آزمون به ۰/۲۹ ± ۹/۷۱ ثانیه پس از شش هفته کاهش یافت که نشان‌دهنده میانگین کاهش ۰/۶۶ ثانیه (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از ۰/۴۸ تا ۰/۸۳ ثانیه) بود. در گروه

جدول ۳. آمار توصیفی شاخص‌های عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده پیش و پس از مداخله

شاخص	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	تفاوت میانگین	تفاوت بین‌گروهی تغییرات (فاصله اطمینان ۹۵٪)	اندازه اثر کوهن (d)
آزمون T چابکی اصلاح‌شده	گروه الف (تمرین نردبان چابکی)	۱۰/۳۷ ± ۰/۳۵	۹/۷۱ ± ۰/۲۹	۰/۶۶	۰/۲۳ (۰/۰۱–۰/۴۵)	۰/۵۸
	گروه ب (تمرین پلایومتریک)	۱۰/۳۳ ± ۰/۲۹	۹/۹۰ ± ۰/۲۴	۰/۴۳		
آزمون چابکی ۵۰۵	گروه الف (تمرین نردبان چابکی)	۲/۷۴ ± ۰/۱۱	۲/۴۴ ± ۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۱۳ (۰/۰۵–۰/۲۲)	۰/۸۹
	گروه ب (تمرین پلایومتریک)	۲/۷۲ ± ۰/۱۰	۲/۵۶ ± ۰/۰۸	۰/۱۶		

نکته: مقادیر به‌صورت میانگین ± انحراف معیار ارائه شده‌اند. زمان کمتر برای تکمیل آزمون نشان‌دهنده عملکرد بهتر در تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده است.

تمرینات پلایومتریک نیز زمان اجرای این آزمون از ۰/۲۹ ± ۱۰/۳۳ به ۰/۲۴ ± ۹/۹۰ ثانیه کاهش یافت که معادل میانگین کاهش ۰/۴۳ ثانیه (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از ۰/۲۸ تا ۰/۵۷ ثانیه) بود. به همین ترتیب، زمان اجرای آزمون چابکی ۵۰۵ در گروه تمرینات نردبان چابکی از ۲/۷۴ ± ۰/۱۱ به ۰/۰۹ ± ۲/۴۴ ثانیه و در گروه تمرینات پلایومتریک از ۰/۱۱ ± ۲/۷۲ به ۰/۰۸ ± ۲/۵۶ ثانیه کاهش یافت. میانگین کاهش زمان اجرا در این دو گروه به‌ترتیب ۰/۲۹ ثانیه (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از ۰/۲۲ تا ۰/۳۶ ثانیه) و ۰/۱۶ ثانیه (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از ۰/۱۰ تا ۰/۲۱ ثانیه) بود. تفاوت بین‌گروهی میانگین تغییرات در هر دو آزمون به نفع گروه تمرینات نردبان چابکی بود؛ به‌طوری‌که این تفاوت برای آزمون اصلاح‌شده چابکی T برابر با ۲۳/۰ ثانیه (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از ۰/۰۱ تا ۰/۴۵ ثانیه) و برای آزمون چابکی ۵۰۵ برابر با ۰/۱۳ ثانیه (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از ۰/۰۵ تا ۰/۲۲ ثانیه) بود. اندازه اثر متناظر بر اساس شاخص d کوهن نیز به‌ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۸۹ به دست آمد.

برای مقایسه عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده پس از مداخله بین دو گروه، با کنترل مقادیر متناظر پیش‌آزمون، تحلیل کوواریانس (ANCOVA) به‌صورت جداگانه برای هر آزمون انجام شد. همان‌طور که در جدول ۴ و شکل ۴ نشان داده شده است، میانگین تعدیل‌شده زمان اجرای آزمون اصلاح‌شده چابکی T پس از مداخله در گروه تمرینات نردبان چابکی ۰/۰۵۳ ± ۹/۷۰۶ ثانیه و در گروه تمرینات پلایومتریک ۰/۰۵۳ ± ۹/۹۰۲ ثانیه بود. تفاوت بین دو گروه از نظر آماری معنادار و به نفع گروه تمرینات نردبان

جدول ۴. مقایسه عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده پس از مداخله بین دو گروه با تحلیل کوواریانس (ANCOVA) و تعدیل نمرات پایه

متغیر	میانگین تعدیل‌شده (خطای معیار)، گروه الف	میانگین تعدیل‌شده (خطای معیار)، گروه ب	تفاوت میانگین تعدیل‌شده (الف – ب)، خطای معیار	F	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	مقدار p	مجذور اتای جزئی
آزمون چابکی T اصلاح‌شده	۹/۷۰۶ (۰/۰۵۳)	۹/۹۰۲ (۰/۰۵۳)	–۰/۱۹۶ (۰/۰۷۵)	۶/۹۰۷	–۰/۳۴۶ تا –۰/۰۴۶	۰/۰۱۱	۰/۱۲۴
آزمون چابکی ۵۰۵	۲/۴۴۴ (۰/۰۱۷)	۲/۵۵۸ (۰/۰۱۷)	–۰/۱۱۴ (۰/۰۲۴)	۲۲/۲۸۲	–۰/۱۶۲ تا –۰/۰۶۵	<۰/۰۰۱	۰/۳۱۳

نکته: برای مقایسه عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده پس از مداخله بین گروه تمرین نردبان چابکی و گروه تمرین پلایومتریک، از تحلیل کوواریانس (ANCOVA) با تعدیل نمره متناظر پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر کمکی استفاده شد. مقادیر شامل میانگین‌های تعدیل‌شده، خطای معیار، فاصله اطمینان ۹۵ درصد، آماره F، مقدار p و مجذور اتای جزئی ($p\eta^2$) هستند. زمان کمتر برای تکمیل آزمون نشان‌دهنده عملکرد بهتر در تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده است.

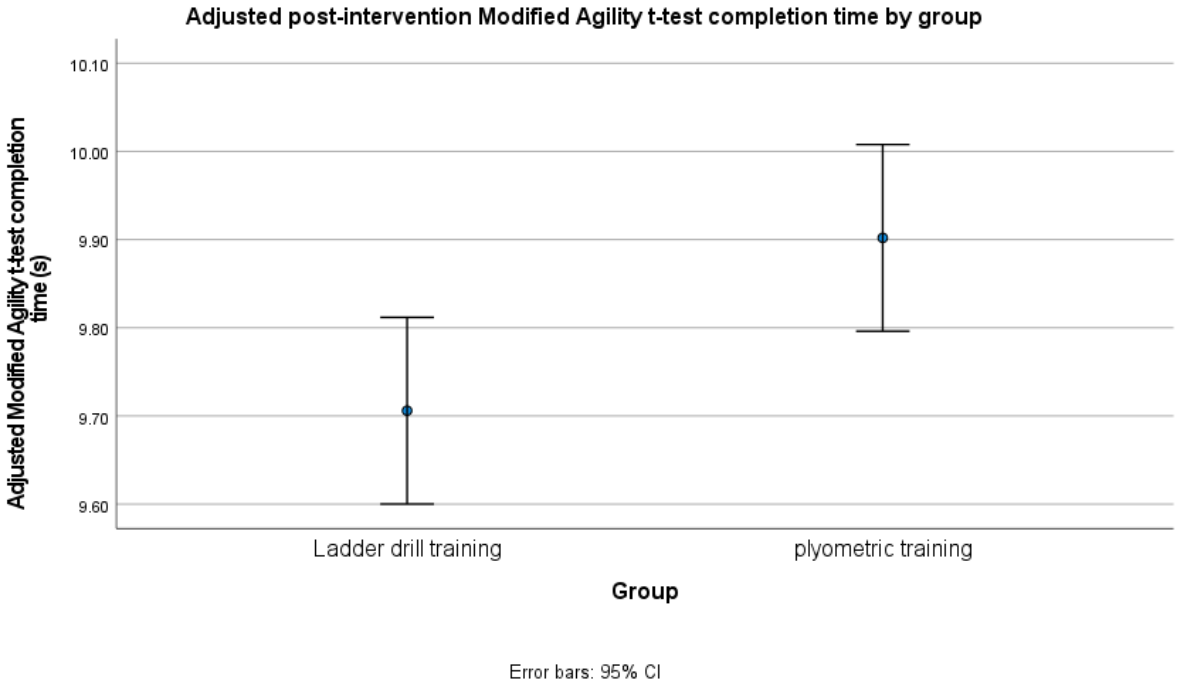
چابکی بود؛ به‌طوری‌که تفاوت میانگین تعدیل‌شده برابر با منفی ۰/۱۹۶ ثانیه (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از منفی ۰/۳۴۶ تا منفی ۰/۰۴۶ ثانیه)، آماره F با درجات آزادی ۱ و ۴۹ برابر با ۶/۹۰۷، مقدار p برابر با ۰/۰۱۱ و مجذور اتای سهمی برابر با ۰/۱۲۴ به دست آمد.

به همین ترتیب، در آزمون چابکی ۵۰۵، میانگین تعدیل‌شده زمان اجرا پس از مداخله در گروه تمرینات نردبان چابکی ۰/۰۱۷ ± ۲/۴۴۴ ثانیه و در گروه تمرینات پلایومتریک ۰/۰۱۷ ± ۰/۵۵۸ ثانیه بود (شکل ۵). این تفاوت نیز از نظر آماری معنادار و به نفع گروه تمرینات نردبان چابکی بود؛ به‌طوری‌که تفاوت میانگین تعدیل‌شده برابر با منفی ۰/۱۱۴ ثانیه (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: از منفی ۰/۱۶۲ تا منفی ۰/۰۶۵ ثانیه)، آماره F با درجات آزادی ۱ و ۴۹ برابر با ۲۲/۲۸۲، مقدار p کمتر از ۰/۰۰۱ و مجذور اتای سهمی برابر با ۰/۳۱۳ به دست آمد. خطای استاندارد اندازه‌گیری (SEM) به‌منظور تعیین میزان خطای مطلق اندازه‌گیری محاسبه شد. حداقل تغییر قابل‌تشخیص در سطح اطمینان ۹۵ درصد (MDC95) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$MDC95 = SEM \times 1.96 \times \sqrt{2}$$

با توجه به مقدار SEM برابر با ۰۳۲/۰ ثانیه برای هر دو متغیر پیامد، مقدار متناظر MDC95 برابر با ۰/۰۸۹ ثانیه به دست آمد. از شاخص MDC95 برای تفسیر بزرگی تغییرات مشاهده‌شده نسبت به خطای اندازه‌گیری استفاده شد. میزان کاهش زمان اجرای آزمون‌ها در هر دو گروه از مقدار محاسبه‌شده MDC95 بیشتر بود. بااین‌حال، MDC95 نشان‌دهنده آستانه تغییر قابل‌تشخیص در سطح فردی است و نباید به‌عنوان شواهد مستقیم مبنی بر بیشتر بودن تفاوت‌های بین‌گروهی از خطای اندازه‌گیری تفسیر شود.

بحث



شکل ۴. زمان اجرای آزمون اصلاح‌شده چابکی T پس از مداخله، با تعدیل مقادیر پایه، در گروه‌های تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک. میله‌های خطا نشان‌دهنده فاصله اطمینان ۹۵ درصد هستند



شکل ۵. میانگین‌های تعدیل‌شده بر اساس مقادیر پایه برای زمان اجرای آزمون چابکی ۵۰۵ پس از مداخله در گروه‌های تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک. میله‌های خطا نشان‌دهنده فاصله اطمینان ۹۵ درصد هستند.

پژوهش حاضر با استفاده از یک طرح کارآزمایی تصادفی‌سازی‌شده کنترل‌شده، تأثیر شش هفته تمرینات نردبان چابکی و تمرینات پلایومتریک را بر عملکرد تغییر جهت در بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه مقایسه کرد. پس از مداخله، زمان اجرای آزمون اصلاح‌شده چابکی T و آزمون چابکی ۵۰۵ در هر دو گروه کاهش یافت. بااین‌حال، مقایسه‌های تعدیل‌شده بر اساس مقادیر پایه نشان داد که تمرینات نردبان چابکی در هر دو شاخص تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده، نتایج مطلوب‌تری نسبت به تمرینات پلایومتریک داشتند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تمرینات نردبان چابکی ممکن است در مقایسه با برنامه پلایومتریک استفاده‌شده در پژوهش حاضر، مزیت بیشتری برای بهبود عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده داشته باشند. بااین‌وجود، تفاوت‌های بین‌گروهی باید با احتیاط تفسیر شوند؛ زیرا دو مداخله از نظر نیازهای مکانیکی و احتمالاً بار تمرینی همسان‌سازی‌نشده متفاوت بودند و خطای اندازه‌گیری ناشی از زمان‌سنجی دستی نیز ممکن است بر نتایج تأثیر گذاشته باشد.

مطالعات پیشین تأثیر تمرینات مبتنی بر نردبان چابکی را بر سرعت، چابکی و عملکرد مرتبط با تغییر جهت در بازیکنان بدمینتون و سایر ورزشکاران بررسی کرده‌اند (۱۷, ۲۱, ۲۲, ۲۴). چاندراکومار و رامش (۱۷) بهبود سرعت و چابکی را پس از تمرینات نردبان چابکی و تمرینات سرعت، چابکی و سرعت عمل (SAQ) در بازیکنان بدمینتون باشگاهی گزارش کردند. به همین ترتیب، سانریجایا و همکاران (۲۲) تغییرات مطلوبی در سرعت و چابکی پس از اجرای انواع مختلف تمرینات نردبان چابکی مشاهده کردند. بای و سلونَایاگام (۲۴) نیز بهبود عملکرد مرتبط با چابکی، ازجمله شاخص‌های تغییر جهت، را پس از تمرینات مبتنی بر نردبان چابکی در بازیکنان بدمینتون گزارش کردند. همچنین، باسا و همکاران (۲۱) بهبود عملکرد تغییر جهت را در بازیکنان نوجوان والیبال دختر پس

از اجرای یک برنامه ترکیبی شامل تمرینات نردبان چابکی، تمرینات پلایومتریک و تمرینات سرعت چندجهته گزارش کردند. اگرچه این یافته‌ها از مزایای احتمالی تمرینات مبتنی بر نردبان چابکی برای عملکرد حرکتی حمایت می‌کنند، تفاوت در ویژگی‌های شرکت‌کنندگان، پروتکل‌های مداخله و روش‌های ارزیابی باید هنگام تفسیر شواهد در نظر گرفته شود. بنابراین، پژوهش حاضر با مقایسه مستقیم شش هفته تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک بر عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه، شواهد موجود را گسترش می‌دهد.

یکی از توضیحات احتمالی برای بهبود بیشتر مشاهده‌شده در گروه تمرینات نردبان چابکی، تمرین مکرر توالی‌های سریع جای‌گذاری پا و حرکات گام‌برداری متوالی است. تمرینات نردبان چابکی مستلزم سازمان‌دهی سریع محل قرارگیری پاها، حفظ تماس‌های مکرر با زمین و حرکت در الگوهای حرکتی از پیش تعیین‌شده هستند. این تمرینات فرصت‌های تکرارشونده‌ای برای تمرین زمان‌بندی و موقعیت‌یابی گام‌های متوالی و انتقال بین تماس‌های پا با زمین فراهم می‌کنند (۲۴). اجرای کارآمدتر این توالی‌های حرکتی از نظر نظری می‌تواند به کاهش زمان تکمیل تکالیف حرکتی از پیش برنامه‌ریزی‌شده کمک کند. بااین‌حال، بسامد گام‌برداری، ویژگی‌های تماس پا با زمین، دقت جای‌گذاری پا، تعادل پویا و سینماتیک حرکات اندام تحتانی در پژوهش حاضر به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشدند. بنابراین، این عوامل صرفاً توضیحات احتمالی برای تغییرات عملکردی مشاهده‌شده هستند و نباید به‌عنوان سازگاری‌های فیزیولوژیکی یا بیومکانیکی تأییدشده تلقی شوند.

مزیت احتمالی تمرینات نردبان چابکی را می‌توان بر اساس اصل ویژگی تمرین تفسیر کرد. بر اساس این اصل، انتقال اثر تمرین به عملکرد تحت تأثیر میزان تطابق محرک تمرینی با نیازهای فعالیت هدف قرار دارد (۴۰–۴۲). در پژوهش حاضر، تمرینات نردبان چابکی بر گام‌برداری سریع و الگوهای جای‌گذاری پا تأکید داشتند، درحالی‌که آزمون‌های MAT و چابکی ۵۰۵ مستلزم اجرای توالی‌های حرکتی از پیش تعیین‌شده همراه با تغییر جهت بودند (۴۳, ۴۴). بنابراین، بهبود بیشتر پس از تمرینات نردبان چابکی با احتمال انتقال اثر اختصاصی تمرین به تکالیف حرکتی مورد ارزیابی سازگار است؛ هرچند شباهت بیومکانیکی بین تمرینات و آزمون‌ها در این مطالعه به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشد.

مطالعات پیشین تأثیر تمرینات مبتنی بر پلایومتریک را بر عملکرد تغییر جهت (COD) در بازیکنان بدمینتون بررسی کرده‌اند. گوئو و شو (۴۶) عملکرد تغییر جهت را پس از یک برنامه هشت‌هفته‌ای ترکیبی تمرینات تعادلی و پلایومتریک در بازیکنان جوان بدمینتون ارزیابی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که گروه تمرینات ترکیبی در مقایسه با گروه تمرینات پلایومتریک به‌تنهایی، بهبود بیشتری در آزمون T اصلاح‌شده و آزمون شش‌ضلعی داشت. به همین ترتیب، گوئو و همکاران (۴۹) تأثیر شش هفته تمرینات ترکیبی تعادلی و پلایومتریک را در مقایسه با تمرینات پلایومتریک به‌تنهایی در بازیکنان نخبه بدمینتون بررسی کردند. هر دو گروه بهبود عملکرد تغییر جهت را نشان دادند؛ بااین‌حال، گروه تمرینات ترکیبی در آزمون ۵۰۵ بهبود بیشتری داشت، درحالی‌که در آزمون SEMO تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده نشد. در مجموع، این مطالعات نشان می‌دهند که روش‌های تمرینی مبتنی بر پلایومتریک می‌توانند عملکرد تغییر جهت را در بازیکنان بدمینتون بهبود دهند؛ هرچند میزان بهبود ممکن است بر اساس ترکیب تمرینات و روش ارزیابی متفاوت باشد.

به‌طور کلی، تمرینات پلایومتریک شامل انقباضات سریع برون‌گرا و درون‌گرای عضلانی از طریق چرخه کشش–کوتاه‌شدن هستند که می‌توانند از عملکرد انفجاری و تولید سریع نیرو حمایت کنند (۲۸, ۲۹, ۳۱, ۵۰). دانشجو و رئیسی (۵۱) نیز تغییراتی در عملکرد انفجاری و شاخص‌های مرتبط با چابکی پس از یک برنامه هشت‌هفته‌ای تمرینات پلایومتریک در ورزشکاران نخبه پارکور گزارش

کردند که شواهد تکمیلی از جمعیت ورزشی دیگری فراهم می‌کند. این سازگاری‌ها ممکن است در شتاب‌گیری، تولید نیروی پیش‌برنده و تولید نیرو هنگام تغییر جهت نقش داشته باشند. بهبود مشاهده‌شده در گروه تمرینات پلایومتریک پژوهش حاضر نیز با نقش احتمالی این تمرینات در بهبود عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده سازگار است.

نیازهای مکانیکی آزمون‌های تغییر جهت ممکن است تاحدی به تبیین بهبود نسبتاً کمتر مشاهده‌شده پس از تمرینات پلایومتریک کمک کنند. هر دو آزمون اصلاح‌شده چابکی T و چابکی ۵۰۵ شامل شتاب‌گیری، کاهش سرعت و انتقال بین جهت‌های حرکتی هستند؛ با این تفاوت که آزمون ۵۰۵ علاوه بر این موارد، مستلزم چرخش ۱۸۰ درجه نیز هست. بنابراین، اجرای موفق این آزمون‌ها نه‌تنها به تولید سریع نیرو، بلکه به توانایی کنترل تکانه افقی هنگام ترمزگیری و تولید نیرو در جهت جدید حرکت وابسته است. اگرچه تمرینات پلایومتریک از طریق انقباضات سریع برون‌گرا و درون‌گرا و چرخه کشش–کوتاه‌شدن موجب توسعه توان انفجاری اندام تحتانی می‌شوند (۲۸, ۲۹, ۳۱)، این سازگاری‌ها ممکن است به یک اندازه به تمام تکالیف تغییر جهت منتقل نشوند. چنین انتقالی تحت تأثیر میزان تطابق تمرینات با نیازهای مکانیکی فعالیت هدف قرار دارد (۴۰، ۴۱).

در پژوهش حاضر، برنامه پلایومتریک شامل پرش اسکوات، پرش اسکوات قیچی، پرش جانبی اسکیت‌باز، پرش جانبی از روی مانع مخروطی و پرش تک‌پا بود. اگرچه تمرینات جانبی و تک‌پا شامل حرکات چندجهته و نیازهای مکانیکی فرود بودند، این برنامه به‌صورت نظام‌مند بر کاهش سرعت افقی، ترمزگیری تک‌پا و تغییر جهت متعاقب آن تأکید نداشت. علاوه بر این، جذب نیروی برون‌گرا هنگام فرود لزوماً بازتولیدکننده نیازهای ترمزگیری و تغییر جهت بردار نیرو در حرکات سریع تغییر جهت نیست. در مقابل، تمرینات نردبان چابکی فرصت‌های مکرری برای تمرین گام‌برداری متوالی و تنظیم محل قرارگیری پا فراهم می‌کردند که ممکن است تطابق حرکتی بیشتری با تکالیف تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده مورد ارزیابی در این مطالعه داشته باشند. این تفاوت در نیازهای اختصاصی تمرینات ممکن است تاحدی به تبیین بهبود کمتر پس از تمرینات پلایومتریک کمک کند. بااین‌حال، این تفسیر همچنان فرضی است؛ زیرا نیروهای ترمزگیری، نیروهای عکس‌العمل زمین و سینماتیک اندام تحتانی به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشدند.

در تفسیر یافته‌های پژوهش باید چند محدودیت در نظر گرفته شود. نخست، اگرچه مدت مداخله، تعداد جلسات و برنامه زمانی تقریبی جلسات در هر دو گروه یکسان بود، حجم تمرین اختصاصی و نیازهای مکانیکی تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک به‌طور مستقیم همسان‌سازی نشدند. تمرینات نردبان چابکی شامل تماس‌های مکرر پا با زمین در جریان گام‌برداری بودند، درحالی‌که تمرینات پلایومتریک شامل حرکات انفجاری پرش و جهش و فرودهای مرتبط با آن‌ها بودند. اگرچه شدت مداخله با استفاده از مقیاس صفر تا ۱۰ درک فشار تمرین در جلسات نظارت‌شده پایش شد، بار کاری مکانیکی اختصاصی تمرینات و بار تمرینی خارجی به‌صورت کمی همسان‌سازی نشدند. بنابراین، تفاوت‌های مشاهده‌شده بین گروه‌ها ممکن است هم بازتاب ویژگی اختصاصی حرکات تمرینی و هم ناشی از تفاوت در حجم تمرین و بارگذاری مکانیکی باشند. میزان تمرینات معمول بدمینتون در هر دو گروه در حدود دو ساعت در روز و پنج روز در هفته حفظ شد. بااین‌حال، مقادیر RPE و سایر شاخص‌های فیزیولوژیکی در طول تمرینات معمول بدمینتون ثبت نشدند. در نتیجه، نمی‌توان تأثیر احتمالی تفاوت‌های بار تمرینی تجمعی و خستگی ناشی از تمرینات معمول را بر عملکرد به‌طور کامل رد کرد. افزون بر این، نبود گروه کنترل با تمرینات معمول به‌تنهایی، امکان تفکیک تأثیر مداخلات آزمایشی از تمرینات مستمر بدمینتون، مواجهه مکرر با آزمون‌ها، آشنایی با آزمون، اثرات یادگیری و تغییرپذیری طبیعی عملکرد را محدود می‌کند. استفاده از کرنومتر دستی برای ثبت زمان اجرای آزمون‌ها یکی دیگر از محدودیت‌های روش‌شناختی پژوهش بود. اگرچه زمان‌ها با دقت نمایشی

۰/۰۱ ثانیه ثبت شدند، این دقت نمایشی نمی‌تواند خطاهای احتمالی ناشی از شروع و توقف دستی زمان‌سنجی را حذف کند. استفاده از سامانه‌های زمان‌سنجی الکترونیکی می‌تواند روش عینی‌تری برای ثبت عملکرد فراهم کند. سایر محدودیت‌های روش‌شناختی شامل نمونه‌گیری در دسترس از یک آکادمی بدمینتون بود که ممکن است تعمیم‌پذیری یافته‌ها را به جمعیت‌هایی فراتر از بازیکنان سطح زیرنخبه ۱۸ تا ۳۰ سال محدود کند. اگرچه تخصیص شرکت‌کنندگان به‌صورت مستقل و با استفاده از روش قرعه‌کشی همراه با پنهان‌سازی تخصیص انجام شد، از توالی تصادفی‌سازی تولیدشده با رایانه استفاده نشد. همچنین، پژوهش پیش از آغاز اجرا در یک سامانه عمومی ثبت کارآزمایی بالینی ثبت نشده بود. دوره مداخله شش‌هفته‌ای نیز فاقد ارزیابی پیگیری بود؛ بنابراین، میزان ماندگاری بهبودها پس از توقف تمرینات مشخص نیست. افزون بر این، حجم نمونه در ابتدا بر اساس آزمون t مستقل محاسبه شده بود و پس از انتخاب مدل تحلیل کوواریانس با کنترل مقادیر پایه، دوباره محاسبه نشد. بنابراین، ممکن است توان آماری پژوهش برای شناسایی تفاوت‌های بین‌گروهی بر اساس رویکرد تحلیلی نهایی بهینه نبوده باشد.پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک را با استفاده از بارهای تمرینی کمّی‌سازی‌شده و تا حد امکان قابل‌مقایسه بررسی کنند. ثبت RPE جلسه در هر دو بخش مداخله و تمرینات معمول بدمینتون، همراه با مدت واقعی جلسات و تعداد تکرارها و تماس‌های اختصاصی هر تمرین، می‌تواند به توصیف دقیق‌تر بارهای تمرینی درونی و خارجی کمک کند. ارزیابی‌های مبتنی بر ابزارهای اندازه‌گیری می‌توانند تکانه ترمزگیری، نیروهای عکس‌العمل زمین، جهت‌گیری بردار نیرو و سینماتیک حرکت را در تکالیف تغییر جهت بررسی کنند. استفاده از آزمون‌های چابکی واکنشی، تکالیف حرکتی اختصاصی زمین بدمینتون، سامانه‌های زمان‌سنجی الکترونیکی و گروه کنترل با تمرینات معمول می‌تواند به تعیین میزان انتقال بهبودها به سایر شاخص‌های عملکردی کمک کند. همچنین، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده حجم نمونه را متناسب با تحلیل آماری برنامه‌ریزی‌شده محاسبه کنند، دوره‌های پیگیری طولانی‌تری داشته باشند و شرکت‌کنندگان را از چندین محیط تمرینی جذب کنند تا ماندگاری و تعمیم‌پذیری یافته‌ها با دقت بیشتری بررسی شود.

نتیجه‌گیری نهایی

پس از شش هفته تمرین، سرعت تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده که با استفاده از آزمون اصلاح‌شده چابکی T و آزمون چابکی ۵۰۵ ارزیابی شد، در هر دو گروه تمرینات نردبان چابکی و پلایومتریک بهبود یافت که این بهبود با کاهش زمان اجرای آزمون‌ها همراه بود. میزان کاهش زمان اجرا در هر دو آزمون، از نظر عددی در گروه تمرینات نردبان چابکی بیشتر بود. بااین‌حال، یافته‌های بین‌گروهی باید با توجه به خطای احتمالی اندازه‌گیری ناشی از زمان‌سنجی دستی و تفاوت در بارهای تمرینی اختصاصی دو مداخله، با احتیاط تفسیر شوند. هر دو روش تمرینی ممکن است به بهبود عملکرد تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده در بازیکنان بدمینتون سطح زیرنخبه کمک کنند. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده رویکردی ترکیبی شامل تمرینات گام‌برداری مبتنی بر نردبان چابکی و تمرینات پلایومتریک را بررسی کنند تا مشخص شود آیا اثرات مکمل این دو روش تمرینی می‌توانند عملکرد تغییر جهت را در بازیکنان بدمینتون بیش‌ازپیش بهبود بخشند. یافته‌های پژوهش حاضر صرفاً به تکالیف تغییر جهت از پیش برنامه‌ریزی‌شده مورد ارزیابی محدود هستند و نباید به چابکی واکنشی یا چابکی اختصاصی بدمینتون در جریان مسابقه تعمیم داده شوند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش به تأیید هیئت بررسی علمی دانشکده فیزیوتراپی ساویتا با شماره تأیید 005/10/2025/ISRB/UGSR/SCPT رسیده است. پیش از آغاز شرکت در پژوهش، رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از تمامی شرکت‌کنندگان دریافت شد.

حامی مالی

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

مشارکت نویسندگان

آنوشیلا آر. اِن: مفهوم‌پردازی، روش‌شناسی، تحلیل رسمی داده‌ها و نگارش پیش‌نویس اولیه مقاله.

دانوسیا اس: روش‌شناسی، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازبینی و ویرایش مقاله.

سوریا اِن: مفهوم‌پردازی، بازبینی و ویرایش مقاله.

پریادارشینی کومار: اجرای پژوهش و گردآوری داده‌ها، بازبینی و ویرایش مقاله.

وانیتا جایاراج: مدیریت پروژه و روش‌شناسی.

پراتاپ سوگانتی‌رابابو: نظارت علمی و تحلیل رسمی داده‌ها.

تمام نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کرده‌اند.

تعارض

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

References

1. Winata B, Brochhagen J, Apriantono T, Hoppe MW. Match-play data according to playing categories in badminton: a systematic review. Frontiers in Sports and Active Living. 2025;7:1466778. [DOI:10.3389/fspor.2025.1466778]

2. Pardiwala DN, Subbiah K, Rao N, Modi R. Badminton injuries in elite athletes: a review of epidemiology and biomechanics. Indian Journal of Orthopaedics. 2020;54(3):237-245. [DOI:10.1007/s43465-020-00054-1]

3. Macquet AC, Fleurance P. Naturalistic decision-making in expert badminton players. Ergonomics. 2007;50(9):1433-1450. [DOI:10.1080/00140130701393452]

4. Sharma P, Samant N, Keshav K, Mishra S. Injury profile in badminton players of Asian countries: a systematic review and meta-analysis. Journal of Arthroscopic Surgery and Sports Medicine. 2025;6(2):93-103. [DOI:10.25259/JASSM_51_2024]

5. Cabak A, Ciok M. Assessment of sport-related injuries in badminton players and the applied treatment approaches. Polish Journal of Sports Medicine. 2020;36(3):145-150.

6. Arora M, Shetty SH, Khedekar RG, Kale S. Over half of badminton players suffer from shoulder pain: is impingement to blame? Journal of Arthroscopy and Joint Surgery. 2015;2(1):33-36. [DOI:10.1016/j.jajs.2014.12.006]

7. Malwanage KT, Senadheera VV, Dassanayake TL. Effect of balance training on footwork performance in badminton: an interventional study. PLOS ONE. 2022;17(11):e0277775. [DOI:10.1371/journal.pone.0277775]

8. Phomsoupha M, Laffaye G. The science of badminton: game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. Sports Medicine. 2015;45(4):473-495. [DOI:10.1007/s40279-014-0287-2]

9. Cabello Manrique D, González-Badillo JJ. Analysis of the characteristics of competitive badminton. British Journal of Sports Medicine. 2003;37(1):62-66. [DOI:10.1136/bjsm.37.1.62]

10. Edel A, Vuong JL, Kaufmann S, Hoos O, Wiewelhove T, Ferrauti A. Metabolic profile in elite badminton match play and training drills. European Journal of Sport Science. 2024;24(11):1639-1652. [DOI:10.1002/ejsc.12196]

11. Kalantariyan M, Zarghami Aliabad S, Khalandi J. Investigating the effects of sport-metric training on functional factors related to lower limb injuries and skill variables in young futsal players. Journal of Sport Biomechanics. 2025;10(4):346-360. [DOI:10.61186/JSportBiomech.10.4.346]

12. Apte S, Karami H, Vallat C, Gremeaux V, Aminian K. In-field assessment of change-of-direction ability with a single wearable sensor. Scientific Reports. 2023;13(1):4518. [DOI:10.1038/s41598-023-30773-y]

13. Wong TK, Ma AW, Liu KP, Chung LM, Bae YH, Fong SS, et al. Balance control, agility, eye-hand coordination, and sport performance of amateur badminton players: a cross-sectional study. Medicine. 2019;98(2):e14134. [DOI:10.1097/MD.0000000000014134]

14. Shadkanlu Ostad M, Norasteh AA, Babagoltabar Samakoush H. Comparison of static and dynamic balance of athletes of different sports in conditions with and without posture disturbances. Journal of Sport Biomechanics. 2019;4(4):16-27. [DOI:10.32598/biomechanics.4.4.16]

15. Shishido H, Nishijima T. Indicator analysis of the footwork in the world's top badminton athletes based on markerless motion measurement. Frontiers in Sports and Active Living. 2026;8:1753118. [DOI:10.3389/fspor.2026.1753118]

16. Kuntze G, Mansfield N, Sellers W. A biomechanical analysis of common lunge tasks in badminton. Journal of Sports Sciences. 2010;28(2):183-191. [DOI:10.1080/02640410903428533]

17. Chandrakumar N, Ramesh C. Effect of ladder drill and SAQ training on speed and agility among sports club badminton players. International Journal of Applied Research. 2015;1(12):527-529.

18. Khanina N, Hazar F, Damayanti E, Bayu S. The effect of ladder drill training on speed and agility improvement in junior badminton athletes aged 11-14 years. Journal of Racket Sports Performance & Science. 2025;1(1):8-15.

19. Ramadhan R, Subarkah A, Wardoyo H. Development of footwork training model for badminton. Scientific Journal of Sport Coaching and Education. 2018;2(2):150-158. [DOI:10.21009/JSCE.02208]

20. Pojskic H, Pagaduan J, Uzicanin E, Separovic V, Spasic M, Foretic N, et al. Reliability, validity and usefulness of a new response time test for agility-based sports: a simple vs. complex motor task. Journal of Sports Science & Medicine. 2019;18(4):623-635.

21. Bassa E, Lola AC, Melliou A, Prassa M, Stavropoulou G, Ziogas N. Agility ladder training combined with plyometric or multidirectional speed drills: short-term adaptations on jump, speed, and change

of direction performance in young female volleyball players. Pediatric Exercise Science. 2024;36(4):248-257. [DOI:10.1123/pes.2024-0024]

22. Sanrijaya N, Wiriawan O, Wibowo S. Increased speed and agility through ladder drill variations. Competitor: Jurnal Pendidikan Kepelatihan Olahraga. 2023;15(2):269-281. [DOI:10.26858/cjpko.v15i2.47333]

23. Banole SP, Sathya P, Roy F, Paul J. Effectiveness of Southeast Missouri (SEMO) agility drill along with ladder drill exercises versus zig-zag drill along with ladder drill exercises on agility in recreational badminton players: a randomized controlled trial. Journal of Ecophysiology and Occupational Health. 2025;25(2):1-8. [DOI:10.18311/jeoh/2025/46411]

24. Bai L, Selvanayagam VS. Effect of dual task ladder training on physical function among badminton players. Scientific Reports. 2026;16(1):22747. [DOI:10.1038/s41598-026-51687-5]

25. McGarrigal LD, Morse CI, Sims DT, Stebbings GK. Development of stretch-shortening cycle function in girls during maturation and in response to training: a narrative review. Journal of Strength and Conditioning Research. 2025;39(8):e1043-e1051. [DOI:10.1519/JSC.0000000000005191]

26. Jensen RL, Ebben WP. Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. Journal of Strength and Conditioning Research. 2007;21(3):763-767. [DOI:10.1519/00124278-200708000-00018]

27. Meylan CM, Nosaka K, Green J, Cronin JB. Temporal and kinetic analysis of unilateral jumping in the vertical, horizontal, and lateral directions. Journal of Sports Sciences. 2010;28(5):545-554. [DOI:10.1080/02640411003628048]

28. Booth MA, Orr R. Effects of plyometric training on sports performance. Strength & Conditioning Journal. 2016;38(1):30-37. [DOI:10.1519/SSC.0000000000000183]

29. Davies G, Riemann BL, Manske R. Current concepts of plyometric exercise. International Journal of Sports Physical Therapy. 2015;10(6):760-786.

30. Bhosale N, Yeole U, Chavarkar M. Effect of plyometric training on jumping performance and agility in badminton players. Indian Journal of Public Health Research & Development. 2020;11(6):532-537.

31. Eraslan L, Castelein B, Spanhove V, Orhan C, Duzgun I, Cools A. Effect of plyometric training on sport performance in adolescent overhead athletes: a systematic review. Sports Health. 2021;13(1):37-44. [DOI:10.1177/1941738120938007]

32. Rædergård HG, Falch HN, van den Tillaar R. Effects of strength vs. plyometric training on change of direction performance in experienced soccer players. Sports. 2020;8(11):144. [DOI:10.3390/sports8110144]

33. Jlid MC, Coquart J, Maffulli N, Paillard T, Bisciotti GN, Chamari K. Effects of in-season multi-directional plyometric training on vertical jump performance, change of direction speed and dynamic postural control in U-21 soccer players. Frontiers in Physiology. 2020;11:374. [DOI:10.3389/fphys.2020.00374]

34. Majeed KNA, Latheef MNA. Effects of plyometric training on agility and dynamic postural control in badminton players. International Journal of Sports Sciences and Fitness. 2016;6(2):100-112.

35. Akhila G, Kumar R. Effect of plyometric training for development of agility among hockey players of Hyderabad district in Telangana state. Journal of Sports Science and Nutrition. 2021;2(1):82-83. [DOI:10.33545/27077012.2021.v2.i1b.37]

36. Prachita PW, Josheeta S. Effect of plyometric exercises versus speed agility quickness training on agility, speed, power, dynamic balance and reaction time in amateur badminton players. International Journal of Physiotherapy Research. 2023;11(3):4524-4530. [DOI:10.16965/ijpr.2023.124]

37. Keerthana M, Senthil Kumar S, Priyadharshini Kumar, Meenakshi V, Kalaiarasi B. The effectiveness of plyometric and proprioceptive training on dynamic balance among karate athletes: randomized controlled study. Sportis. Scientific Journal of School Sport, Physical Education and Psychomotricity. 2026;12(2):1-19. [DOI:10.17979/sportis.2026.12.2.12538]

38. Praveenkumar R, Kamalakannan M, Suganthirababu P, Alagesan J. Efficacy of plyometric training versus postural exercises in volleyball players on improving their landing mechanics and functional performance using AI software. In: Kumar A, Gunjan VK, Senatore S, Hu YC, editors. Proceedings of the 6th International Conference on Data Science, Machine Learning and Applications, Volume 2. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore: Springer; 2026. p. 949-955. [DOI:10.1007/978-981-95-5835-3_140]

39. Ramalingam V, Nivasini G, Purushothaman VK, Kaladharan VN, Subbarayalu AV, Marimuthu PR. Effect of 6-week land-based plyometric training versus regular basketball training on lower limb injury incidence among basketball players. Health, Sport, Rehabilitation. 2026;12(2):72-85. [DOI:10.58962/HSR.1172]

40. Young WB, McDowell MH, Scarlett BJ. Specificity of sprint and agility training methods. Journal of Strength and Conditioning Research. 2001;15(3):315-319. [DOI:10.1519/1533-4287(2001)0152.0.CO;2]

41. Brazil A, Exell T, Wilson C, Irwin G. A biomechanical approach to evaluate overload and specificity characteristics within physical preparation exercises. Journal of Sports Sciences. 2020;38(10):1140-1149. [DOI:10.1080/02640414.2020.1743065]

42. Keiner M, Warneke K, Skratek J, Kadlubowski B, Beinert K, Wittke A, et al. Specificity in change of direction training: impact on performance across different tests. Journal of Strength and Conditioning Research. 2025;39(9):945-951. [DOI:10.1519/JSC.0000000000005171]

43. Fernandez-Fernandez J, Loturco I, Hernández-Davó JL, Nakamura FY, García-Tormo V, Álvarez-Dacal F, et al. On-court change of direction test: an effective approach to assess COD performance in badminton players. Journal of Human Kinetics. 2022;82:155-164. [DOI:10.2478/hukin-2022-0042]

44. Stewart PF, Turner AN, Miller SC. Reliability, factorial validity, and interrelationships of five commonly used change of direction speed tests. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2014;24(3):500-506. [DOI:10.1111/sms.12019]

45. Heang LJ, Hoe WE, Quin CK, Yin LH. Effect of plyometric training on the agility of students enrolled in required college badminton program. International Journal of Applied Sports Sciences. 2012;24(1):18-24. [DOI:10.24985/ijass.2012.24.1.18]

46. Guo C, Xu M. The effect of 8-week combined balance and plyometric training on change of direction performance of young badminton players. Scientific Reports. 2025;15(1):21181. [DOI:10.1038/s41598-025-08101-3]

47. Niyazov A, Madiyeva G, Krugovykh I, Milashius K, Ongarbaeva D. The effect of the Shuttle Time program on the physical and technical training of badminton athletes. International Journal of Kinesiology and Sports Science. 2024;12(3):44-51. [DOI:10.7575/10.7575/aiac.ijkss.v.12n.3p.44]

48. Cherni Y, Mzita I, Oranchuk DJ, Dhahbi W, Hammami M, Ceylan HI, et al. Effects of loaded vs unloaded plyometric training combined with change-of-direction sprints on neuromuscular performance in elite U-18 female basketball players: a randomized controlled study. Sport Sciences

for Health. 2025;21(4):2899-2911. [DOI:10.1007/s11332-025-01498-4]

49. Guo Z, Huang Y, Zhou Z, Leng B, Gong W, Cui Y, et al. The effect of 6-week combined balance and plyometric training on change of direction performance of elite badminton players. Frontiers in Psychology. 2021;12:684964. [DOI:10.3389/fpsyg.2021.684964]

50. Magendran D, Annadurai B, Ramalingam V, Rahman K. The effectiveness of plyometric training and aquatic training on patellar tendinopathy among university-level volleyball players. Journal of Modern Rehabilitation. 2025;19(4):358-364. [DOI:10.18502/jmr.v19i4.19772]

51. Daneshjoo A, Raeisi S. Effect of eight weeks plyometric training on some kinematic parameters, horizontal jumping power, agility, and body composition in elite parkour athletes. Journal of Sport Biomechanics. 2020;6(1):54-65. [DOI:10.32598/biomechanics.6.1.1]