Archives of
Rehabilitation

Winter 2025. Vol 25. Num 4

Research Article

The Effect of Core Stabilization Exercises Compared to Balance Training on Proprioception and Dynamic Balance in Healthy Female Amateur Soccer Players: A Randomized Controlled Trial

Zahra Mavaeian[1], *Seyed Mohsen Mir[1], Azadeh Shadmehr[1], Kazem Malmir[1]

1. Department of Physical Therapy, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Mavaeian Z, Mir SM, Shadmehr A, Malmir K. [The Effect of Core Stabilization Exercises Compared to Balance Training on Proprioception and Dynamic Balance in Healthy Female Amateur Soccer Players: A Randomized Controlled Trial (Persian)]. Archives of Rehabilitation. 2025; 25(4):864-889. https://doi.org/10.32598/RJ.25.4.3881.1

https://doi.org/10.32598/RJ.25.4.3881.1

ABSTRACT

Objective Many articles have demonstrated the beneficial impact of core stability training (CST) in lowering the risk of injury while exercising. However, the specific reasons for this effect have not been thoroughly investigated. Based on studies, proprioceptive and dynamic balance improvement positively reduces the risk of sports injuries. So, it is important to explore further the impact of these exercises on the specific factors contributing to reducing the risk of injury during sports activities.

Aims: This research aims to evaluate the impact of 6 weeks of CST and balance training (BT) programs on knee proprioception and dynamic balance in healthy female amateur athletes.

Materials & Methods Twenty female soccer players (Mean±SD age: 25.85±3.18 years; Mean±SD body mass index: 22.14±1.11 kg/m^2) were divided randomly into the CST and BT groups. Knee proprioception was measured using the joint position sense test (JPST), and dynamic balance was measured using the modified star excursion balance test (mSEB) one week before and immediately after the 6-week intervention.

Results This study found that both training protocols significantly affected knee proprioception and dynamic balance ($P<0.05$). CST had a significant difference from BT in the result of the posteromedial direction of the mSEBT and the absolute error of the JPST at 60 degrees. In contrast, BT had a significant difference from CST in improving the anterior direction of mSEBT

Conclusion The research indicates that CST and BT can enhance dynamic balance and knee proprioception in female soccer players.

Keywords Core stabilization training, Balance training, Proprioception, Dynamic balance, Female athlete, Futsal

Received: 08 Mar 2024
Accepted: 17 Aug 2024
Available Online: 01 Jan 2025

Corresponding Author:
Seyed Mohsen Mir, Ph.D.
Address: Department of Physical Therapy, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Tel: +98 (21) 77536586
E-Mail: spt.smmir@yahoo.com

Copyright © 2025 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

English Version

Introduction

Women are more likely to be injured in sports than men due to their anatomical, hormonal, biomechanical, and neuromuscular differences [1]. Factors that raise the possibility of sports injuries generally include proprioceptive disorder, scar tissue formation, and pathological variations in joint range of motion [2]. In these cases, proprioception is crucial because it protects against movement injuries and plays a role in establishing joint constancy and natural coordination of movements [3, 4]. Joint position sense is a subset of proprioception, involving the awareness and ability to reconstruct the angle of a joint after movement [5, 6]. Proprioception plays a big part in the awareness and unawareness of the senses, spontaneous detection of movements, coordination and learning of movement, posture, and balance [5]. Soccer players need a significant dynamic balance to act rightly and reduce the risk of injury during fast and cutting movements. The capability to maintain body stability while standing is called static balance, and while moving, it is called dynamic balance. Dynamic balance involves some degree of predictable movement near the center of gravity [7-9]. There are a few points in this regard. Among different sports, soccer is one of the most risky sports [10] as this sport is called "knee injury disease" [11]. Proprioception becomes more important in athletes, especially soccer players because the highest level of performance is expected from them [12]. Among the joints of the human body, the knee is one of the richest joints with proprioceptive receptors, and has the extensor and flexor muscles, which are the largest in the body, also have the largest number of muscle spindles [13].

Physiotherapists are searching for effective ways to return joint proprioception to a normal state to provide optimal stability and mobility in static and dynamic situations. Proprioception can be influenced by various factors, including age, injuries, diseases, and physical activity [14]. No definite therapeutic exercise method currently improves proprioception [15, 16]. Still, several exercises have been suggested to improve proprioception, such as balance training (BT) [14], closed chain exercises, plyometric, and core stability training (CST) [9, 17]. Hübscher stated in his study that more comparative studies should be conducted to determine the best exercises to reduce the risk of injury in different sports [18]. In the past, numerous studies have demonstrated that CST has an impressive role in enhancing athletic efficiency, progressing balance, and decreasing the risk of sports injuries [19, 20]. Despite the importance of proprioception, very few studies have evaluated the effect of CST on proprioception, and most of the effects of BT or a combination of exercises on improving proprioception have been researched. Despite the theoretical advantages proposed for each exercise, few studies have compared these methods. Additionally, there is not enough information about the most effective training method and the benefits of each training alone. Therefore, this research was conducted to compare the impact of CST with BT, which is more commonly used to improve proprioception. Considering that no research has been done to compare the consequence of CST and BT on knee proprioception in female soccer players, this study aims to determine the impact of these two exercise methods on knee proprioception and dynamic balance of healthy female athletes and also to compare the effects of these exercises with each other.

Materials and Methods

Trial Design

The design of this research was an interventional study.

Blinding

This research was single-blinded (participants were blind to the type of intervention of their training group).

Sample Size

A comparison equation of averages was used to conduct a sample calculation to determine the sample size. The equation originated from the mean reach distance assessed in the star excursion balance test (SEBT) as part of the data in Filipa et al.'s research [20]. The mean difference for improvement was 10%, and the standard deviation was 7.5%. A significance level 0.05 was adopted, and the correlation power was set at 80% [21]. Thus, the sample consisted of 10 women in each group (Equation 1).

1.

$$n = \frac{(z1\text{-}\alpha/2 + z1\text{-}\beta)2(\sigma^2_1 + \sigma^2_2)}{(M_1\text{-}M_2)^2}$$

$$n = \frac{10\ ((6.1)^2 + (6.5)^2)}{(70.4\text{-}59.7)^2} = 10$$

Study Participants

After permission from the Ethics Committee (IR.TUMS.FNM.REC.1399.012), 20 female soccer athletes completed the study. Most participants were selected from the female athletes participating in the sports complexes and volunteered to participate in this study. For inclusion in the study, athletes had to meet the following criteria: female gender, aged between 20 and 30 years, and participating in an unprofessional level of soccer [16]. The exclusion criteria were as follows: having had lower limb or lumbar-spine problems or had an operation in the last half year; experienced neurological, vestibular, or visual disorders within the previous 6 months; were presently participating in another training program; did not finish the interventions and evaluations; or attended less than 80% of the exercise meetings (16 out of 18 sessions) [21].

Randomization

The subjects were split into two groups utilizing the sealed envelope technique: 10 in the core stabilization training group (CSTG) and 10 in the balance training group (BTG). A summary of the research objectives was presented to participants, and they signed the informed consent form.

Outcome Measures

Information regarding the participant's age, height, weight, and leg length were gathered. Knee proprioception was measured by using the joint position sense test (JPST) [9], and dynamic balance was measured by using the modified star excursion balance test (mSEBT) one week before and immediately after the 6-week interventions [22].

Intervention

The subjects completed the CST or BT program three times a week. They practiced on the days that were part of their regular schedule. The training program lasted around 30 minutes per session for 6 weeks, totaling 18 sessions. Considering that the participants in this study were blind, they performed the exercises separately and under the supervision of the physiotherapist.

The Core Stability Training Program

The participants engaged in a six-week exercise program with the investigator, meeting thrice weekly for up to half an hour. The CST program comprises three exercises designed to increase the trunk muscles' power and enhance neuromuscular coordination [23-26]. The CST program protocol is based on the training program set in Jeffreys' research [27]. The exercise program had three levels, each with different types of exercises. The first level involved stationary exercises, then low motions in an unsteady setting were achieved gradually. Participants in the second level engaged in stationary contractions in an unsteady setting and transitioned to active motions in a steadier environment. In the third level, participants performed motion on uneven surfaces while also incorporating resistance. The type of exercises was changed and improved every week, and each training session was 30 minutes long. The session began with a 10-minute warm-up, including a 5-minute walk and static stretching for the major muscle groups. Despite learning new activities each week, specific exercises built upon the previous weeks by incorporating a new action or changing the surface [22]. The protocol is described in Table 1 in the attachment and is shown in Figure 1.

Balance Training Program

The program involved three weekly sessions and was designed based on scientifically validated BT protocols from previous studies [28]. The program consisted of a 5-phase BT approach, with details outlined in Figure 2 and Table 2. During each phase, exercises were carried out for up to half a minute, and there was a half-minute rest interval between each exercise. The exercises were improved every week. The difficulty of the exercises was changed by opening and closing the eyes and doing the exercise on the floor or wobbleboard. The protocol of these exercises in the first week was that the person maintained her balance on one leg while using her sense of sight and standing on the ground. Progress was made to the point that in the sixth week, balance exercises were performed by standing on one leg on the balance board with eyes closed and functional movements of the upper leg. All exercises were performed for up to 30 seconds during all phases, with 30 seconds of rest in between, during which the legs were alternated [28].

Proprioception Test

To measure knee joint position sense, the error rate in the JPST was evaluated using skin markers, digital photography, and ImageJ software .[9] A previous study showed an intraclass correlation coefficient (ICC) of 0.910 for this method of JPS assessment [29]. Nikon's 24-megapixel digital camera model D5600 was used to take photographs of the joint positions in this study

Table 1. Core stability training program

Warm-up: 5-min walk, static stretching for major muscle groups (2 sets of 15 seconds)		
Week	**Exercise**	**Sets, Reps, Time**
1	Abdominal bracing, hollowing Bridge in the prone position Bridge in the supine position Bridge on the side	All the movements were maintained for twenty seconds before going back to the initial stance
2	Supine bent-knee raise Quadruped alternate-arm leg raise Supine bridge exercise with alternate leg extension Seated marching on a physioball Crossover crunch	20 reps
3	Dead bug Supine bridge on a physioball Supine bridge on physioball with shoulder flexion Prone bridge on a physioball Cobra extension on a physioball Superman	20 reps Hold 20 s 20 reps Hold 20 s Hold 20 s Hold 2 s\20 reps
4	Pelvic bridge alternating knee extension with a physioball Medicine-ball floor twist Pelvic bridge with shoulder flexion on physioball Curl-up on physioball Pelvic bridge alternating knee extension and shoulder flexion Superman on Physioball	20 reps 20 reps 20 reps 20 reps Hold 2 s\ 20 reps
5	Lunge with medicine-ball twist Abdominal flexion on physioball with a medicine ball Abdominal rollout Ball bridge with alternate knee extension	20 reps 20 reps 20 reps Hold 2 s\ 20 reps
6	Physioball lunge TheraBand-resisted march An iron cross on physioball Total Side bridge with shoulder abduction Physioball alternate superman	10 reps on each leg 10 reps on each side 20 reps alternate sides 15 reps on each side Total of 20 reps
Cool-down: 5-min walk, static stretching for major muscle groups (2 sets of 15 seconds)		

Archives of Rehabilitation

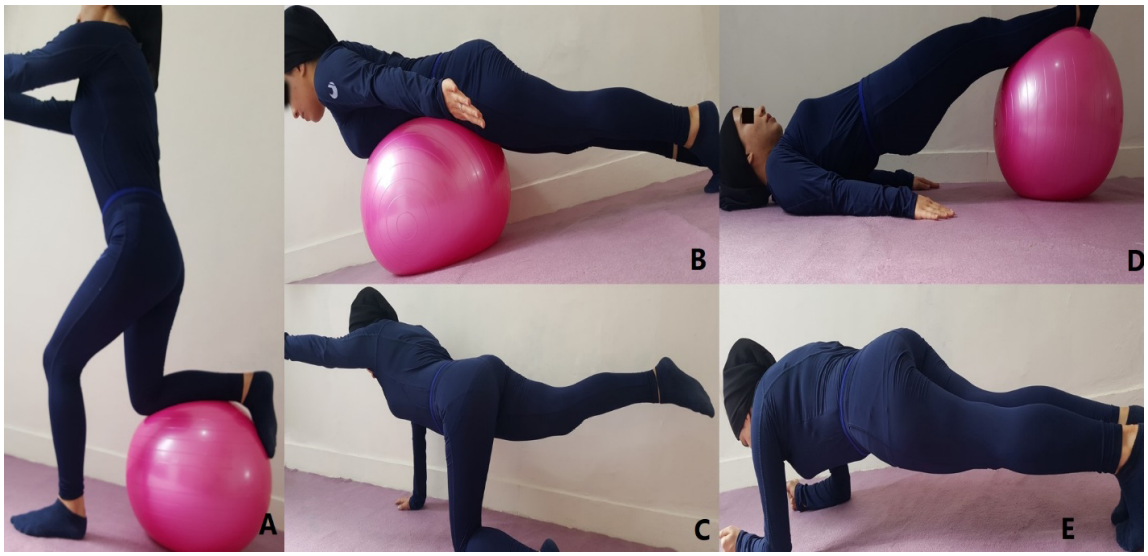
Table 2. Balance training program

Warm-up: 5-min walk, static stretching for major muscle groups (2 sets of 15 seconds)			
Week	**Surface**	**Eyes**	**Exercises**
1	Ground	Open	Balancing on one leg Balancing on one leg while swinging the other leg Squat on one leg (30°- 45°) Performing functional activities while balancing on one leg (dribbling, catching, kicking)
2	Ground	Close	Balancing on one leg Swinging the raised leg Squat on one leg (30°- 45°)
3	Wobble Board	Open	Balancing on one leg Swinging the raised leg Squat on one leg (30°- 45°) Balancing on one leg while rotating the board
4	Wobble Board	Close Open Open Open	Balancing on one leg Swinging the raised leg Squat on one leg (30°- 45°) Balancing on one leg while rotating the board
5 & 6	Wobble Board	Close	Balancing on one leg Squat on one leg (30°- 45°) Balancing on one leg while rotating the board Performing functional activities while balancing on one leg (dribbling, catching, kicking)
Cool-down: 5min walk, static stretching for major muscle groups (2 sets of 15 seconds)			

Archives of
Rehabilitation

(Figure 3). Before starting the assessments, the reliability of this digital camera was assessed by computing ICC= 0.99.

This study evaluated the dominant leg; the angles of 30 and 60 degrees of knee flexion were considered the target angles [30]. Reflective markers were placed before the assessment. To attach the first marker, we connected an imaginary line from the greater trochanter of the femur to the external joint line of the knee and placed a skin marker on the upper third of this line. The second marker was attached to the neck of the fibula, and the third marker to the upper part of the external malleolus. Then, the person was sitting on a chair and in a position where the knee was bent at 90 degrees, and the fourth marker was attached to the upper part of the popliteal fold in alignment with the upper edge of the patella [31]. The method of JPST in this research was passive-active and was performed while sitting. During the test, the subjects sat comfortably on the edge of a bed, with their legs hanging freely without touching the ground and their eyes closed. The camera was 80 cm away from the participant's knee and positioned parallel to the knee's axis (Figure 4).



Archives of
Rehabilitation

Figure 1. Core stability training

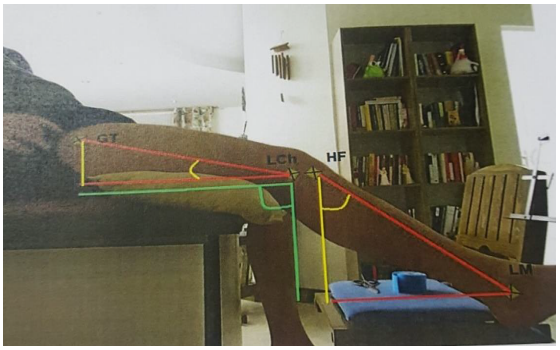
A) Physioball lunge, B) Cobra extension on physioball, C) Quadruped alternate Arm Leg Raise, D) supine bridge on physioball E. Prone Bridge

Archives of
Rehabilitation

Figure 2. Balance training

Archives of
Rehabilitation

Figure 3. The camera used for captuer the Joint positions



Archives of
Rehabilitation

Figure 4. The joint position sense test

The following process was used to conduct the test. First, the person administering the test moved the leg gradually (at a speed of about 10 degree/s) from the starting position (90° knee flexion) to the test positions (30° or 60° knee flexion) using a goniometer. Second, the person administering the test took a photo of the subject from the reference angle. Third, the subject was required to maintain the test position for 5 seconds actively. This process was repeated 5 times to learn the target angle. Finally, the participant actively tried to move the foot to the target angle. Lastly, for each target angle, the participants tried to make that angle 5 times, and the examiner took a picture of each of these times. Then, all photos, including those taken from the examiner's and participants' angles, were transferred to ImageJ software, and the exact number of these angles was calculated. Next, the amount of angle reconstructed by the participant was deducted from the angle made by the examiner. The obtained number was recorded as an absolute error. Then, it was averaged from 5 repetitions and recorded as the average absolute error in each target angle. Based on articles, ImageJ shows high reliability (ICC=0.96) when assessing knee flexion angles [32]. Absolute error is the signless arithmetic difference between test and response angles [33].

Dynamic Balance Test

The mSEBT was done to assess dynamic balance. To perform the mSEBT, the participants were placed in the center of the figure of Y, which was drawn on the ground in three directions: anterior (Ant), posteromedial (PM), and posterolateral (PL). As shown in figure 5, the test was performed so that the participants stood on the dominant leg, moved the other leg as far as they could along the determined line, and touched the tip of the toe on the ground. Subsequently, they were instructed to return the extended leg to a stable stance on both legs while the dominant leg should not be moved. This condition was repeated four times in each direction. The order of obtaining the directions was such that if the person's right leg was dominant, the test was done clockwise, and if the left leg was dominant, it was done counterclockwise. The test required the participants to maintain contact between their hands and pelvic area. The maximal touched length was identified during the trials by marking a point on the tape line and measuring it from the center of the grid [22]. The maximum reaching distance was normalized by calculating the mean reaching distance in four repetitions and dividing it by the leg length of the person measured earlier. A higher normalized score indicated better dynamic balance. Lower limb length was calculated based on the measurement between the anterior superior iliac spine and the medial malleolus tibia. If the subject could not maintain her balance on the support leg during the trial, the researcher would ignore the trial and repeat the test [7, 15]. The mSEBT has previously shown strong consistency within the same tester, as evidenced by a high ICC of 0.67 to 0.96 (Figure 6) [34].

Figure 5. Modified star excursion balance test (mSEBT)

Statistical Analysis

Levene's test indicated that the equality of variances assumption was upheld for all variables (P<0.05). The distribution of scores was found to be normal according to the Shapiro-Wilk test (P<0.05). The assessment of improvement within the group was done using a paired t test for the JPST (30 and 60 degrees) and the mSEBT (Ant, PM, and PL directions). The improvement between different groups was evaluated using an independent t test. A P value of ≤0.05 was considered significant. All analyses were conducted utilizing SPSS software, version 22.

Results

General Characteristics

Twenty participants (nCSTG=10, nBTG=10) completed the study. Table 3 shows the average and standard deviation (SD) for the participants' demographic details, such as age, height, weight, body mass index (BMI), and leg length. Comparing the demographic data between the two experimental groups revealed no significant difference (P>0.05).

Table 3. Background variables of the participants (n=10)

Characteristics	Mean±SD		t	P*
	CSTG	BTG		
Age (y)	25.4±3.23	26.3±3.23	0.622	0.542
Weight (kg)	61±3.02	64±4.98	1.626	0.121
Height (cm)	167.7±3.56	168.15±3.16	0.299	0.769
BMI (kg/m^2)	21.7±0.76	22.59±1.26	1.90	0.072
Leg length (cm)	86.7±2.61	86.95±2.38	0.223	0.826

Abbreviations: CSTG: Core stabilization training group; BT: Balance training group; BMI: Body mass index.

Archives of Rehabilitation

* P<0.05.

Within-Group Analysis

Analysis within the groups for JPST revealed that both training groups (CSTG and BTG) experienced a significant decrease in the absolute angular error at 30° and 60° (P<0.05). The results for proprioception absolute error in the initial and final tests for the groups can be found in Table 4.

Within-group analysis for mSEBT showed that both training groups (CSTG and BTG) experienced a significant increase in the distance of reaching in three (Ant, PM, and PL) directions (P<0.05). The average mSEBT scores during the pretest and posttest for the groups can be found in Table 5.

Between-Group Analysis

The analysis comparing the two groups in JPST indicated no statistically significant variance at the mean of absolute angular error reduction for position 30° (P>0.05). However, the mean of absolute error reduction for position 60° showed a significant statistical difference (P<0.05) that the mean of changes in the CSTG was significantly higher than BTG. The means of proprioception absolute error changes between the two groups are presented in Table 6.

Between-group analysis for mSEBT exhibited no significant variance between the different values in the PL direction (P>0.05), and the mean changes in the CSTG were higher than BTG. However, significant differences were found in the Ant and PM directions (P<0.05). The average modifications in the Ant direction were higher in the CSTG than in BTG, and the mean changes in the PM direction were higher in the BTG than in CSTG. The means of mSEBT score changes between the two groups are presented in Table 7.

Table 4. Absolute angular error pre-test and post-test (n=10)

Groups	Angel*	Mean±SD		P	Effect Size
		Pre-test	Post-test		
CSTG	30°	3.88±1.61	2.05±1.16	0.001	1.3
	60°	4.10±1.31	1.93±0.75	0.0001	2.0
BTG	30°	3.73±1.12	2.15±1.28	0.001	1.31
	60°	3.25±0.75	2.28±1.21	0.01	0.96

Abbreviations: CSTG: Core stabilization training group; BTG: Balance training group.

Archives of Rehabilitation

* P<0.05.

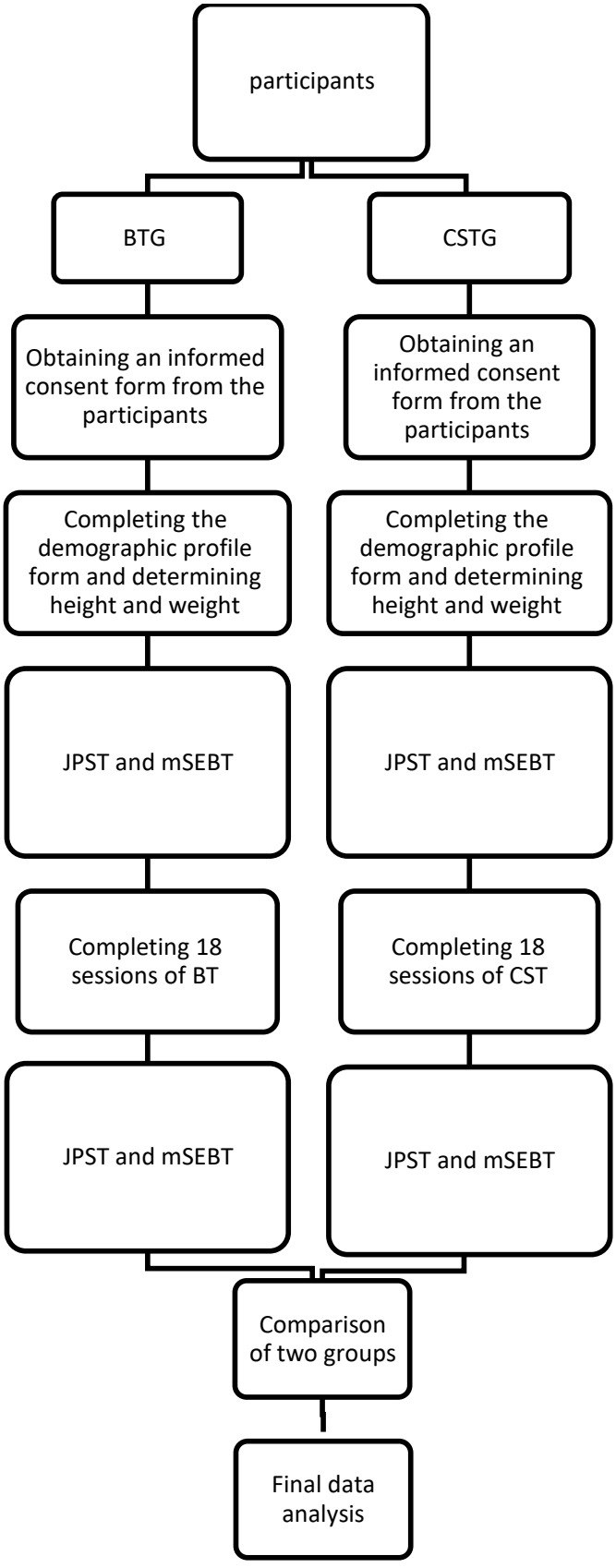


Figure 6. Research methodology flowchart

Table 5. mSEBT normalized scores pre-test and post-test (n=10)

Groups	Directions*	Mean±SD		P*	Effect Size
		Pre-test	Post-test		
CSTG	Ant	87.55±5.97	91.16±5.47	0.0001	0.631
	PL	92.87±6.76	102.20±5.49	0.0001	1.51
	PM	101.58±5.34	110.28±5.04	0.0001	1.67
BTG	Ant	88.20±3.48	93.32±3.58	0.0001	1.45
	PL	94.52±5.07	103.36±3.65	0.0001	2.03
	PM	102.41±3.29	108.60±2.69	0.0001	2.06

Archives of Rehabilitation

Abbreviations: CSTG, core stabilization training group; BTG, balance training group; mSEBT, modified star excursion balance test; Ant, anterior, PL, posterolateral; PM, posteromedial.

* P<0.05

Table 6. Absolute angular error changes between two groups (n=10)

Angel	Mean±SD		t	P
	CSTG	BTG		
30°	1.82±1.17	1.60±0.99	-0.439	0.666
60°	2.17±1.18	0.97±0.94	-2.505	0.022*

Archives of Rehabilitation

Abbreviations: CSTG, core stabilization training group; BTG, balance training group.

* P<0.05

Table 7. mSEBT normalized scores changes between two groups (n=10)

Directions	Mean±SD		t	P
	CSTG	BTG		
Ant	3.60±1.37	5.12±1.25	2.574	0.019*
PL	9.32±1.83	8.84±2.24	-0.521	0.609
PM	8.70±1.40	6.19±1.45	-4.420	0.0001*

Archives of Rehabilitation

Abbreviations: CSTG: Core stabilization training group; BTG: Balance training group; mSEBT: Modified star excursion balance test; Ant: Anterior; PL: Posterolateral; PM: Posteromedial.

* P<0.05

Discussion

The Effect of CST and BT on Outcome Measures

This study examined the effect of a 6-week CST and BT program on dynamic balance and knee proprioception in female soccer players. The BT and CST groups showed significant enhancements in knee proprioception and dynamic balance. Many articles have already been conducted on CST's effect on dynamic balance [35, 36]. Most of these articles have reported the positive effects of this exercise. For example, in his research, Gribble showed that a 6-week training program focused on core stabilization can improve maximal reach distances in healthy individuals when performing the SEBT [37]. On the other hand, this study contradicts Sato and Mokha's findings on CST in runners: SEBT did not significantly improve after 6 weeks, but 5000 m times improved compared to the control group [38]. However, the number of articles investigating CST's effect on knee proprioception is limited. The results of this research support the discoveries of Mutlu et al., who concluded that sedentary individuals who engaged in 10 weeks of instability resistance training using body weight displayed improved knee proprioception [17].

Comparing the Effect of CST and BT on Outcome Measures

According to our study, CSTG showed greater improvement than BTG regarding the PM reach distance of mSEBT and JPST at 60 degrees. On the other hand, BTG showed more improvement than CSTG in the Ant reach distance of mSEBT. However, when we analyzed both groups, no substantial difference was observed with the mean reduction of the absolute error at 30 degrees and the mean improvement of reach distance of mSEBT in the PL direction. In summary, the CSTG showed more improvement in proprioception than the BTG, while BT had a greater effect on the Ant direction in the mSEBT. On the other hand, CST had a greater effect on the posterior directions of mSEBT.

This study supports Aggarwal et al.'s findings that both CST and BT programs improved balance performance, but the CSTG had greater improvement than the BTG [39]. Unfortunately, the number of articles that have compared the effect of CST with BT on knee proprioception is scarce. This is one of the reasons for the novelty of the subject of this article, and it is suggested that more research be done in the field of finding the best type of exercise therapy in the field of multiple factors to minimize the likelihood of harm in sports players.

Possible Mechanisms of the Effect of CST and BT on Outcome Measures

Several variables could enhance JPST in CSTG and BTG. Despite the constant number of peripheral receptors, training might alter proprioception through central mechanisms [40]. Using physioball and wobble boards can create an unstable environment that can activate proprioceptors to help maintain balance and detect body position [41, 42]. Instability can lead to changes in balance, which, in turn, can lead to alterations in the length of the muscle-tendon unit, as well as in tension and neuromuscular activity. These changes can then affect one's ability to perceive and react to alterations in balance [43-45]. Performing closed kinetic chain exercises, such as standing and kneeling on physioballs, involves movements that use multiple joints and planes. These movements help engage proprioceptors, which play a role in determining joint direction and position [46]. CST and BT can enhance the responsiveness of the feedback pathway, reduce the time taken to initiate movements, and enhance the accuracy of the sense of position [47]. Practicing on surfaces that are not stable could lead to an increase in co-contractile activity. This increase can help enhance motor control and balance [48]. Greater antagonist activity can be induced by resisting plantar flexion and leg extension in unstable conditions compared to stable conditions [49].

These mechanisms mentioned in both types of CST and BT can improve knee proprioception, but the reason why CST had a better effect on improving knee proprioception may be due to the presence of an additional mechanism, ie, the lumbosacral junction connects the spine to the lower extremities during sports. A stable core is essential for transferring force from the upper body to the lower body [50]. Core muscle stability may optimize lower extremity function and improve balance [51]. Strengthening core muscles improves body position and movement, leading to better proprioception. Core stability exercises can enhance joint proprioception in the lower limbs [52].

Also, CST can potentially improve spinal segment management and deep stabilizing muscles' simultaneous contraction, ultimately leading to improved center of gravity management and optimal lumbopelvic control. Additionally, training the trunk muscles can improve lower extremity function and balance control by increasing neural recruitment patterns and activating the nervous system, promoting the concurrency of motor units, and reducing neural inhibitory reflexes during SEBT. The reason SEBT reach distance improves may

be due to the activation of deep local muscles happening earlier than the activation of global abdominal muscles during lower extremity movement. Activating the spinal stabilizers early on establishes a firm foundation for lower body movement, enhancing the spine's stiffness. It is possible that the training of deep stabilizers in CSTG contributed to creating such a stable base [53].

Study Limitations

The study is restricted by the minimal involvement of female athletes due to the spread of the coronavirus. Another constraint of this research is the age range of the participants examined (20–30 years); it is unclear whether all results occur younger or older than the study period. Another limitation of this research is assessing the dominant foot; it is better to perform the tests on the right and left foot and compare them. Also, it is better to use an isokinetic device to measure proprioception, which controls the speed and the sense of force and movement. This research did not involve extended follow-up and only focused on women, without comparing results with men. More research should be conducted on different groups of people in the future. Finally, it is better to conduct future studies with a follow-up period.

Conclusion

After evaluating the findings of this research, we can make the following inference: both CST and BT can effectively improve knee proprioception and dynamic balance in female amateur soccer players.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All study procedures were performed after the study was approved by the Scientific Board and Ethics Committee of the School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences (Ethics committee reference number: IR.TUMS.FNM.REC.1399.012).

Funding

The present paper was extracted from the Master's thesis of the first author, Department of Physiotherapy, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences.

Authors' contributions

The authors contributed equally to preparing this paper.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors thank the distance runners who participated in this study.

This Page Intentionally Left Blank

مقاله پژوهشی

مقایسه تأثیر تمرینات ثبات مرکزی و تعادلی بر حس عمقی زانو و تعادل دینامیک در زنان ورزشکار مبتدی سالم رشته فوتسال

زهرا ماوائیان[۱]، *سیدمحسن میر[۱]، آزاده شادمهر[۱]، کاظم مالمیر[۱]

۱. گروه فیزیوتراپی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Mavaeian Z, Mir SM, Shadmehr A, Malmir K. [The Effect of Core Stabilization Exercises Compared to Balance Training on Proprioception and Dynamic Balance in Healthy Female Amateur Soccer Players: A Randomized Controlled Trial (Persian)]. Archives of Rehabilitation. 2025; 25(4):864-889. https://doi.org/10.32598/RJ.25.4.3881.1

https://doi.org/10.32598/RJ.25.4.3881.1

چکیده

هدف بسیاری از مقالات تأثیر مثبت تمرینات ثبات مرکزی را در کاهش ریسک آسیب‌های ورزشی نشان داده‌اند. بااین‌حال، دلایل خاص این اثر به‌طور کامل بررسی نشده است. همان‌طورکه در مطالعات قبلی نشان داده شده است، حس عمقی و تعادل دینامیک نقش مثبتی در کاهش خطر آسیب‌های ورزشی ایفا می‌کنند، بنابراین بررسی بیشتر تأثیر این تمرین‌ها بر عوامل مؤثر در کاهش خطر آسیب‌های ورزشی مهم است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر ۶ هفته برنامه تمرینات ثبات مرکزی و تعادلی بر حس عمقی زانو و تعادل دینامیک در زنان ورزشکار مبتدی سالم انجام شد.

روش بررسی تعداد ۲۰ بازیکن زن فوتسال میانگین سنی (۳/۱۸±۲۵/۸۵ سال)؛ شاخص توده بدن (۱/۱۱±۲۲/۱۴ کیلوگرم بر مترمربع) به‌طور تصادفی به دو گروه تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات تعادلی تقسیم شدند. حس عمقی زانو با استفاده از آزمون بازسازی زاویه مفصل و تعادل دینامیک با استفاده از تست تعادل ستاره‌ای تغییریافته، ۱ هفته قبل و بلافاصله پس از مداخلات ۶ هفته‌ای اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها هر دو روش تمرینی تعادلی و ثبات مرکزی باعث بهبود حس عمقی زانو و تعادل دینامیک در زنان ورزشکار شدند. مقایسه تأثیر دو روش تمرینی بر تغییرات نمره تعادل دینامیک در جهت خلفی خارجی، بین دو گروه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما در جهت قدامی و خلفی داخلی تفاوت معنی‌داری را نشان داد و در مقایسه تغییرات خطای مطلق بین دو گروه، میانگین کاهش خطا در زاویه ۳۰ درجه بین دو گروه تفاوت معنی‌داری آماری نداشت اما در زاویه ۶۰ درجه میزان کاهش خطا تفاوت معنی‌داری داشت.

نتیجه‌گیری باتوجه‌به نتایج این تحقیق تمرینات تعادلی و تمرینات ثبات مرکزی به‌عنوان روش‌های مؤثری در بهبود حس عمقی زانو و تعادل دینامیک در زنان ورزشکار سالم مطرح می‌شود.

کلیدواژه‌ها تمرینات ثبات مرکزی، تمرینات تعادلی، حس عمقی زانو، تعادل دینامیک، زنان ورزشکار، فوتسال

تاریخ دریافت: ۱۸ اسفند ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۷ مرداد ۱۴۰۳
تاریخ انتشار: ۱۲ دی ۱۴۰۳

* **نویسنده مسئول:**
دکتر سید محسن میر
نشانی: تهران، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده توانبخشی، گروه فیزیوتراپی.
تلفن: ۷۷۵۳۶۵۸۶ (۲۱) ۹۸+
رایانامه: spt.smmir@yahoo.com

Copyright © 2025 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

ریسک آسیب ورزشی در زنان نسبت به مردان به‌دلیل تفاوت‌های آناتومیکی، هورمونی، بیومکانیکی و نوروماسکولار بسیار بالا می‌باشد [۱]. به‌طورکلی عواملی که در افزایش خطر آسیب‌های ورزشی نقش دارند شامل اختلال حس عمقی[1]، شکل‌گیری بافت اسکار و افزایش یا کاهش پاتولوژیک دامنه حرکتی مفصل می‌باشند [۲]. در بین این موارد، حس عمقی از آن جهت که در مقابل صدمات حرکتی محافظ خوبی بوده و در ایجاد ثبات مفاصل و هماهنگی طبیعی حرکات نقش دارد، حائز اهمیت می‌باشد [۳، ۴] و ضعف اطلاعات مربوط به حس عمقی مفاصل می‌تواند یکی از عوامل ایجادکننده آسیب‌های عضلانی‌اسکلتی باشد [۵]. حس وضعیت مفصل[2] یکی از زیرمجموعه‌های حس عمقی بوده و درواقع به معنای آگاهی از وضعیت مفصل و توانایی بازسازی زاویه‌ای که مفصل در آن قرار دارد، پس از حرکت فعال یا غیرفعال مفصل می‌باشد. چند نکته در این زمینه وجود دارد:

۱. در بین ورزش‌ها، فوتبال یکی از آسیب‌پذیرترین ورزش‌ها است [۶]، به‌طوری که این ورزش را «بیماری آسیب زانو» نامیده‌اند [۷] و برخی مطالعات نشان داده‌اند ۱۱ درصد از فوتبالیست‌ها دچار آسیب زانو می‌شوند [۸].

۲. حس عمقی در ورزشکاران به‌ویژه فوتبالیست‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، چراکه بالاترین سطح عملکردی از آنان خواسته می‌شود.

۳. از مفاصل بدن انسان، زانو یکی از غنی‌ترین مفاصل دارای گیرنده‌های حس عمقی می‌باشد و عضلات اکستانسور و عضلات فلکسور که از بزرگ‌ترین عضلات بدن هستند دارای بیشترین تعداد دوک عضلانی نیز می‌باشند [۹]. ازآنجایی‌که کاهش دقت حس عمقی در مفاصل، باعث اختلال در مسیرهای رفلکسی عضلات ثبات‌دهنده می‌شود، می‌تواند بر تعادل فرد تأثیرگذار باشد[۱۰، ۱۱]. تعادل مهم‌ترین بخش توانایی ورزشکار است [۱۲] و تقریباً در هر شکلی از فعالیت‌ها درگیر می‌باشد [۱۳]. حفظ تعادل به‌عنوان یک امتیاز مهم برای انجام فعالیت‌ها در میادین ورزشی قلمداد می‌شود و ضعف آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد آسیب در زنان و مردان ورزشکار به حساب می‌آید [۱۴].

فیزیوتراپیست‌ها در جست‌وجوی راه‌های مؤثر برای برگرداندن حس عمقی مفصل به وضعیت طبیعی می‌باشند تا ثبات و تحرک مطلوب در وضعیت‌های استاتیک و دینامیک تأمین شود. حس عمقی به‌وسیله عواملی مانند سن، صدمات، بیماری‌ها و تمرین تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۱۵]. در حال حاضر روش تمرین درمانی قطعی برای بهبود حس عمقی وجود ندارد [۱۶، ۱۷]، اما تمرینات متعددی برای بهبود حس عمقی پیشنهاد شده است مانند تمرینات تعادلی [۱۵]، تمرینات زنجیره بسته، تمرینات پلایومتریک و تمرینات ثبات مرکزی[3] [۱۸]. هوشبر در مطالعه خود بیان کرده است که در آینده باید مطالعات مقایسه‌ایی بیشتری برای تعیین بهترین تمرینات برای کاهش ریسک آسیب‌های ورزشی انجام شود [۱۹].

در گذشته، مطالعات متعدد نشان داده‌اند که تمرینات ثبات مرکزی نقش چشمگیری در افزایش کارایی ورزشی، پیشرفت تعادل و کاهش ریسک آسیب‌های ورزشی دارد. علی‌رغم اهمیت حس عمقی، مطالعات بسیار کمی اثر تمرینات ثبات مرکزی را بر حس عمقی ارزیابی کرده‌اند و بیشتر اثر تمرینات تعادلی یا ترکیبی از تمرینات در بهبود حس عمقی بررسی شده است. همچنین با وجود مزایای تئوری ارائه‌شده برای هر تمرین، مطالعات کمی این روش‌ها را با هم مقایسه کرده‌اند. علاوه‌براین اطلاعات کافی درمورد مؤثرترین روش تمرین و مزایای هر تمرین به تنهایی وجود ندارد. بنابراین، مطالعه حاضر تأثیر تمرینات ثبات مرکزی را با تمرینات تعادلی که تمرینات رایج‌تری در این زمینه هستند مقایسه می‌کند. باتوجه‌به اینکه هیچ تحقیقی بر مقایسه تأثیر این دو تمرین بر روی حس عمقی زانو در زنان فوتبالیست انجام نشده است، این مطالعه با هدف تعیین تأثیر این دو روش تمرینی بر حس عمقی زانو و تعادل دینامیک زنان ورزشکار سالم و مقایسه تأثیر این تمرینات انجام شده است.

روش‌ها

مطالعه از نوع تجربی مداخله‌ایی[4] است. جمعیت موردمطالعه شامل زنان ورزشکار غیرحرفه‌ایی رشته ورزشی فوتسال بود که در باشگاه‌های ورزشی شرکت می‌کردند.

شرایط ورود به تحقیق شامل جنسیت مؤنث، سن بین ۲۰ تا ۳۰ سال [۱۷] و سابقه انجام بازی فوتسال به‌صورت غیرحرفه‌ایی و شرایط خروج از تحقیق شامل هرگونه پاتولوژی در اندام فوقانی و تحتانی یا سابقه جراحی قبلی زانو، سابقه هرگونه بیماری نورولوژی، قلبی‌ریوی و اختلال بینایی در ۶ ماه گذشته [۲۰]، سابقه ضربه در ۱ ماه گذشته، عدم همکاری ورزشکار با حداقل ۸۰ درصد میزان مداخلات (حداقل ۱۶ جلسه تمرین درمانی در طول ۶ تا ۷ هفته) و یا پرداختن به تمرینات خارج از برنامه تعیین‌شده بنابر گفته ورزشکار بود [۲۱].

برای تعیین حجم نمونه با استفاده از متغیر میانگین فاصله دستیابی اندازه‌گیری‌شده در تست تعادل ستاره‌ایی باتوجه‌به داده‌های مطالعه فیلیپا و همکاران [۲۱] و از طریق معادله مقایسه میانگین‌ها که در ادامه خواهد آمد، ۱۰ نفر در هرگروه محاسبه

1. Proprioception
2. Joint position sense
3. Core Stability Training (CST)
4. Intervention Experimental

شدند (فرمول شماره ۱). تقسیم‌بندی افراد به‌صورت تصادفی و با روش پاکت‌نامه صورت گرفت. به این صورت که نوع مداخله درون پاکت‌هایی قرار می‌گرفت و با قرعه‌کشی یکی از آن‌ها انتخاب می‌شد. افراد شرکت‌کننده در این طرح درمورد تقسیم‌بندی گروه‌ها اطلاعی نداشتند و مطالعه به‌صورت یک‌سویه کور انجام شد [۱۷]. در هر دو گروه در کنار تمرینات ثبات مرکزی و تعادلی، شرکت‌کنندگان در رشته ورزشی فوتسال نیز شرکت می‌کردند [۲۲].

1.

$$n=\frac{(z1\text{-}\alpha/2+z1\text{-}\beta)2(\sigma^2_1+\sigma^2_2)}{(M_1\text{-}M_2)^2}$$

$$n=\frac{10\ ((6.1)^2+(6.5)^2)}{(70.4\text{-}59.7)^2}=10$$

ارزیابی حس عمقی

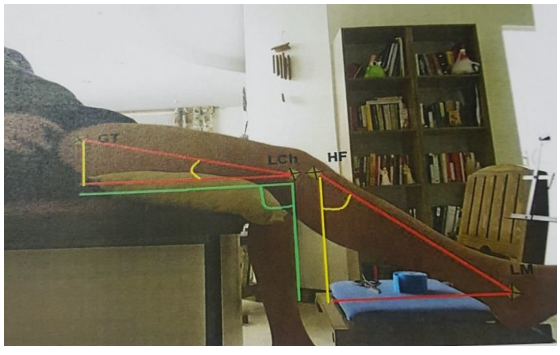
ارزیابی حس عمقی با استفاده از تست بازسازی مفصل انجام شد. در این تحقیق ارزیابی به‌صورت بدون تحمل وزن و با کمک مارکرگذاری پوستی، عکس‌برداری دیجیتال و نرم‌افزار image j انجام شد. این روش اندازه‌گیری دارای پایایی بوده و نسبت به سیستم‌های متداول دیگر برای اندازه‌گیری زاویه مفصل، دارای مزایای زیادی می‌باشد [۲۳]. همچنین نرم‌افزار image j یک نرم‌افزار دقیق مهندسی با اطمینان بالا است که امکان محاسبه زوایا با دقت بالا را می‌دهد [۲۴]. جهت انجام مارکرگذاری، ۴ عدد مارکر پوستی در سمت خارجی اندام موردتست چسبانده شد. به این صورت که نوک تروکانتر بزرگ را با متر لاستیکی به قسمت میانی خط مفصلی خارجی زانو وصل کرده و مارکر اول را بر روی یک‌چهارم فوقانی این خط قرار دادیم. مارکر دوم در گردن فیبولا و مارکر سوم در قسمت فوقانی مالئول خارجی چسبانده شد. سپس فرد بر روی صندلی نشسته و در وضعیتی که زانو ۹۰ درجه خم می‌باشد، مارکر چهارم در قسمت فوقانی چین پوپلیته آل در محاذات لبه فوقانی پتلا چسبانده شد. [۲۵-۲۸]. تست با ۹۰ درجه فلکشن زانو آغاز شد و زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه فلکشن [۲۹] به‌عنوان زوایای هدف در نظر گرفته شدند. برای ارزیابی هروضعیت، زانو توسط آزمونگر به‌طور پسیو و با کمک گونیامتر و با سرعت کنترل‌شده (تقریباً ۱۰ درجه در ثانیه) تا زاویه موردنظر حرکت داده شد و از این وضعیت با دوربین دیجیتال نیکون ۲۴ مگاپیکسل که بر روی سه پایه به‌صورت موازی با محور زانو قرار گرفته بود عکس گرفته شد (تصاویر شماره ۱، ۲).

سپس از فرد خواسته شد به‌مدت ۵ ثانیه در این وضعیت قرار بگیرد تا بتواند وضعیت را به خاطر بسپارد. قبل از شروع به بازسازی زاویه، در وضعیت فلکشن ۹۰ درجه به فرد ۵ ثانیه استراحت داده شد؛ این کار ۵ بار برای یادگیری و به خاطر سپردن زاویه موردنظر تکرار شد. سپس از فرد خواسته شد که زاویه موردنظر را به‌طور اکتیو بازسازی کند و از زوایای مفصلی در هر وضعیت با ارتفاع معین دوربین عکس گرفته شد. این ارزیابی‌ها برای هر وضعیت ۵ بار تکرار شد. عکس‌ها به کامپیوتر منتقل و با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری image j میزان اختلاف زاویه‌ایی محاسبه شد. از میزان اختلاف‌های به‌دست‌آمده میانگین گرفته شد که از آن به‌عنوان میانگین خطای مطلق زاویه‌ای نام برده می‌شود. اندازه‌گیری‌ها بر روی پای ترجیحی انجام شدند و از چشم‌بند برای حذف پیام‌های بینایی استفاده شد [۳۰].

ارزیابی تعادل دینامیک

برای ارزیابی تعادل دینامیک از آزمون تعادل ستاره‌ایی تغییریافته[5] استفاده شد [۲۰]. براساس مطالعه‌ای که روکسانا بر روی افراد ورزشکار انجام داده است، این تست دارای قابلیت اطمینان خوب تا عالی می‌باشد [۳۱]. در این آزمون، شکلی به‌صورت Y برعکس با سه جهت (قدامی، خلفی_داخلی و خلفی_خارجی)، برروی زمین رسم شده بود. آزمودنی در مرکز شکل بر روی پای ترجیحی قرار گرفته و پای دیگر را تاجایی‌که امکان داشت از پای ترجیحی دور می‌کرد و عمل دستیابی را در سه جهت انجام می‌داد [۳۱، ۳۲]. اگر پای راست ترجیحی بود، آزمون در خلاف جهت عقربه‌های ساعت و اگر پای چپ ترجیحی بود در جهت عقربه‌های ساعت انجام شد. نقطه‌ایی که پای مقابل با زمین

5. Modified Star Excursion Balance Test (mSEBT)



تصویر ۱. محاسبه زاویه زانو

توانبخشی

تصویر ۲. دوربین تصویربرداری

توانبخشی

تماس پیدا می‌کرد، با گچ تحریر علامت‌گذاری و با متری که تا حدود ۱ میلی‌متر را اندازه‌گیری می‌کرد، اندازه‌گیری و به‌عنوان فاصله دستیابی ثبت شد (تصویر شماره ۳). بین ارزیابی هر جهت، ۱۰ ثانیه به شرکت‌کنندگان استراحت داده شد و هر آزمودنی دستیابی در هریک از جهت‌ها را طی ۴ بار تلاش انجام داد. سپس میانگین فاصله‌های دستیابی محاسبه و بر طول پا برحسب سانتی‌متر تقسیم و بر ۱۰۰ ضرب شد تا فاصله دستیابی برحسب درصدی از اندازه طول پا (نمره آزمون تعادل) محاسبه شود (فرمول شماره ۲). طول پا فاصله بین خار خاصره قدامی فوقانی تا مالئول داخلی می‌باشد که با متر اندازه‌گیری شد. درصورت جدا شدن دست‌ها از کمر یا برخورد پای معلق با زمین یا بازو و درکل برهم خوردن تعادل باید کوشش مجدداً تکرار شد [۳۳].

۲.

$$\text{امتیاز} = \frac{\text{فاصله دستیابی}}{\text{طول اندام}} \times ۱۰۰$$

روش اجرای مداخله‌ها

تمرینات ثبات مرکزی:

تمرینات ثبات مرکزی در طول ۶ هفته، به‌صورت ۳ جلسه در هفته و هرجلسه به‌مدت حداکثر ۳۰ دقیقه انجام شد. این تمرینات به‌صورت پیش‌رونده در سه سطح و هر سطح در طول ۲ هفته با تمرکز بر روی افزایش قدرت عضلات شکمی، پشتی و لگنی با حفظ کنترل نوروماسکولار، انجام شد. نحوه انجام تمرینات به‌صورت استاتیک و دینامیک، در وضعیت‌های نیمه‌نشسته، نشسته، چهار دست‌وپا و ایستاده، بر روی زمین یا توپ سوئیس‌بال انجام شد. این تمرینات براساس پروتکل جفری [۳۴] تنظیم شده است که بدین صورت انجام شد:

- سطح اول با تسلط بر انقباض عضلات شکم، در وضعیت‌های ثابت، آغاز شد. سپس به سمت حرکات آهسته بر روی سطوح بی‌ثبات، پیشرفت داده شد.

- سطح دوم با تمرینات استاتیک در شرایط بی‌ثبات آغاز شد و به سمت حرکات دینامیک در شرایط با ثبات بیشتر پیشرفت می‌کرد.

- سطح سوم حرکات دینامیک در شرایط بی‌ثبات، به سمت افزایش مقاومت در شرایط بی‌ثبات، پیشرفت داده شد (تصویر شماره ۴) [۳۳]. تعداد ست و تکرار و زمان نگه‌داری هر وضعیت، برای هر ورزش، به‌صورت حداکثر ۳ ست ۲۰ ثانیه‌ایی برای تمرینات با انقباض ایزومتریک و ۲۰ تکرار، برای فعالیت‌های با انقباض ایزوتونیک بود (جدول شماره ۱). سختی تمرینات با افزودن حرکات یا تغییر نوع سطحی که تمرین بر روی آن انجام می‌شد، پیشرفت داده شد [۳۳]. در حین انجام تمرینات حفظ وضعیت طبیعی ستون فقرات و لگن اهمیت بسیاری داشت [۳۵].

تمرینات تعادلی

تمرینات تعادلی در طول ۶ هفته، به‌صورت ۳ جلسه در هفته و هرجلسه به‌مدت حداکثر ۳۰ دقیقه انجام شد. این تمرینات در ۵ سطح، بر روی زمین، یا سطوح بی‌ثبات مانند تخته تعادل[6] انجام شد و از ورزشکار خواسته می‌شد که وضعیت را به‌مدت ۳۰ ثانیه نگه دارد. این تمرینات به‌صورت پیش‌رونده، در ابتدا به‌صورت دو پا با چشمان باز، سپس با چشمان بسته، درنهایت به‌صورت یک پا، در ابتدا با چشمان باز و سپس با چشمان بسته انجام شد (تصویر شماره ۵). هر تمرین برای هر پا به‌مدت ۳۰ ثانیه حفظ و زمان استراحت برای تعویض هر پا نیز ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد (جدول شماره ۲) (تصویر شماره ۶) [۳۶].

یافته‌ها

نتایج مربوط به متغیرهای جمعیت‌شناختی در دو گروه

شاخص‌های مرکزی و پراکندگی متغیرهای فردی ازجمله سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی و طول پا به‌عنوان متغیرهای زمینه‌ایی بررسی شده و در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

نتایج درون‌گروهی

حس عمقی زانو و تعادل دینامیک پس از انجام تمرینات در هر دو گروه تعادلی و ثبات مرکزی پیشرفت معنی‌دار آماری داشته است. ($P<۰/۰۵$)

نتایج برون‌گروهی

مقایسه تغییرات خطای مطلق حس عمقی زانو بین دو گروه نشان داد که میانگین کاهش خطا در زاویه ۳۰ درجه بین دو گروه تفاوت معنی‌دار آماری ندارد اما در زاویه ۶۰ درجه میزان کاهش خطا تفاوت معنی‌داری را نشان داد که میزان تغییرات در گروه ثبات مرکزی بیشتر از گروه تعادلی بود ($P<۰/۰۵$) (جداول شماره ۴، ۵).

مقایسه تغییرات نمره تعادلی بین دو گروه نشان داد که میانگین بهبودی در جهت خلفی خارجی، بین دو گروه تفاوت معنی‌دار آماری نداشت اما در جهت قدامی و خلفی داخلی میزان بهبودی نمره تعادل تفاوت معنی‌داری را نشان داد. میزان بهبودی در جهت خلفی داخلی در گروه ثبات مرکزی بیشتر از گروه تعادلی بود اما میانگین تغییرات تعادل قدامی در گروه تعادلی بیشتر از گروه ثبات مرکزی بود (جداول شماره ۶، ۷).

6. Wobble board

جدول ۱. پروتکل تمرینات ثبات مرکزی

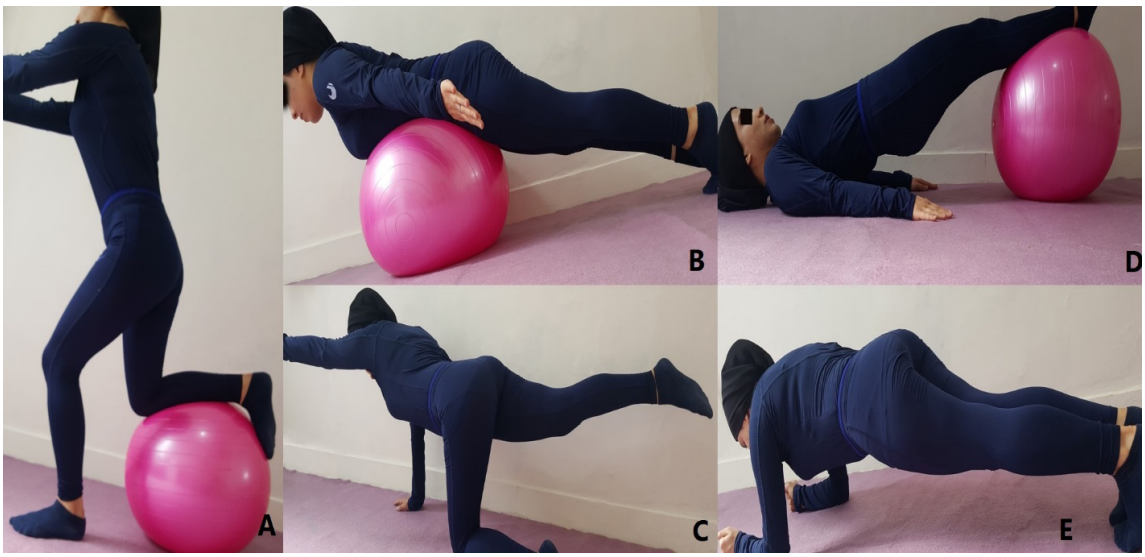
ردیف	عنوان فارسی تمرینات	تکرار
۱	سفت کردن شکم پل زدن به پشت (پلانک) پل زدن به شکم پل زدن به پهلو	تمام تمرینات ۲۰ ثانیه حفظ می‌شوند.
۲	بالا آوردن زانوی خمیده در حالت طاقباز بالا آوردن دست و پای مخالف در حالت چهار دست و پا پل زدن همراه با بالا آوردن پا با زانوی صاف مارچینگ بر روی توپ سوییس بال چرخش روسی	۲۰ تکرار
۳	ددباگ (حشره مرده) پل زدن سوپاین روی توپ سوییس بال پل زدن سوپاین روی توپ با شانه خمیده حرکت کبری روی توپ سوپرمن	۲۰ تکرار/۲ ثانیه‌ایی ۲۰ ثانیه حفظ شود ۲۰ تکرار ۲۰ تکرار ۲۰ تکرار/۲ ثانیه‌ایی
۴	پل زدن لگن با یک زانوی صاف روی توپ چرخش روسی با توپ دراز و نشست روی توپ سوییس بال پل زدن لگن با تعویض زانوی صاف و شانه خمیده حرکت سوپرمن روی توپ سوییس بال	۲۰ تکرار
۵	تمرین لانج با چرخش توپ خم کردن شکم روی توپ سوییس بال با توپ شکم غلتک پل زدن روی توپ با تعویض پا با زانوی صاف	۲۰ تکرار
۶	لانج روی توپ ایرون کراس پل زدن به پهلو با شانه ابداکت‌شده تمرین سوپرمن روی توپ سوئیس‌بال	۱۰ تکرار روی هر پا ۱۰ تکرار برای هر سمت ۱۵ تکرار برای هر سمت ۲۰ تکرار

توانبخشی

بحث

تأثیر تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات تعادلی بر روی پیامدها

این مطالعه به بررسی تأثیر یک برنامه ۶ هفته‌ای و تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات تعادلی بر تعادل پویا و حس عمقی زانو در بازیکنان زن فوتبال پرداخت. گروه تعادلی و ثبات مرکزی هر دو افزایش قابل‌توجهی در حس عمقی زانو و تعادل پویا نشان دادند. در گذشته، مقالات زیادی درمورد تأثیر تمرینات ثبات مرکزی به‌تنهایی بر تعادل پویا وجود داشته است [۳۷، ۳۸]. اکثر این مقالات اثرات مثبت این تمرین را گزارش کرده‌اند. به‌عنوان‌مثال، گریبل در تحقیقات خود نشان داد که یک برنامه تمرین ثبات مرکزی ۶ هفته‌ای می‌تواند به بهبود حداکثر فاصله دسترسی در افراد سالم هنگام اجرای تست تعادل ستاره‌ایی منجر شود [۳۹]. ازسوی‌دیگر نتایج این مطالعه با تعدادی از مطالعات مانند یافته‌های ساتو و همکاران در مورد تأثیر تمرینات ثبات مرکزی بر روی تعادل دینامیک دوندگان همسو نبود [۴۰].



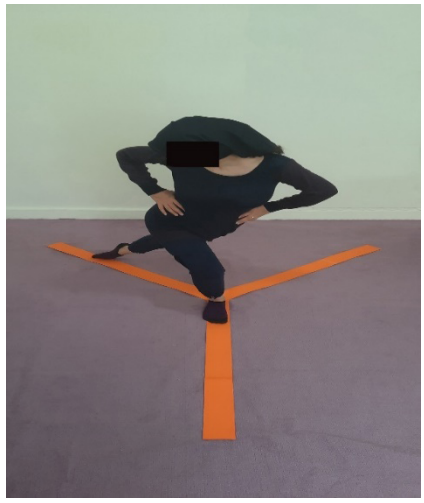
تصویر ۴. نحوه انجام تمرینات ثبات مرکزی

توانبخشی

جدول ۲. پروتکل تمرینات تعادلی

هفته	سطوح	چشم‌ها	تمرینات
گرم کردن: ۵ دقیقه راه رفتن، کشش استاتیک گروه عضلات ماژور (۲ست ۱۵ ثانیه‌ایی)			
۱	زمین	باز	ایستاده روی یک پا
		باز	ایستاده روی یک پا حرکت نوسانی پای مخالف
		باز	اسکوات بر روی یک پا
		باز	ایستاده روی یک پا، حرکت فانکشنال پای مخالف (دریبل زدن، شوت زدن و غیره)
۲	زمین	بسته	ایستاده روی یک پا
		بسته	ایستاده روی یک پا حرکت نوسانی پای مخالف
		بسته	اسکوات بر روی یک پا
۳	تخته تعادل	باز	ایستاده روی یک پا
		باز	ایستاده روی یک پا حرکت نوسانی پای مخالف
		باز	اسکوات بر روی یک پا
		باز	ایستاده روی هر دو پا همراه با چرخاندن تخته تعادل
۴	تخته تعادل	بسته	ایستاده روی یک پا
		باز	ایستاده روی یک پا حرکت نوسانی پای مخالف
		باز	اسکوات بر روی یک پا
		باز	ایستاده روی یک پا همراه با چرخاندن تخته تعادل
۵ و ۶	تخته تعادل	بسته	ایستاده روی یک پا
		بسته	اسکوات بر روی یک پا
		بسته	ایستاده روی یک پا همراه با چرخاندن تخته تعادل
		بسته	ایستاده روی یک پا، حرکت فانکشنال پای مخالف (دریبل زدن، شوت زدن و غیره)
سردکردن: ۵ دقیقه راه رفتن، کشش استاتیک گروه عضلات ماژور (۲ ست ۱۵ ثانیه‌ایی)			

توانبخشی



تصویر ۳. نحوه انجام تست تعادلی

توانبخشی

درزمینه تأثیر این تمرینات بر روی حس عمقی مفاصل اندام تحتانی، مطالعات اندکی وجود دارد. نتایج این تحقیق با تعدادی از مطالعات مانند مطالعه کاگ و همکاران که به‌منظور بررسی تأثیر ۱۰ هفته تمرین ثبات مرکزی بر روی قدرت عضلات تنه و حس عمقی زانو بر روی زنان و مردان غیرفعال بدون سابقه فعالیت ورزشی انجام شد، همسو بود. مطالعه مولتو نشان داد این تمرینات باعث بهبود طولانی‌مدت حس عمقی زانو (تا ۹ماه پس از تمرین) و افزایش قدرت عضلات تنه می‌شود [۴۱].

مکانیسم‌های احتمالی تأثیر تمرینات بر روی پیامدها

درمورد مکانیسم بهبود حس عمقی زانو و تعادل دینامیک می‌توان گفت، انجام تمرینات ثبات مرکزی بر روی سطوح ناپایدار مانند توپ سوئیس بال، شرایط بی‌ثباتی را ایجاد می‌کند که ممکن است سبب تحریک گیرنده‌های حس عمقی برای فراهم کردن فیدبک حفظ تعادل و آگاهی از موقعیت بدن شود [۴۲، ۴۳] شرایط بی‌ثبات در حین انجام تمرینات ثبات مرکزی، تغییرات حادی را در طول و تنش واحدهای تاندونی عضلانی و فعالیت نوروماسکولار القا می‌کند که توانایی حس عمقی و پاسخ حرکتی را برای حفظ تعادل تقویت می‌کند [۴۴-۴۶]. همچنین استفاده از تمرینات زنجیره بسته مانند نشستن بر روی توپ

تصویر ۵. نحوه انجام تمرینات تعادل

توانبخشی

جدول ۳. متغیرهای جمعیت‌شناختی در دو گروه

متغیر / گروه	میانگین±انحراف‌معیار	
	ثبات مرکزی	تعادلی
سن (سال)	۲۵/۴±۳/۲۳	۲۶/۳±۳/۲۳
قد (سانتی‌متر)	۱۶۷/۷±۳/۵۶	۱۶۸/۱۵±۳/۱۶
وزن (کیلوگرم)	۶۱±۳/۰۲	۶۴±۴/۹۸
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/متر مربع)	۲۱/۷±۰/۷۶	۲۲/۵۹±۱/۲۶
طول پا (سانتی‌متر)	۸۶/۷±۲/۶۱	۸۶/۹۵±۲/۳۸

توانبخشی

جدول ۴. خطای مطلق بازسازی زاویه‌ای، قبل و بعد از تمرینات در دو گروه

گروه	زاویه	میانگین±انحراف‌معیار		P	اندازه اثر
		قبل	بعد		
ثبات مرکزی	۳۰	۳/۸۸±۱/۶۱	۲/۰۵±۱/۱۶	۰/۰۰۱	۱/۳۰
	۶۰	۴/۱۰±۱/۳۱	۱/۹۳±۰/۷۵	۰/۰۰۰۱	۲/۰۳
تعادلی	۳۰	۳/۷۳±۱/۱۲	۲/۱۵±۱/۲۸	۰/۰۰۱	۱/۳۱
	۶۰	۳/۲۵±۰/۷۵	۲/۲۸±۱/۲۱	۰/۰۱	۰/۹۶

توانبخشی

جدول ۵. نمره تعادلی در سه جهت ، قبل و بعد از تمرینات در دو گروه

گروه	جهت	میانگین±انحراف‌معیار		P	اندازه اثر
		قبل	بعد		
ثبات مرکزی	قدامی	۸۷/۵۵±۵/۹۷	۹۱/۱۶±۵/۴۷	۰/۰۰۰۱	۰/۶۳۱
	خلفی خارجی	۹۲/۸۷±۶/۷۶	۱۰۲/۲۰±۵/۴۹	۰/۰۰۰۱	۱/۵۱
	خلفی داخلی	۱۰۱/۵۸±۵/۳۴	۱۱۰/۲۸±۵/۰۴	۰/۰۰۰۱	۱/۶۷
تعادلی	قدامی	۸۸/۲۰±۳/۴۸	۹۳/۳۲±۳/۵۸	۰/۰۰۰۱	۱/۴۵
	خلفی خارجی	۹۴/۵۲±۵/۰۷	۱۰۳/۴۶±۳/۶۵	۰/۰۰۰۱	۲/۰۳
	خلفی داخلی	۱۰۲/۴۱±۳/۲۹	۱۰۸/۶۰±۲/۶۹	۰/۰۰۰۱	۲/۰۶

توانبخشی

سوئیس بال و تمرین کرانچ؛ چندین مفصل را در چند صفحه حرکتی درگیر می‌کند که سبب تسهیل یکپارچگی گیرنده‌های حسی که مسئول تشخیص موقعیت و حرکات مفصل می‌باشند، می‌شود. [۴۷]. همچنین انجام تمرین بر روی توپ سوئیس بال ممکن است سبب افزایش فعالیت هم‌انقباضی شود [۴۸]. این تمرینات می‌توانند سبب افزایش حساسیت مسیر فیدبکی و کوتاه شدن زمان پاسخ و بهبود حساسیت حس وضعیت شوند [۴۹]. مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که فعالیت عضلات پلانتار

جدول ۶. مقایسه تغییر خطای مطلق بازسازی زاویه بین دو گروه

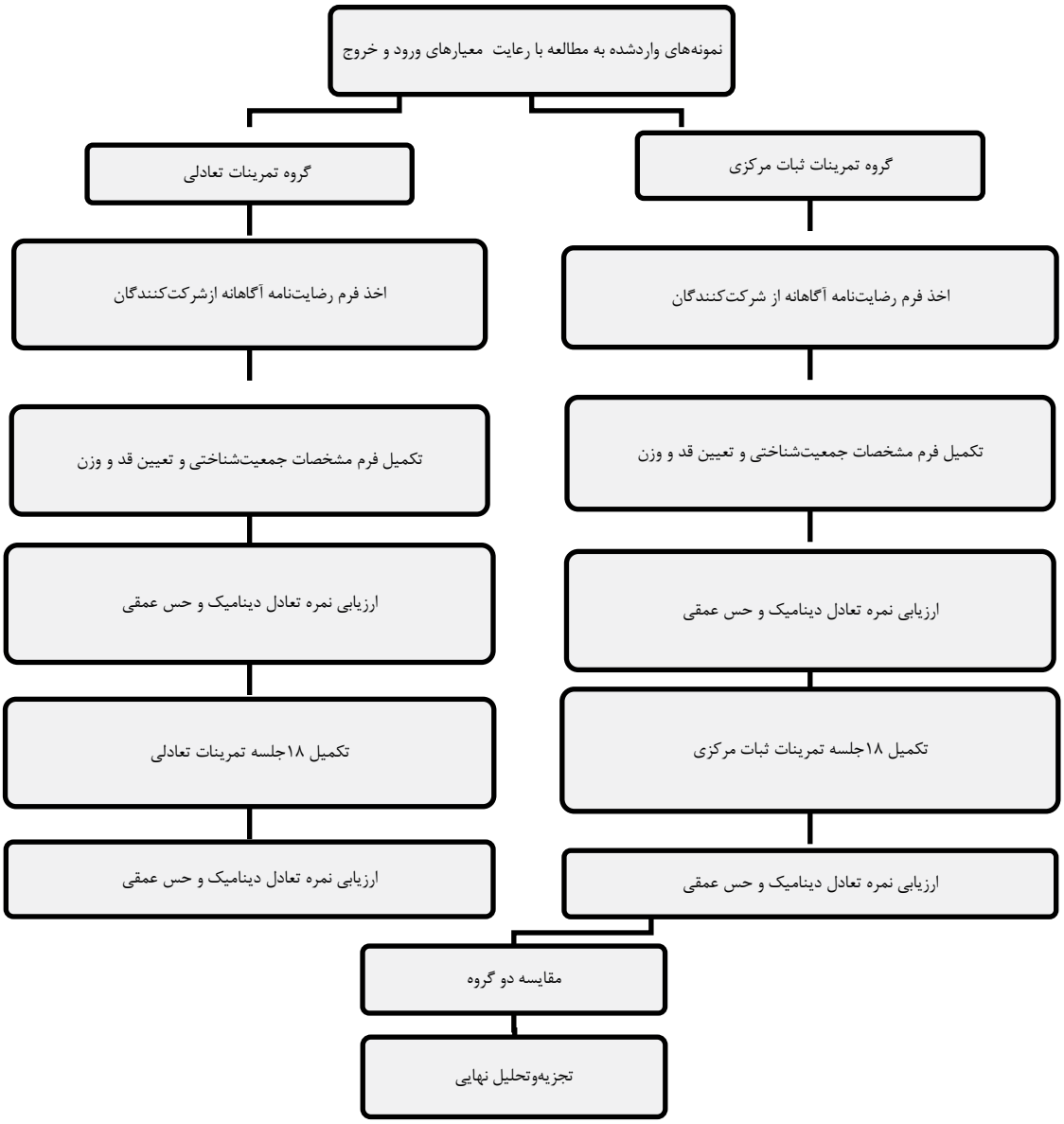
زاویه‌ها / گروه	میانگین±انحراف‌معیار		P	t
	ثبات مرکزی	تعادلی		
۳۰	۱/۸۲±۱/۱۷	۱/۶۰±۰/۹۹	۰/۶۶۶	-۰/۴۳۹
۶۰	۲/۱۷±۱/۱۸	۰/۹۹۷±۰/۹۴	۰/۰۲۳*	-۲/۵۰۵

توانبخشی

جدول ۷. مقایسه تغییرات نمره تعادلی در سه جهت بین دو گروه

جهت‌ها / گروه	میانگین±انحراف‌معیار		P	t
	ثبات مرکزی	تعادلی		
قدامی	۳/۶۰±۱/۳۷	۵/۱۲±۱/۲۵	۰/۰۱۹*	۲/۵۷۴
خلفی-خارجی	۹/۳۲±۱/۸۳	۸/۸۴±۲/۲۴	۰/۶۰۹	-۰/۵۲۱
خلفی-داخلی	۸/۷۰±۱/۰۴	۶/۱۹±۱/۴۵	۰/۰۰۰۱*	-۴/۴۲۰

توانبخشی



تصویر ۶. فلوچارت روش تحقیق

توانبخشی

فلکشن مقاومتی و اکستنشن پا در شرایط بی‌ثبات به ترتیب، ۳۰/۷ و ۴۰/۲ درصد بیشتر از فعالیت انتاگونیست آن در شرایط با ثبات می‌باشد. این افزایش فعالیت هم‌انقباضی می‌تواند سبب بهبود کنترل موتور و تعادل برای کمک به کنترل موقعیت اندام در زمان تولید نیرو شود [۵۰]. در حین انجام تمرینات ثبات مرکزی بر روی توپ سوئیس بال، سیستم موتور کنترل سبب آغاز هم‌انقباضی دو گروه عضلات گلوبال و لوکال تثبیت‌کننده ستون فقرات برای حفظ تعادل می‌شود. انجام تمرینات معمولی مانند بلند شدن از حالت نشسته بر روی زمین باعث بهبود عملکرد عضلات گلوبال می‌گردد اما حفظ ثبات در حین انجام تمرین بر روی توپ سوئیس بال به‌طور عمده باعث بهبود عملکرد ثبات‌دهنده‌های لوکال و به‌کارگیری و ادغام بیشتر هر دو گروه عضلات لوکال و گلوبال می‌گردد [۵۱].

هماهنگی بین تمامی عضلات تنه و ران برای کنترل و موقعیت طبیعی ستون فقرات ضروری است و عضلاتی که به‌صورت منحصربه‌فرد در افزایش ثبات مرکزی نقش داشته باشد، وجود ندارد. تعادل بین عضلانی در چهار طرف ستون فقرات مهم‌ترین عامل پایداری ستون فقرات می‌باشد. عضلات ثبات‌دهنده ناحیه لگن و ران مسئول حفظ راستای صحیح اندام تحتانی در حین انجام حرکات پویا می‌باشند؛ بنابراین ضعف و کاهش استقامت عضلات ثبات‌دهنده خلفی، قدامی و جانبی تنه باعث کاهش قدرت و کارایی عضلات اطراف ران می‌شود. عضلات ران نقش

مهمی در انتقال نیرو از اندام تحتانی به سمت بالا، ستون فقرات در حین اجرای فعالیت‌هایی که به‌صورت عمودی یا ایستاده هستند، ایفا می‌کند و درنتیجه ضعف عضلات ثبات‌دهنده مرکزی می‌تواند راستای صحیح اندام تحتانی را در حین انجام حرکات پویا برهم زند و الگوی حرکتی را در اندام تحتانی دچار اختلال کند [۵۲].

مقایسه تأثیر تمرینات بر پیامدها بین دو گروه

نتایج بین گروهی نشان داد در مورد متغیر خطای مطلق، میانگین کاهش خطا در زاویه ۳۰ درجه بین دو گروه تفاوت معنی‌دار آماری نداشت اما در زاویه ۶۰ درجه میزان کاهش خطا تفاوت معنی‌دار را بین دو گروه نشان داد که میزان تغییرات در گروه ثبات مرکزی بیشتر از گروه تعادلی بود. همچنین در مورد متغیر تعادل دینامیک، تغییرات نمره تعادل در جهت خلفی خارجی، بین دو گروه تفاوت معنی‌دار آماری نداشت اما در جهت قدامی و خلفی داخلی تفاوت معنی‌دار را نشان داد که میزان تغییرات در جهت قدامی در گروه تعادلی بیشتر و در جهت خلفی داخلی در گروه ثبات مرکزی بیشتر بود. باتوجه‌به تفاوت بین دو نوع تمرین در اثرگذاری بر مؤلفه‌های تعادل و حس عمقی، می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت در آزمون‌های اندازه‌گیری‌شده مربوط به ویژگی‌های تمرینی بوده است. ازآنجایی‌که تمرینات بر روی توپ سوئیس بال تمرکز بیشتری بر روی کنترل حرکتی داشته و به قدرت بیشتری برای اجرای تمرینات نیاز داشته، میانگین تغییرات در تمام متغیرهای پاسخ به‌جز نمره تعادل قدامی در گروه ثبات مرکزی بیشتر از گروه تعادلی بود.

یکی از مطالعاتی که درزمینه مقایسه تأثیر تمرینات تعادلی و ثبات مرکزی انجام شده است، مطالعه مایکل و همکاران بود. آن‌ها مقایسه تأثیر این تمرینات را بر روی تعادل دینامیک و سمی دینامیک را در افراد سالم بررسی کرده‌اند. نمونه‌ها در چهار گروه تمرینات ثبات مرکزی، تمرینات تعادلی و گروه ترکیب هردو تمرین تعادلی و ثبات مرکزی و گروه کنترل قرار گرفتند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد تفاوت چشمگیری در تعادل سمی دینامیک به‌جز در گروه ترکیبی دیده نشد که احتمالاً دلیل آن به‌علت کم بودن زمان انجام تمرینات (به‌مدت ۴ هفته و ۲ جلسه در هفته) اما در هر دو گروه تمرینات تعادلی و تمرینات ثبات مرکزی پیشرفت چشمگیری در تعادل دینامیک دیده شد [۲۰] که با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد. مطالعه آگاروال و همکاران که در سال ۲۰۱۰ با هدف مقایسه تأثیر تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات تعادلی بر روی بهبود تعادل استاتیک، دینامیک و فانکشنال در زنان و مردان فعال انجام دادند؛ نتایج آن‌ها تفاوت چشمگیری در تمام تست‌های تعادلی در هر دو گروه ثبات مرکزی و تعادلی نشان داد که میزان بهبودی در گروه ثبات مرکزی از گروه تعادلی بیشتر بود [۵۳].

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به نتایج مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت که هر دو پروتکل تمرینات تعادلی و تمرینات ثبات مرکزی در بهبود حس عمقی زانو و تعادل دینامیک در زنان ورزشکار سالم تأثیر قابل‌ملاحظه‌ایی داشتند. بنابراین از هر دو نوع تمرینات می‌توان برای بهبود حس عمقی زانو و تعادل دینامیک بهره برد. میزان تغییرات حس عمقی در گروه ثبات مرکزی بیشتر از گروه تعادلی بود، بنابراین تمرینات ثبات مرکزی بیشتر برای این هدف توصیه می‌شود اما میزان تأثیرگذاری دو گروه بر روی تعادل دینامیک تفاوت چشمگیری نداشت.

مشکلات و محدودیت‌ها

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به مشارکت پایین زنان ورزشکار به‌دلیل شیوع بیماری کرونا اشاره نمود.

یکی دیگر از محدودیت‌های این مطالعه، سن گروه های موردمطالعه بود (۲۰ تا ۳۰ سال). مشخص نیست که همین نتایج در سنین کمتر یا بیشتر از بازه موردمطالعه اتفاق بیفتد.

محدودیت دیگر این مطالعه انجام ارزیابی‌ها بر روی پای ترجیحی بود که بهتر است اجرای تست‌ها توسط پای راست و چپ و مقایسه آن‌ها صورت گیرد. همچنین بهتر است از دستگاه ایزوکینتیک برای سنجش حس عمقی استفاده شود که سرعت را کنترل کند و از اجزاء حس عمقی، حس نیرو و حرکت نیز ارزیابی شود. همین‌طور بهتر است بعد از نتایج تمرینات در بازه‌های زمانی بلندمدت نیز ارزیابی شود تا تداوم اثر تمرینات مورد بررسی قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

کلیه مراحل مطالعه پس از تأیید مطالعه در کمیته اخلاق دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی تهران با شماره مرجع کمیته اخلاق: IR.TUMS.FNM.REC.1399.012 انجام شد. همه شرکت‌کنندگان از هدف و روش این مطالعه مطلع شدند و رضایت آگاهانه از همه شرکت‌کنندگان اخذ شد.

حامی مالی

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد زهرا ماوائیان گروه فیزیوتراپی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران است و هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دوندگان مسافتی که در این مطالعه شرکت کردند تشکر می‌کنند.

References

[1] Kiani A, Hellquist E, Ahlqvist K, Gedeborg R, Michaëlsson K, Byberg L. Prevention of soccer-related knee injuries in teenaged girls. Archives of Internal Medicine. 2010; 170(1):43-9. [DOI:10.1001/archinternmed.2009.289] [PMID]

[2] Bahr R, Holme I. Risk factors for sports injuries-a methodological approach. British Journal of Sports Medicine. 2003; 37(5):384-92. [DOI:10.1136/bjsm.37.5.384] [PMID]

[3] Bayramoglu M, Toprak R, Sozay S. Effects of osteoarthritis and fatigue on proprioception of the knee joint. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2007; 88(3):346-50. [DOI:10.1016/j.apmr.2006.12.024] [PMID]

[4] Thacker SB, Stroup DF, Branche CM, Gilchrist J, Goodman RA, Porter Kelling E. Prevention of knee injuries in sports. A systematic review of the literature. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2003; 43(2):165-79. [PMID]

[5] Evetovich TK, Nauman NJ, Conley DS, Todd JB. Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, electromyography, and mechanomyography during concentric isokinetic muscle actions. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2003; 17(3):484-8. [Link]

[6] Magalhães T, Ribeiro F, Pinheiro A, Oliveira J. Warming-up before sporting activity improves knee position sense. Physical Therapy in Sport. 2010; 11(3):86-90. [DOI:10.1016/j.ptsp.2010.06.001]

[7] Tayshete I, Akre M, Ladgaonkar Sh, Kumar A. Comparison of effect of proprioceptive training and core muscle strengthening on the balance ability of adolescent taekwondo athletes. International Journal of Health Sciences and Research. 2020; 10(6):268-79. [Link]

[8] Rahim AF, Sari GM, Rejeki PS. Difference influence of core stability exercise and ankle proprioceptive exercise toward dynamic balance on young adult overweight. Proceedings of the 2nd Health Science International Conference (HSIC 2019). 2020; 27-30. [Link]

[9] Alikhani R, Shahrjerdi S, Golpaigany M, Kazemi M. The effect of a six-week plyometric training on dynamic balance and knee proprioception in female badminton players. The Journal of The Canadian Chiropractic Association. 2019; 63(3):144-53. [PMID]

[10] Wong P, Hong Y. Soccer injury in the lower extremities. British Journal of Sports Medicine. 2005; 39(8):473-82. [DOI:10.1136/bjsm.2004.015511] [PMID]

[11] Ronga M, Grassi FA, Manelli A, Bulgheroni P. Tissue engineering techniques for the treatment of a complex knee injury. Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. 2006; 22(5):576.e1-3. [DOI:10.1016/j.arthro.2005.12.050] [PMID]

[12] Rahnama N, Bambaeichi E, Daneshjoo A. The epidemiology of knee injuries in Iranian male professional soccer players. Sport Sciences for Health. 2009; 5(1):9-14. [DOI:10.1007/s11332-009-0070-1]

[13] Brodal P. The central nervous system. Oxford: Oxford University Press; 2010. [Link]

[14] Esmailnia M, Khalkhali Zavieh M, Naeimi SS. [Effect of balance exercises on lower limb joint proprioception: systematic review (Review Article) (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2017; 6(3):266-73. [Link]

[15] Daneshjoo A, Mokhtar AH, Rahnama N, Yusof A. The effects of comprehensive warm-up programs on proprioception, static and dynamic balance on male soccer players. Plos One. 2012; 7(12):e51568. [DOI:10.1371/journal.pone.0051568] [PMID]

[16] Pánics G, Tállay A, Pavlik A, Berkes I. Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. British Journal of Sports Medicine. 2008. 42(6):472-6. [DOI:10.1136/bjsm.2008.046516] [PMID]

[17] Cuğ M, Ak E, Ozdemir RA, Korkusuz F, Behm DG. The effect of instability training on knee joint proprioception and core strength. Journal of Sports Science & Medicine. 2012; 11(3):468-74. [PMID]

[18] Hübscher M, Zech A, Pfeifer K, Hänsel F, Vogt L, Banzer W. Neuromuscular training for sports injury prevention: A systematic review. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2010; 42(3):413-21. [PMID]

[19] Akuthota V, Ferreiro A, Moore T, Fredericson M. Core stability exercise principles. Current Sports Medicine Reports. 2008; 7(1):39-44. [PMID]

[20] Priyanka P, Nilima B, Parag S, Ashok S. Effects of lumbar core stability exercise programme on knee pain, range of motion, and function post anterior cruciate ligament reconstruction. Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation. 2017; 23(1):39-44. [DOI:10.1016/j.jotr.2016.10.003]

[21] Filipa A, Byrnes R, Paterno MV, Myer GD, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 2010; 40(9):551-8. [DOI:10.2519/jospt.2010.3325] [PMID]

[22] Sandrey MA, Mitzel JG. Improvement in dynamic balance and core endurance after a 6-week core-stability-training program in high school track and field athletes. Journal of Sport Rehabilitation. 2013; 22(4):264-71. [DOI:10.1123/jsr.22.4.264] [PMID]

[23] King M. Core stability: Creating a foundation for functional rehabilitation. Athletic Therapy Today. 2000; 5(2):6-13. [DOI:10.1123/att.5.2.6]

[24] Samson KM. The effects of a five-week core stabilization-training program on dynamic balance in tennis athletes. [MA thesis]. Virginia: West Virginia University; 2005. [Link]

[25] Fredericson M, Moore T. Muscular balance, core stability, and injury prevention for middle- and long-distance runners. Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America. 2005; 16(3):669-89. [DOI:10.1016/j.pmr.2005.03.001] [PMID]

[26] Lust KR, Sandrey MA, Bulger SM, Wilder N. The effects of 6-week training programs on throwing accuracy, proprioception, and core endurance in baseball. Journal of Sport Rehabilitation. 2009; 18(3):407-26. [PMID]

[27] Jeffreys I. Developing a progressive core stability program. Strength & Conditioning Journal. 2002; 24(5):65-6. [DOI:10.1519/00126548-200210000-00017]

[28] McGuine TA, Keene JS. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. The

American Journal of Sports Medicine. 2006; 34(7):1103-11. [DOI:10.1177/0363546505284191] [PMID]

[29] Pour Kazemi F, Naseri N, Bagheri H, Fakhari Z. [Reliability of a system consists of skin markers, digital photography, and AutoCAD software for measuring the knee angles (Persian)]. Journal of Modern Rehabilitation. 2009; 2(3 and 4):19-24. [Link]

[30] Levangie PK, Norkin CC. Joint structure and function: A comprehensive analysis. Philadelphia: FA. Davis Company; 2011. [Link]

[31] Lafortune MA, Lambert C , Lake M. Skin marker displacement at the knee joint. Journal of Biomechanics. 1993; 26(3):299. [DOI:10.1016/0021-9290(93)90408-7]

[32] Kim HY. The examination of reliability of lower limb joint angles with free software imageJ. Journal of the Ergonomics Society of Korea. 2015; 34(6):583 -95. [DOI:10.5143/JESK.2015.34.6.583]

[33] Romero-Franco N, Jiménez-Reyes P. Effects of warm-up and fatigue on knee joint position sense and jump performance. Journal of Motor Behavior. 2017; 49(2):117-22. [PMID]

[34] Onofrei RR, Amaricai E, Petroman R, Suciu O. Relative and absolute within-session reliability of the modified Star Excursion Balance Test in healthy elite athletes. PeerJ. 2019; 7:e6999. [DOI:10.7717/peerj.6999] [PMID]

[35] Cabanas-Valdés R, Boix-Sala L, Grau-Pellicer M, Guzmán-Bernal JA, Caballero-Gómez FM, Urrútia G. The effectiveness of additional core stability exercises in improving dynamic sitting balance, gait and functional rehabilitation for subacute stroke patients (CORE-Trial): Study protocol for a randomized controlled trial. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021; 18(12):6615. [PMID]

[36] Bahrami F, Sabbagh Langeroudi M. [Comparison of the effects of core stability and trampoline exercises on static and dynamic balance, and ankle proprioception in female volleyball players with chronic ankle instability (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics. 2023; 9(2):140-54. [DOI:10.61186/JSportBiomech.9.2.140]

[37] Kahle NL, Gribble PP. Care stability training in dynamic balance testing among young, healthy adults. Athletic Training & Sports Health Care. 2009; 1(2):65-73. [DOI:10.3928/19425864-20090301-03]

[38] Sato K, Mokha M. Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-M performance in runners? Journal of Strength and Conditioning Research. 2009; 23(1):133-40. [DOI:10.1519/JSC.0b013e31818eb0c5] [PMID]

[39] Ashton-Miller JA, Wojtys EM, Huston LJ, Fry-Welch D. Can Proprioception Really Be Improved By Exercises? Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2001; 9(3):128-36. [PMID]

[40] Cooke JD. The role of stretch reflexes during active movements. Brain Research. 1980; 181(2):493-7. [DOI:10.1016/0006-8993(80)90636-8] [PMID]

[41] Verhagen EA, van Tulder M, van der Beek AJ, Bouter LM, van Mechelen W. An economic evaluation of a proprioceptive balance board training programme for the prevention of ankle sprains in volleyball. British Journal of Sports Medicine. 2005; 39(2):111-5. [DOI:10.1136/bjsm.2003.011031] [PMID]

[42] Anderson K, Behm DG. The impact of instability resistance training on balance and stability. Sports Medicine. 2005; 35(1):43-53. [PMID]

[43] Heitkamp HC, Horstmann T, Mayer F, Weller J, Dickhuth HH. Gain in strength and muscular balance after balance training. International Journal of Sports Medicine. 2001; 22(04):285-90. [DOI:10.1055/s-2001-13819] [PMID]

[44] Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Kjaer M. Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. The American Journal of Sports Medicine. 1996; 24(5):622-8. [DOI:10.1177/036354659602400510] [PMID]

[45] Rogol IM, Ernst G, Perrin DH. Open and closed kinetic chain exercises improve shoulder joint reposition sense equally in healthy subjects. Journal of Athletic Training. 1998; 33(4):315-8. [PMID]

[46] Mirjamali E, Minoonejad H, Seidi F, Samadi, H. (2019). [Comparison of the effects of core stability training on stable and unstable levels on the static and dynamic balance of female athletes with trunk dysfunction (Persian)]. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2019; 8(1):61-70. [DOI:10.22037/jrm.2018.111331.1920]

[47] Sparkes R, Behm DG. Training adaptations associated with an 8-week instability resistance training program with recreationally active individuals. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2010; 24(7):1931-41. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3181df7fe4] [PMID]

[48] Engelhorn R. Agonist and antagonist muscle EMG activity pattern changes with skill acquisition. Research Quarterly for Exercise and Sport. 1983; 54(4):315-23. [DOI:10.1080/02701367.1983.10605315]

[49] Willardson JM. Core stability training for healthy athletes: A different paradigm for fitness professionals. National Strength and Conditioning Association. 2007; 29(6):42-9. [Link]

[50] Kumar S, Sharma VP, Shikla R, Dev R, Pal Singh Negi M. Assessment of back and abdominal pressure, sexual frequency and quality of life. International Journal of Therapy and Rehabilitation. 2009; 16(11):615-24. [DOI:10.12968/ijtr.2009.16.11.44943]

[51] Balba AE, Alaa IE, Ahmed H, Mohammed MM. Effect of core stability training on knee proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction. The Medical Journal of Cairo University. 2018; 86(March):231-40. [DOI:10.21608/mjcu.2018.55091]

[52] Hadadnezhad M, Rajabi R, Alizadeh MH, Letafatkar A. [Does core stability predispose female athletes to lower extremity injuries? (Persian)] Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2010; 6(2):89-98. [Link]

[53] Aggarwal A, Zutshi K, Munjal J, Kumar S, Sharma V. Comparing stabilization training with balance training in recreationally active individuals. International Journal of Therapy and Rehabilitation. 2010; 17(5):244-53. [DOI:10.12968/ijtr.2010.17.5.47843]