پژوهش های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین

# *The effect of high-intensity intermittent exercise on serum levels of protein-D surfactant (SPD) and insulin resistance index in healthy male and diabetic rats*

**Ftemeh Karbalae Ali [1], Safoora Sabbaghian Rad [2]✉**

1. M.A. Student, Department of Sports Sciences, Faculty of Literature and Humanities, Toho Mehr University, Qom, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Sports Sciences, Faculty of Literature and Humanities, University of Qom, Qom, Iran

**Article Info**

**Article type:**
Research Article

**Article history:**
Received 25 Sep 2025
Received in revised form 19 Nov 2025
Accepted 09 Dec 2025
Available online 22 Dec 2025

***Keywords***:
*Reactive Neuromuscular Training, Ankle Instability, Volleyball Players, Static Balance, Dynamic Balance*

## ABSTRACT

**Objective**: Ankle sprains are among the most prevalent ligamentous injuries in athletes, particularly in sports like volleyball involving jumping and landing. A high percentage of these injuries result in chronic ankle instability (CAI), characterized by diminished proprioception, impaired neuromuscular control, and recurrent giving way, which significantly increases re-injury risk and compromises functional performance. Reactive Neuromuscular Training (RNT) has been introduced as a corrective approach to address faulty movement patterns and enhance dynamic stability by applying controlled external perturbations.

**Aim:** This study aimed to investigate the effects of an 8-week RNT program on both static and dynamic balance in female volleyball players suffering from functional ankle instability.

**Methods:** In this quasi-experimental study, 30 female volleyball players with CAI were purposively selected and randomly assigned to either an experimental group (n=15) or a control group (n=15). The experimental group performed a supervised RNT protocol for 45 minutes, three sessions per week, over eight weeks, while the control group maintained their regular training routine. Static balance was assessed using the Flamingo test, and dynamic balance was evaluated through the Y-Balance test (YBT) for both limbs. Measurements were taken before and after the intervention period.

**Results:** Statistical analysis revealed a significant improvement in post-test scores for the experimental group compared to the control group. Specifically, the RNT group demonstrated significant enhancements in static balance for both the right ($P=0.001$) and left ($P<0.001$) legs. Furthermore, dynamic balance performance showed significant increases for both the right ($P<0.01$) and left ($P<0.01$) limbs following the training intervention. No significant changes were observed in the control group for any of the balance measures.

**Conclusion:** An 8-week Reactive Neuromuscular Training program effectively improves both static and dynamic balance in female volleyball players with chronic ankle instability. These findings suggest that incorporating RNT protocols into rehabilitation and preventive training regimens can be a valuable strategy for enhancing functional stability and potentially reducing the risk of recurrent ankle injuries in this athletic population.

**Cite this article:** Karbalae Ali, F; Sabbaghian Rad, S., The effect of 8 weeks of RNT training on core stability in volleyball players with ankle instability. *Applied Research in Sports Nutrition and Exercise Science*, 2025:2(4):84-99. 10.22091/arsnes.2024.11878.1051

© The Author(s).

Publisher: University of Qom.
DOI: 10.22091/arsnes.2024.11878.1051

**Extended Abstract**

**Introduction**

Ankle injuries represent a pervasive and significant challenge in the field of sports medicine, with lateral ankle sprains standing as the single most common musculoskeletal injury across a wide array of athletic activities. Sports characterized by jumping, cutting, and rapid directional changes, such as volleyball, basketball, and soccer, present a particularly high-risk environment for these acute traumatic events. The pathophysiology of a typical lateral ankle sprain involves excessive supination and inversion of the rearfoot, leading to damage to the lateral ligamentous complex, most frequently the anterior talofibular ligament. While the initial inflammatory and acute pain phases often resolve with standard conservative management, a substantial subset of individuals—estimated between 40% to 70%—develop a condition known as chronic ankle instability (CAI). This condition transcends mere mechanical laxity, evolving into a multifaceted sensorimotor deficit that significantly impairs function and quality of life.

Chronic ankle instability is conceptualized as a self-perpetuating cycle of disability, where the initial injury leads to residual symptoms, functional limitations, and a heightened fear of recurrent injury. It is broadly categorized into two interconnected components: mechanical instability and functional instability. Mechanical instability refers to the objective, measurable increase in ankle joint laxity and accessory motion beyond the physiological range, often resulting from structural damage to ligaments and the joint capsule. Functional instability, however, is a more complex and clinically significant phenomenon. It is defined by the subjective sensation of the ankle "giving way" during activity, stemming not solely from structural deficiency but from profound impairments in the neuromotor control systems that govern joint stability. These impairments include deficits in proprioception (the sense of joint position and movement), diminished strength of the peri-articular muscles—particularly the peroneals—delayed and insufficient neuromuscular responses to postural perturbations, and altered movement patterns during gait and sport-specific tasks. The consequence is a joint that, despite potentially adequate structural healing, remains vulnerable to re-injury, leading to a debilitating cycle of recurrent sprains, decreased athletic performance, and early-onset post-traumatic osteoarthritis.

The cornerstone of effective rehabilitation and prevention for CAI, therefore, must extend beyond traditional strength and flexibility training to directly target these underlying neuromotor dysfunctions. In recent years, contemporary rehabilitation paradigms have shifted towards task-specific, dynamic, and integrated training approaches designed to re-educate the sensorimotor system. Among these, Reactive Neuromuscular Training (RNT) has emerged as a promising therapeutic strategy. Originally developed by Voight and Cook, RNT operates on the principle of applying controlled, external perturbations during

functional movement patterns. The foundational theory posits that many chronic musculoskeletal dysfunctions are perpetuated by learned, compensatory, and inefficient movement strategies adopted subconsciously following injury or pain. These faulty patterns become engrained in the central nervous system's motor programming.

The innovative methodology of RNT involves using a light-resistance elastic band to apply a directional force that subtly exaggerates the individual's existing movement fault. For instance, in a patient with CAI who demonstrates excessive rearfoot inversion during a single-leg squat, the band would be applied to pull the ankle further into inversion. The critical instruction to the patient is to actively resist this guided pull, thereby cognitively engaging the correct muscular synergies—such as activating the peroneal muscles to promote eversion and stability—to maintain a neutral and stable joint position. This process does not aim to build maximal strength but rather to enhance the coordination, timing, and automaticity of muscular stabilizers. By challenging the system in a reactive, dynamic manner, RNT facilitates neuroplastic changes, promoting the recruitment of stabilizing muscle synergies and improving the speed and efficiency of spinal-reflex mediated pathways. It bridges the gap between conscious, volitional correction and subconscious, automatic stability. Given that volleyball demands exceptional levels of both static postural control (e.g., during blocking preparation or setting) and dynamic, reactive balance (e.g., during landing from a spike or a defensive dive), addressing CAI with a modality like RNT is highly relevant. This study, therefore, sought to investigate the efficacy of a structured, 8-week RNT program on restoring both static and dynamic balance parameters in a population of female volleyball players diagnosed with functional ankle instability.

**Methods**

This investigation employed a quasi-experimental research design with a pre-test/post-test control group structure. The target population consisted of competitive female volleyball players participating in the free leagues of Qom, Iran. A purposive sampling method was used to recruit thirty athletes who met stringent inclusion and exclusion criteria. The primary inclusion criteria were: a self-reported history of at least one significant lateral ankle sprain requiring cessation of activity in the past 12 months; a current subjective feeling of ankle instability or "giving way"; and a score of 24 or below on the Persian version of the Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT), a valid and reliable patient-reported outcome measure specifically designed to identify functional ankle instability. Exclusion criteria included any acute musculoskeletal injury in the lower extremities or back in the previous three months, a history of lower limb fracture or surgery, diagnosed neurological or vestibular disorders, or any systemic condition affecting balance.

The thirty eligible participants were then randomly allocated into two groups: an experimental group (n=15) and a control group (n=15). Prior to the commencement of the intervention, all participants underwent a comprehensive baseline assessment. Demographic and anthropometric data (age, height, weight, BMI) were recorded. The primary dependent variables were assessed using two functional performance tests. Static balance was evaluated using the Flamingo Balance Test. For this test, the participant stood barefoot on a flat surface on their test leg, with the contralateral leg flexed at the knee and the foot held against the medial side of the supporting knee. The hands were placed on the hips. The number of times the participant lost balance (defined as removing

the hands from the hips, letting the raised foot touch the ground, or the supporting foot shifting) during a 60-second trial was recorded. A lower score indicated superior static postural control. This test was performed for both the right and left limbs. Dynamic balance was assessed using the Y-Balance Test (YBT), a reliable and validated derivative of the Star Excursion Balance Test. The test involves the participant maintaining a single-leg stance on a central platform while using the free limb to reach as far as possible along three designated lines: anterior, posteromedial, and posterolateral. The maximum reach distance in each direction, measured in centimeters, was recorded. To normalize for individual limb length, each reach distance was divided by the participant's leg length (measured from the anterior superior iliac spine to the medial malleolus). A composite reach score was then calculated as the sum of the three normalized reach distances divided by three times the limb length, multiplied by 100. A higher composite score signifies better dynamic postural control and functional stability. The YBT was also performed for both limbs.

Following the pre-test, the experimental group commenced an 8-week supervised RNT program. The protocol was conducted three times per week on non-consecutive days, with each session lasting approximately 45 minutes. Every session began with a standardized 10-minute warm-up consisting of light jogging on a treadmill and dynamic stretching. The RNT protocol itself was progressive in nature, starting with simpler, double-leg and supported exercises and advancing to more challenging single-leg, multi-planar, and sport-simulated movements. Core RNT exercises included variations of squats, lunges, step-downs, and single-leg balances. During each exercise, a light-to-moderate resistance elastic band was strategically attached to apply a destabilizing force that targeted the participant's observed movement dysfunction, primarily focusing on provoking and then correcting excessive inversion at the ankle. Participants were continuously cued to "resist the pull of the band" and maintain a neutral, stable ankle and knee alignment. The control group was instructed to maintain their regular volleyball training and conditioning routines without engaging in any specific ankle rehabilitation or novel balance training program.

Upon completion of the 8-week intervention period, all participants from both groups returned for post-testing, where the Flamingo Test and Y-Balance Test were re-administered under identical conditions to the pre-test. All statistical analyses were performed using SPSS software (Version 25). The normality of data distribution was confirmed using the Shapiro-Wilk test, and homogeneity of variances was verified with Levene's test. Descriptive statistics were reported as mean ± standard deviation. To examine within-group changes from pre-test to post-test, paired-sample t-tests were used. To determine the between-group differences in post-test scores while controlling for pre-test performance, Analysis of Covariance (ANCOVA) was employed, with pre-test scores serving as the covariate. The alpha level for statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

**Results**

The analysis of demographic and anthropometric data at baseline confirmed that the experimental and control groups were homogeneous, with no statistically significant differences in age, height, weight, or body mass index ($p > 0.05$). This ensured that any observed changes in balance outcomes could be more confidently attributed to the intervention rather than to pre-existing group disparities.

The within-group analysis for the experimental group revealed highly

significant improvements in all balance measures following the 8-week RNT intervention. For static balance, the number of balance errors on the Flamingo Test decreased significantly for both the right leg ($p = 0.001$) and the left leg ($p < 0.001$). For dynamic balance, the composite score on the Y-Balance Test increased significantly for both the right leg ($p = 0.002$) and the left leg ($p = 0.01$). In stark contrast, the control group, which continued with regular training, demonstrated no statistically significant changes in either static or dynamic balance for either limb over the same 8-week period ($p > 0.05$ for all comparisons).

The between-group analysis, utilizing ANCOVA with pre-test scores as covariates, provided compelling evidence for the superior effect of the RNT intervention. After adjusting for baseline performance, the experimental group exhibited significantly better post-test scores compared to the control group. The improvement in static balance was significantly greater for both the right leg ($F = 18.248$, $p < 0.001$) and the left leg ($F = 22.229$, $p = 0.001$). Similarly, the enhancement in dynamic balance was also significantly greater for the experimental group in both the right leg ($F = 7.768$, $p = 0.01$) and the left leg ($F = 22.229$, $p = 0.001$). These results clearly indicate that the 8-week RNT protocol was effective in eliciting substantial improvements in postural control, surpassing any changes associated with normal athletic activity alone.

**Discussion**

The findings of this study robustly support the primary hypothesis that an 8-week Reactive Neuromuscular Training program can induce significant enhancements in both static and dynamic balance among female volleyball players with chronic ankle instability. The consistency of the results across both limbs and both types of balance assessments underscores the comprehensive neuromotor benefits of the intervention. The mechanistic rationale for these improvements lies in the fundamental principles of RNT, which directly targets the core deficits associated with functional ankle instability.

Traditional rehabilitation often focuses on isolated strength training, particularly of the ankle evertors. While strength is a necessary component, it is insufficient if the nervous system cannot rapidly and appropriately recruit these muscles in response to a sudden postural challenge. CAI is characterized by proprioceptive deficits—a diminished ability to accurately sense joint position—and consequently, delayed and disorganized muscle activation patterns, a phenomenon known as arthrogenic muscle inhibition. The RNT protocol employed in this study specifically addressed these issues. By applying controlled perturbations via the elastic band, the training constantly challenged the participants' proprioceptive system. The brain was forced to process altered sensory input from the ankle mechanoreceptors and respond with appropriate, coordinated motor output to maintain stability. This repetitive practice of reacting to unexpected, yet controlled, disturbances is believed to enhance spinal reflex excitability, improve the sensitivity of muscle spindles, and foster more efficient motor programming in the central nervous system.

Furthermore, the exercises were integrated and functional, involving movements like lunges and step-downs that closely mimic the demands of volleyball. This ensures that the neuromotor improvements are transferable to the sporting environment. The emphasis was not on the magnitude of force production but on the quality, timing, and coordination of muscle activation to maintain a stable base of support. This likely explains the concurrent improvements in both static (Flamingo Test) and dynamic (YBT) balance. Static balance

tests primarily challenge the tonic, postural control system, while dynamic tests like the YBT assess the ability to maintain stability while the center of mass is displaced to the limits of the base of support, requiring intricate interplay between sensory feedback, anticipatory postural adjustments, and corrective reactions. The RNT protocol, by its very nature, trains both aspects simultaneously.

The results align with and extend the findings of previous research that has highlighted the benefits of neuromuscular and perturbation-based training for CAI. Studies on traditional balance training (e.g., wobble boards) have shown efficacy, but RNT offers a distinct advantage: it is inherently corrective and targeted. Rather than simply performing an exercise on an unstable surface, which may allow compensatory strategies to persist, RNT actively identifies and directly challenges the faulty movement pattern, forcing a conscious and then subconscious correction. This may lead to more robust and lasting changes in motor control. The significant improvements observed in this study suggest that RNT is a potent tool for breaking the cycle of functional instability, potentially reducing the intrinsic risk factors for ankle sprain recurrence.

It is noteworthy that the control group showed no significant improvements, highlighting that regular sport-specific training alone is inadequate to resolve the underlying sensorimotor deficits of CAI. This underscores the necessity for targeted, evidence-based interventions as part of a comprehensive athletic training or rehabilitation program for athletes with a history of ankle sprains.

**Conclusion**

In conclusion, this study provides compelling empirical evidence that an 8-week structured program of Reactive Neuromuscular Training is an effective intervention for improving static and dynamic balance in female volleyball players suffering from chronic ankle instability. The intervention successfully targeted the proprioceptive and neuromuscular control deficits central to the pathophysiology of functional instability, leading to measurable enhancements in postural stability. These findings carry significant practical implications for sports medicine practitioners, athletic trainers, physiotherapists, and coaches working with volleyball athletes and other populations at high risk for ankle injuries.

Incorporating RNT principles into the late-stage rehabilitation of acute ankle sprains and, more importantly, into the ongoing conditioning and injury prevention programs for athletes with a history of such injuries, is strongly recommended. By doing so, clinicians can move beyond merely treating symptoms and instead address the root cause of functional instability, thereby promoting safer athletic participation, enhancing performance, and reducing the long-term burden of recurrent sprains and post-traumatic joint degeneration. Future research should aim to investigate the long-term retention of these benefits, the optimal dosing and progression of RNT protocols, and its comparative effectiveness against other established balance training modalities across different athletic populations and genders. Additionally, employing more advanced biomechanical and electromyographic analyses could further elucidate the specific neuromuscular adaptations induced by RNT training.

**Keywords:** Reactive Neuromuscular Training, Ankle Instability, Volleyball Players, Static Balance, Dynamic Balance.

## Ethical Considerations

In conducting the research, ethical considerations were taken into account in accordance with the guidelines of the Ethics Committee of the University.


## Funding/Financial Support

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


## Authors' Contributions

Authors contributed equally in preparing this article.

## Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.


## Acknowledgments

We express our deepest gratitude to all participants in this study and those who assisted us during the research process.

پژوهش های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین

# تاثیر تمرین تناوبی با شدت بالا بر سطح سرمی سورفکتانت پروتئین – D و شاخص مقاومت به انسولین در موش‌های صحرایی نر سالم و مبتلا به دیابت نوع ۲

فاطمه کربلایی علی [۱]، صفورا صباغیان راد [۲]✉

۱. دانشجو کارشناسی ارشد، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه طلوع مهر قم، قم، ایران.
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه قم، قم، ایران

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۴/۰۷/۰۳
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۴/۰۸/۲۸
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۹/۱۸
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

**کلیدواژه‌ها:**
*تمرینات عصبی عضلانی واکنشی، بی‌ثباتی مچ پا، والیبالیست‌ها، تعادل ایستا، تعادل پویا*

**چکیده**

**هدف:** پیچ‌خوردگی مچ پا از شایع‌ترین آسیب‌های ورزشی در والیبالیست‌ها است که در موارد زیادی به بی‌ثباتی مزمن مچ پا تبدیل می‌شود. این عارضه با اختلال در حس عمقی و کنترل عصبی–عضلانی همراه است و تعادل و عملکرد ورزشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تمرینات عصبی عضلانی واکنشی به عنوان یک روش تمرینی نوین، با ایجاد چالش‌های کنترل‌شده حسی–حرکتی، به اصلاح الگوهای حرکتی و بهبود پایداری دینامیک کمک می‌کند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات عصبی عضلانی واکنشی بر تعادل ایستا و پویای والیبالیست‌های دختر مبتلا به بی‌ثباتی عملکردی مچ پا انجام شد.

**روش :**این مطالعه نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون روی ۳۰ والیبالیست دختر مبتلا به بی‌ثباتی مچ پا انجام گرفت. آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی در دو گروه تجربی (۱۵ نفر) و کنترل (۱۵ نفر) قرار گرفتند. گروه تجربی به مدت هشت هفته و هفته‌ای سه جلسه پروتکل تمرینات RNT را اجرا کردند، در حالی که گروه کنترل فقط فعالیت‌های روتین خود را ادامه دادند. تعادل ایستا با آزمون فلامینگو و تعادل پویا با آزمون تعادل Y ارزیابی شد. داده‌ها با استفاده از آزمون‌های تی همبسته و تحلیل کوواریانس تحلیل شدند.

**یافته‌ها :**نتایج نشان‌دهنده بهبود معنادار در تعادل ایستای هر دو پا (P ۰/۰۰۱برای پای چپ و P= ۰/۰۰۱برای پای راست) و نیز تعادل پویای هر دو پا (P۰/۰۱) در گروه تجربی پس از مداخله بود. این در حالی است که در گروه کنترل تغییر معناداری در هیچ یک از متغیرها مشاهده نشد.

**نتیجه‌گیری :**به‌طور کلی، هشت هفته تمرین عصبی عضلانی واکنشی می‌تواند به‌عنوان یک روش تمرینی مؤثر برای بهبود تعادل ایستا و پویا در والیبالیست‌های مبتلا به بی‌ثباتی مچ پا به‌کار رود. استفاده از این پروتکل در برنامه‌های بازتوانی و تمرینی این ورزشکاران برای کاهش خطر آسیب مجدد و ارتقای عملکرد توصیه می‌شود.

**استناد:** کربلایی علی، فاطمه؛ صباغیان راد، صفورا. مقایسه اثربخشی مداخلات ورزشی در مقابل مداخلات دارویی بر بهبود قدرت و توده عضلانی در سالمندان مبتلا به سارکوپنی. *پژوهش های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین*،۱۴۰۴: ۲ (۴)، ۹۹-۸۴.

DOI: 10.22091/arsnes.2024.11878.1051

ناشر: دانشگاه قم.

© نویسندگان.

**مقدمه**

پای انسان ساختار پیچیده و چند مفصلی دارد که در عملکرد اندام تحتانی نقش مهمی را بازی می‌کند. (۱) در بین مفاصل بدن مچ پا به علت تحمل وزن بدن و تنوع حرکات دارای اهمیت ویژه‌ای است و از مفاصل آسیب پذیر بدن در فعالیت‌های ورزشی از جمله والیبال و زندگی روزمره است . (۲) مفصل مچ پا یکی از پیچیده‌ترین ساختارهای –اسکلتی عضلانی در بدن می‌باشد که از نوع لولایی می‌باشد و حرکات آن را نمی‌توان بدون درک مفهوم بیومکانیک اندام تحتانی درک کرد. با توجه به افزایش رویدادهای ورزشی و بالا رفتن فشارهای تمرینی ورزشکاران امروزه در معرض آسیب‌های متعددی قرار دارند. پیچ خوردگی خارجی مچ پا شایع‌ترین ضایعه لیگامانی در ورزشکاران از نظر فیزیکی می‌باشد و میزان بروز این آسیب حدود ۱۰ در نفر در روز تخمین زده شده است، آسیب مچ پا یکی از ناتوان کننده‌های این مفصل است که تمایل برای تکرار شدن دارد و حدود ۴۰ درصد از پیچ خوردگی‌های مچ پا دراثر بی ثباتی عملکردی مچ پا اتفاق می‌افتد. ( ۳) در این میان والیبال جز ورزش‌هایی است که احتمال زمین خوردن و برخورد بازیکنان در زیر تور و یا هنگام پرش و فرود است که این ویژگی به همراه افزایش روز افزون افرادی که مشتاق به این ورزش هستند احتمال بروز آسیب را افزایش داده است ( ۴). آسیب دیدگی ها در ورزشکاران می‌تواند بسیار نگران کننده باشد آسیب در اندام‌های تحتانی پا و بی ثباتی در آن یکی از مهم‌ترین مسائل نگران کننده و جدی برای بسیاری از ورزشکاران و مربیان رشته‌های مختلف ورزشی است. ( ۵)مطالعات نشان داده که حدود ۲۵ درصد از آسیب‌های ورزشی شامل آسیب مچ پا و حدود ۸۵درصد آن مربوط به رباط خارجی مچ پا را درگیر می‌کند. پیچ‌خوردگی مفصل مچ پا حدود ۴۱ درصد از کل صدمات ورزشی را در رشته والیبال دارد ( ۶). لذا در ورزشکاران صدمه به مجموعه لیگامان‌های خارجی مفصل مچ پا بسیار شایع است و حدود۸۵ درصد کل پیچ خوردگی‌ها را شامل می‌شود ( ۷). امروزه به دلیل بالا بودن سطح تعادل و بهره‌گیری از حس عمقی در توانبخشی ورزشکار آسیب دیده توجه زیادی می‌شود این فرضیه وجود دارد که پس از ضایعه میزان پیام‌های حسی پیکری –محیطی کاهش یافته و موجب برهم خوردن کنترل عصبی –عضلانی می‌گردد در صورتی که تعادل استاتیک و دینامیک و کنترل عصبی – عضلانی در فرد بهبود پیدا نکند فرد مستعد ضایعه و آسیب مجدد شده و در ایفای نقش ورزشی خود دچار مشکل می‌شود (۸). برنامه بازتوانی این آسیب پس از گذراندن مرحله حاد شامل برنامه تمرینی حسی –حرکتی و پوسچرال همراه با تمرینات در دامنه حرکتی و تمرینات قدرتی می‌باشد (۹). این ضایعه اغلب درمان کافی نمی شود و این مسئله منجر به مزمن شدن آن می‌گردد (۱۰). چنانچه درمان این آسیب به میزان کافی در حد مناسب صورت نگیرد آسیب مجدد اتفاق افتاده که با بروز چند بار آسیب در مفصل مچ پا شرایط بدتر شده به گونه‌ای که حس جنبشی و حس حرکتی مفصل به میزان زیادی کاهش می‌یابد (۱۱). در ۲۵ سال اخیر نوعی تمرینات اصلاحی با عنوان تمرینات عصبی عضلانی واکنشی (RNT) توسط ویگوت و کوک معرفی شده است (۱۲). کاربرد این تمرینات در سال‌های اخیر بسیار موردتوجه قرار گرفته است محققان از این تمرینات برای بازگرداندن ثبات عملکردی و افزایش مهارت‌های کنترل حرکتی در ورزشکاران آسیب‌دیده استفاده نمودند (۱۳). تکنیک‌های تمرینات RNT اختلالات الگوی غیرارادی ناکارآمد حرکتی را با استفاده از یک‌بار بیرونی درجه پایین به‌صورت واکنشی اصلاح می‌نماید (۱۴). این تمرینات با استفاده از باندهای کشی با بار سبک الگوی غلط حرکتی فرد را افزایش داده و به مجری حرکت گفته می‌شود که اجازه ندهد تا مربی ناراستی‌هایی حرکتی او را تشدید نماید. این باند برای افزایش قدرت عضلانی مورداستفاده قرار نمی‌گیرد؛ بلکه به‌منظور ایجاد تنش‌هایی است بر روی پوسچر و پوزیشن صحیح بدن برای بهبود ثبات عضلانی پویا در طول فعالیت تمرکز دارد. (۱۵ ،۱۶) به دلیل اهمیت این آسیب و از آنجایی که به عقیده برخی از پژوهشگران برای بهبود تعادل ایستا و پویا و به دنبال آن عملکرد افراد مبتلا به بی ثباتی و آسیب مزمن مچ پا پروتکل تمرینی باید جامع بوده و علاوه بر ناحیه مچ پا ناحیه ران و زانو را نیز درگیر کرده و بر کل ناحیه اندام تحتانی تمرکز داشته باشد. به همین دلیل که در تمرینات تعادلی به طور موثری از مکانیسم های کنترل –عصبی– عضلاتی برای حفظ تعادل در حین حرکت بکار گرفته میشود در حالیکه در تمرین قدرتی ورزشکار بیشتر به تعادل ایستا نیاز دارد و همچنین در تمرینات ترکیبی تعادلی) و (قدرتی) ورزشکار از یکپارچگی گیرنده های حس عمقی و هماهنگی عضلات در فعالیتهای هم انقباضی بهره میگیرد با توجه به اینکه در اجرای تمرینات ترکیبی، ورزشکار از تمرینات با ویژگیها و شکلهای مختلف استفاده میکند و این تنوع ایجاد شده در تمرین و نیز اجرای همزمان تمرینات تعادلی و قدرتی که موجب فعال سازی بیشتر مکانیسم های بهبود دهندگی تعادل میگردد در نهایت منجر به بهبود بیشتر عملکرد میگردد .(۱۷) بنابراین با توجه به ضرورت موضوع آسیب دیدگی مچ پا در این مطالعه تاثیر ۸ هفته تمرینات تمرینات RNTبرتعادل ایستا و پویا والیبالیست های دارای بی ثباتی مچ پا مورد بررسی قرار گرفت.

## روش تحقیق

### طرح پژوهش

پژوهش حاضر از نوع تحقیق نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون – پس‌آزمون یک گروه تجربی و یک گروه کنترل و همچنین به لحاظ استفاده از نتایج به‌دست‌آمده کاربردی است.

### شرکت کنندگان

نمونه آماری این تحقیق دختران والیبالیست لیگ‌های آزاد قم که مبتلا به بی ثباتی مچ پا بودند انجام شد. این تحقیق شامل ۳۰ نفر آزمودنی بودند که در گروه‌های ۱۵ نفر گروه کنترل و ۱۵ نفر گروه تجربی تقسیم‌بندی شدند. معیار های ورود آزمودنی ها :داشتن سابقه پیچ‌خوردگی در مچ پا، داشتن سابقه شرکت در مسابقات لیگ آزاد، باتوجه‌به پرسش‌نامه کامبرلند در مجموع امتیازات ۳۰ است و افرادی که کمتر از ۲۴ را کسب کرده است دارای بی‌ثباتی بوده و امکان حضور در پژوهش را دارند،رده سنی والیبالیست‌ها از ۱۶ تا۳۵ سال است.

### ابزار و روش های اندازه گیری

نسخه فارسی پرسش‌نامه بی‌ثباتی مچ پاکامبرلند (CAIT)،متر نواری،کرنومتر دیجیتال

### تعادل ایستا

برای ارزیابی تعادل ایستا از آزمون تعادل فلامینگو استفاده شد. در این آزمون آزمودنی بدون کفش روی سطح صاف ایستاد و دست‌ها را در بالای سرخود به یکدیگر چسبانده و نگهداری می‌کند. سپس پای غیر برتر را مجاور زانوی پای برتر قرارداد این آزمون برای هر دو پا انجام شد. از زمانی که آزمودنی در این وضعیت قرار گرفت کرنومتر زده می‌شود. هر زمان که فرد تعادل خود را از دست داد کرنومتر را متوقف می‌کنیم و زمانی که فرد دوباره به حالت اولیه قرار گرفت دوباره شروع می‌شود تعداد دفعات به‌هم‌خوردن تعادل را در ۶۰ ثانیه شمرده می‌شود و اگر در ۳۰ ثانیه اول بیش از ۱۵ سقوط وجود داشته باشد آزمون خاتمه پیدا می‌کند و نمره صفر داده می‌شود (۱۸).

### تعادل پویا

برای شروع آزمون تعادل پویا طول واقعی پا، یعنی از خار خاصره قدامی فوقانی تا قوزک داخلی پا جهت نرمال کردن داده‌ها و مقایسه آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. در این تحقیق از آزمون تعادلی Y که نمونه پیشرفته و اصلاح شده آزمون تعادلی ستاره است استفاده شد. این آزمون در ۳ جهت قدامی، خلفی ــ داخلی ، خلفی‌ــ خارجی انجام شد . زوایای این سه جهت توسط متر نواری چسبانده شده به زمین انجام شد . و زاویه بیسن جهت قدامی با دو جهت دیگر۱۳۵ درجه می باشد . از آزمودنی خواسته می‌شود در مرکز جهاد بایستد و سپس روی یک پا قرار بگیرد و با پای دیگر عمل دستیابی را انجام و به حالت طبیعی روی دو پای خود بازگردد و پیش از انجام تلاش بعدی ۱۰ تا ۱۵ثانیه در این حالت می‌ماند. تمام تلاش‌ها در یک جهت قبل از رفتن به جهت دیگر باید تکمیل شود باید در یک ترتیب متوالی در جهت عقربه‌های ساعت یا خلاف آن انجام شود. آزمودنی با پنجه پا دورترین نقطه ممکن را در هر یک از جهات تعیین شده لمس کرده فاصله محل تماس تا مرکز فاصله دستیابی بوده که به سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌شود ( ۱۹).اجرای فرد در صورت بروز یکی از موارد زیر ناقص بوده و فرد باید مجدد حرکت را تکرار کند:

۱–فرد قادر نباشد پای ساکن را روی زمین به‌صورت ثابت حفظ کند.

۲– هنگام انجام حرکت پاشنه فرد با زمین تماس نداشته باشد.

۳–وزن فرد بر روی پای دستیابی منتقل شود.

۴–پای دستیابی متر نواری چسبیده شده به زمین را لمس نکند.

آزمودنی قادر به حفظ وضعیت شروع و بازگشت در طی ۱ ثانیه کامل نباشد. بیشترین میزان فاصله در هر سه جهت بر حسب سانتی‌متر محاسبه شده واصل دستیابی بر حسب طول پا نرمال می‌گردد. میانگین تمامی جهت‌ها بر اساس فرمول زیر به عنوان نمره کل تعادل پویای اندام تحتانی ثبت می‌شود. همچنین برای اندازه‌گیری طول پا ابتدا از آزمودنی خواسته شد روی تخت در حالت درازکش به پشت قرار بگیرد، سپس فاصله بین خاصره قدامی فوقانی تا بخش دیستال قوزک خارجی پا اندازه‌گیری شد (۲۰).

## پروتکل تمرینی

پروتکل تمرینات RNT به‌منظور انجام تحقیق گروه‌های آزمودنی‌ها به دو گروه تجربی و کنترل گروه تجربی ۸ هفته تمرینات RNT را در قالب دو جلسه در هفته انجام دادند و پروتکل تمرینی در شروع تمرینات ابتدایی به آزمودنی‌ها آموزش داده شد و از آن تمرینات در ۱۶ جلسه استفاده شد و همچنین در هر جلسه تمرینی با استفاده از تردمیل و حرکات جنبشی به گرم‌کردن پرداختند.

## روش تحلیل داده ها

داده‌های توصیفی مرتبط با پژوهش بر اساس آمار توصیفی گزارش شد. بدین منظور از میانگین و انحراف معیار استفاده شد. سپس، از روش آمار استنباطی جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده شد. در این بخش از آزمون شاپیرو – ویلک جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شده است. همچنین همگنی واریانس بین‌گروهی با استفاده از آزمون لون مورد ارزیابی قرار گرفت. نهایتاً جهت مقایسه‌های بین‌گروهی از آزمون آنالیز کوواریانس استفاده شد. مقایسه‌های درون‌گروهی نیز با استفاده از آزمون t همبسته مورد ارزیابی قرار گرفت. کلیه آزمون‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ و در سطح معنی داری ۹۵ درصد با آلفای کوچکتر و یا مساوی با ۰/۰۵ ارزیابی شد. از نرم افزار GraphPad PRISM9 جهت ترسیم نمودار ها استفاده شد.

## یافته ها

انجام تمرینات تعادلی یا تمرین روی سطوح ناپایدار که منجر به درگیری گیرنده‌های حسی عمقی می‌شوند، باعث افزایش درگیری فعال عضلات و ارتقای پاسخ‌های عصبی مرکزی از طریق تحریک مناسب‌تر اعصاب آوران خواهد شد که در نهایت موجب بهبود کنترل پوسچر می‌گردد (۲۱). شواهد موجود در زمینه بی‌ثباتی مزمن مچ پا نشان داده‌اند که تمرینات عصبی–عضلانی به تنهایی می‌توانند در درمان این اختلال مؤثر واقع شوند؛ یافته‌ای که با نتایج پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد، چرا که تمرینات انجام‌شده منجر به بهبود تعادل ایستا و پویا در والیبالیست‌های مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا گردیده است (۲۲).

**جدول۱. مقایسه شاخص های توصیفی و تن سنجی آزمودنی‌ها**

| شاخص | گروه کنترل | گروه تجربی | P-value بین گروهی |
|---|---|---|---|
| سن(سال) | ۲۲/۶۶ ± ۱/۱۳ | ۲۱/۴۰ ± ۱/۰۴ | ۰/۱۴۵ |
| قد(سانتی متر) | ۱۶۹/۰۱ ± ۱/۸۰۷ | ۱۶۷/۸۰ ± ۱/۷۶ | ۰/۸۶۰ |
| وزن(کیلوگرم) | ۶۵/۷۳ ± ۲/۶۲ | ۶۸/۰۶ ± ۳/۷۱ | ۰/۱۶۳ |
| شاخص توده بدنی(کیلوگرم/متر مربع) | ۲۲/۶۰ ± ۰/۸۰۳ | ۲۳/۵۳ ± ۱/۳۸ | ۰/۳۰۳ |

*باتوجه‌به نتایج جدول۱ هیچگونه تفاوت معنی داری بین گروهی در شاخص های توصیفی و تن سنجی مشاهده نشد. بنابراین گروه های پژوهش از این لحاظ همگن می باشند.

**جدول۲. بررسی توزیع داده های پژوهش به تفکیک گروه های پژوهش**

| شاخص | گروه کنترل | | | گروه تجربی | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | آماره | df | P-value | آماره | df | P-value |
| سن (سال) | ۰/۹۳۵ | ۱۵ | ۰/۲۵۱ | ۰/۹۶۳ | ۱۵ | ۰/۷۰۴ |
| قد (سانتی‌متر) | ۰/۹۴۹ | ۱۵ | ۰/۶۵۴ | ۰/۸۸۴ | ۱۵ | ۰/۱۴۴ |
| وزن (کیلوگرم) | ۰/۹۵۶ | ۱۵ | ۰/۷۴۱ | ۰/۹۵۵ | ۱۵ | ۰/۷۲۷ |
| شاخص توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع) | ۰/۹۴۸ | ۱۵ | ۰/۶۴۷ | ۰/۹۹۲ | ۱۵ | ۰/۹۸۱ |
| تعادل ایستا پای راست (تعداد) | ۰/۹۶۸ | ۱۵ | ۰/۸۷۵ | ۰/۸۵۲ | ۱۵ | ۰/۰۶۲ |
| تعادل ایستا پای چپ (تعداد) | ۰/۹۱۲ | ۱۵ | ۰/۲۹۳ | ۰/۸۶۶ | ۱۵ | ۰/۰۹۰ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| تعادل پویا پای راست (سانتی‌متر) | ۰/۹۶۳ | ۱۵ | ۰/۸۲۱ | ۰/۹۷۸ | ۰/۸۲۱ |
| تعادل پویا پای چپ (سانتی‌متر) | ۰/۹۷۴ | ۱۵ | ۰/۶۳۸ | ۰/۹۴۹ | ۰/۸۷۳ |

*باتوجه‌به نتایج آزمون شاپیرو ویلک جدول ۳، کلیه شاخص های مورد مطالعه از توزیع طبیعی برخوردارند. بنابراین، فرض نرمال بودن توزیع طبیعی داده ها برقرار است.

**جدول ۳. بررسی همگنی واریانس بین گروهی با آزمون لون**

| شاخص | آماره | df | P-value |
|---|---|---|---|
| سن (سال) | ۰/۴۵۸ | ۱ | ۰/۸۳۵ |
| قد (سانتی‌متر) | ۰/۱۶۵ | ۱ | ۰/۶۸۹ |
| وزن (کیلوگرم) | ۰/۵۰۸ | ۱ | ۰/۹۹۰ |
| شاخص توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع) | ۱/۱۳۸ | ۱ | ۰/۳۰۰ |
| تعادل ایستا پای راست (تعداد) | ۰/۹۲۰ | ۱ | ۰/۳۵۲ |
| تعادل ایستا پای چپ (تعداد) | ۱/۶۹۱ | ۱ | ۰/۲۱۰ |
| تعادل پویا پای راست (سانتی‌متر) | ۰/۹۴۳ | ۱ | ۰/۳۴۶ |
| تعادل پویا پای چپ (سانتی‌متر) | ۰/۶۸۴ | ۱ | ۰/۴۳۷ |

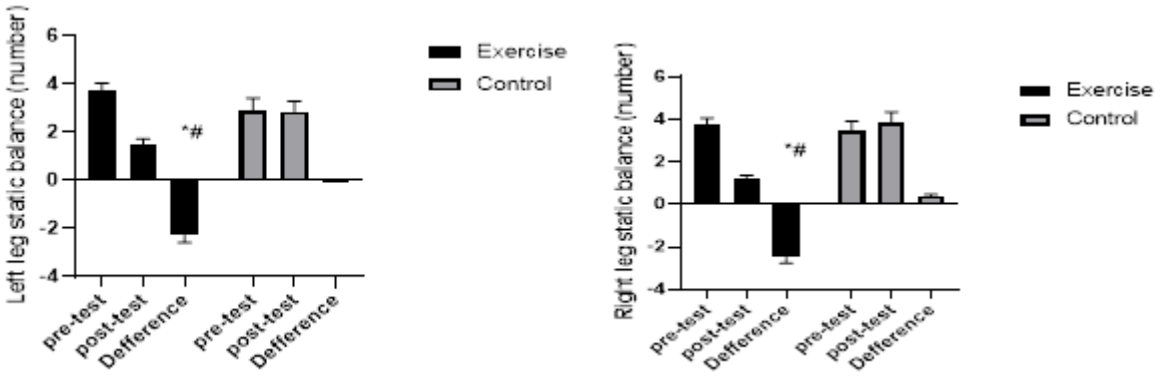
*باتوجه‌به نتایج آزمون لون جدول ۴ شرط همگنی واریانس بین گروهی برای کلیه شاخص های پژوهش برقرار است بنابراین، شرط همگنی واریانس بین گروهی برای استفاده از آزمون های پارامتریک برقرار است.

**جدول ۴. بررسی تفاوت‌های بین گروهی و درون گروهی تعادل ایستا**

| متغیر | زمان | گروه کنترل | گروه تجربی | میانگین مربعات | df | F | P-value بین‌گروهی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعادل ایستا پای راست (تعداد) | پیش‌آزمون | ۳/۴۶ ± ۰/۴۶۶ | ۳/۷۳ ± ۰/۳۴۴ | ۵۱/۳۴۸ | ۱ | ۱۸/۲۴۸ | #۰/۰۰۰ |
| | پس‌آزمون | ۳/۸۶ ± ۰/۴۹۶ | ۱/۲۶ ± ۰/۱۶۹ | | | | |
| | اختلاف | ۰/۴ ± ۰/۰۶۷ | -۲/۴۷ ± ۰/۳۲۲ | | | | |
| | P-value درون‌گروهی | ۰/۱۲۴ | ۰/۰۰۱* | | | | |
| تعادل ایستا پای چپ (تعداد) | پیش‌آزمون | ۲/۹۳ ± ۰/۵۰۲ | ۳/۷۳ ± ۰/۳۱۵ | ۱/۱۲۵ | ۱ | ۲۲/۲۲۹ | #۰/۰۰۱ |
| | پس‌آزمون | ۲/۸۶ ± ۰/۴۴۵ | ۱/۴۶ ± ۰/۲۷۳ | | | | |
| | اختلاف | -۰/۰۷ ± ۰/۰۱ | -۲/۲۷ ± ۰/۲۶۷ | | | | |
| | P-value درون‌گروهی | ۰/۵۰۹ | ≤۰/۰۰۰* | | | | |

*نشان‌دهندۀ تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی. #نشان‌دهندۀ تفاوت معنی‌دار بین‌گروهی.

باتوجه‌به نتایج جدول ۵، تفاوت معنی دار بین گروهی در تعادل ایستا پای راست (p= 000/0) و تعادل ایستا پای چپ (p= 001/0) مشاهده می شود. به این ترتیب که تعادل ایستا پای راست و چپ در گروه تجربی کاهش معنی‌داری نسبت به گروه کنترل داشته است. به‌عنوان نتایج تکمیلی مقایسه‌های درون‌گروهی نشان‌دهندهٔ بهبود معنی‌دار تعادل ایستا پای راست (p=۰/۰۰۱) و تعادل ایستا پای چپ (p=۰/۰۰۰) در گروه تجربی و عدم تفاوت معنی‌دار در گروه کنترل پای راست (p= ۰/۱۲۴) و پای چپ (p= ۰/۵۰۹) بود.




**نمودار ۱ مقایسه تفاوت های بین گروهی و درون گروهی تعادل ایستا پای راست و چپ والیبالیست های دارای بی ثباتی مچ پا به دنبال هشت هفته تمرینات RNT**

*نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی. # نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار بین‌گروهی.

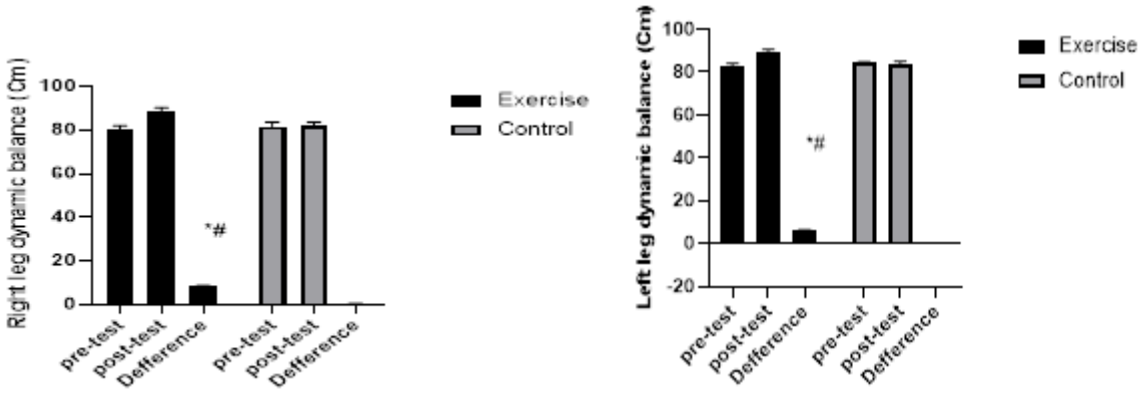
**جدول ۵. بررسی تفاوت‌های بین گروهی و درون گروهی تعادل پویا**

| متغیر | زمان | گروه کنترل | گروه تجربی | میانگین مربعات | df | F | P-value بین‌گروهی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعادل پویا پای راست (سانتی‌متر) | پیش‌آزمون | ۸۱/۶۴ ± ۲/۱۶ | ۸۰/۶۲ ± ۱/۴۶ | ۳۳۹/۵۲۳ | ۱ | ۷/۷۶۸ | #۰/۰۱۰ |
| | پس‌آزمون | ۸۱/۸۹ ±۱/۷۰ | ۸۸/۵۱ ± ۱/۸۰ | | | | |
| | اختلاف | ۰/۲۵ ± ۰/۰۳ | ۸/۱۴ ±۰/۴۲۸ | | | | |
| | P-value درون‌گروهی | ۰/۲۵۴ | ۰/۰۰۲ * | | | | |
| تعادل پویا پای چپ (سانتی‌متر) | پیش‌آزمون | ۸۴/۲۷ ± ۰/۵۷ | ۸۲/۸۸ ± ۱/۱۳ | ۱/۱۲۵ | ۱ | ۲۲/۲۲۹ | #۰/۰۰۱ |
| | پس‌آزمون | ۸۳/۶۶ ± ۱/۵۲ | ۸۹/۳۴ ± ۱/۲۴ | | | | |
| | اختلاف | -۰/۶۱ ± ۰/۰۱ | ۶/۴۶ ± ۰/۰۷ | | | | |
| | P-value درون‌گروهی | ۰/۱۷۳ | ≤۰/۰۱* | | | | |

*نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی. #نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار بین‌گروهی.

باتوجه‌به نتایج جدول ۶، تفاوت معنی دار بین گروهی در تعادل پویا پای راست (p= 010/0) و تعادل پویا پای چپ (p= 001/0) مشاهده می‌شود. به این ترتیب که تعادل پویا پای راست و چپ در گروه تجربی افزایش معنی‌داری نسبت به گروه کنترل داشته است.

به‌عنوان نتایج تکمیلی مقایسه‌های درون‌گروهی نشان‌دهندهٔ بهبود معنی‌دار تعادل پویا پای راست (p=002/0) و تعادل پویا پای چپ (p=01/0)در گروه تجربی و عدم تفاوت معنی‌دار در گروه کنترل پای راست (p= 254/0) و پای چپ (p= 173/0) بود .




**نمودار ۲ مقایسه تفاوت های بین گروهی و درون گروهی تعادل پویا پای راست و چپ والیبالیست های دارای بی ثباتی مچ پا به دنبال هشت هفته تمرینات RNT**

*نشان‌دهندۀ تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی. # نشان‌دهندۀ تفاوت معنی‌دار بین‌گروهی.

## بحث

یافته‌های این مطالعه نشان داد که یک برنامه هشت‌هفته‌ای تمرینات عصبی عضلانی واکنشی منجر به بهبود معنادار در تعادل ایستا و پویای والیبالیست‌های دختر مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شود. این نتایج با اصول پایه‌ای این روش تمرینی همخوانی دارد که بر اصلاح الگوهای حرکتی ناکارآمد از طریق ارائه چالش‌های کنترل‌شده حسی–حرکتی تأکید می‌ورزد. بهبود مشاهده‌شده در آزمون تعادل پویا را می‌توان مستقیماً مرتبط با ماهیت عملکردی تمرینات دانست. این تمرینات که در وضعیت‌هایی مانند اسکات تک‌پا و لانژ اجرا شدند، مستلزم حفظ ثبات حین حرکت مرکز ثقل هستند و به طور ویژه سیستم‌های عصبی–عضلانی درگیر در شرایط مشابه ورزشی را به چالش می‌کشند. چنین بهبودی در راستای مطالعه کاظمی و همکاران (۲۰۲۳) است که گزارش کردند تمرینات عصبی–عضلانی یکپارچه موجب بهبود تعادل پویا در ورزشکاران دارای بی‌ثباتی مچ پا می‌شود. آن‌ها بیان داشتند که اینگونه تمرینات با تقویت یکپارچگی اطلاعات حسی و تسریع راهبردهای تصحیح پاسچرال، کارایی فعال‌سازی عضلات ثبات‌دهنده را افزایش می‌دهند.

بهبود همزمان در تعادل ایستا نیز با سازوکارهای عصبی تمرینات واکنشی قابل تبیین است. این تمرینات با اعمال اغتشاشات خارجی ملایم، آستانه فعال‌سازی گیرنده‌های عمقی مفصل را کاهش و وضوح بازخورد حسی را افزایش می‌دهند. در نتیجه، حتی در وضعیت‌های ساکن، سیستم عصبی مرکزی قادر به اعمال تصحیحات ظریف‌تر و سریع‌تر برای حفظ پاسچر خواهد بود. این یافته با نتایج پژوهش رضایی و میرزایی (۲۰۲۴) همسو است که بهبود در شاخص‌های ایستایی را پس از تمرینات واکنشی مشاهده و آن را ناشی از افزایش سرعت پردازش حسی و کاهش تاخیر عضلانی دانستند.

یکی از جنبه‌های قابل‌تأمل، بهبود عملکرد در هر دو پا بود، اگرچه تمرین احتمالاً بر پای مبتلا متمرکز بود. این پدیده ممکن است نشان‌دهنده اثر یادگیری بین‌طرفه باشد، جایی که تمرین یک طرفه موجب سازگاری‌های عصبی در نیمکره مخالف و ارتقای کلی کنترل مرکزی بر ثبات می‌گردد. این مفهوم در پژوهشی توسط حسینی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۳) مورد تأکید قرار گرفته است که نشان دادند تمرین یکطرفه می‌تواند قابلیت‌های حرکتی اندام مقابل را نیز از طریق مکانیسم‌های مرکزی تحت تأثیر قرار دهد.

در مقایسه با پژوهش‌های مشابه، یافته‌های حاضر با نتایج مطالعه خلیلی و ناصری (۲۰۲۳) که تأثیر تمرینات ثبات‌دهی پویا را بررسی کردند، هم‌خوانی دارد. با این حال، وجه تمایز احتمالی در رویکرد تمرینات عصبی عضلانی واکنشی است که به جای ایجاد یک محیط کلی ناپایدار، به طور مستقیم الگوی حرکتی معیوب را شناسایی و آن را با اعمال نیرویی جهت‌دار به چالش می‌کشد. این ممکن است منجر به بازآموزی عصبی هدفمندتری شود. مطالعه مرادی و همکاران (۲۰۲۴) نیز هنگام مقایسه این دو روش، کاهش بیشتر حس ذهنی بی‌ثباتی را در گروه تمرینات واکنشی گزارش کرد که می‌تواند حاکی از تأثیر عمیق‌تر این روش بر اطمینان حرکتی باشد.

با این وجود، درک این نکته حائز اهمیت است که یافته‌های همه مطالعات یکسان نیستند. برای مثال، جعفری و رحیمی (۲۰۲۳) دریافتند که تمرینات قدرتی سنگین متمرکز بر عضلات پرونئال، بر افزایش قدرت ایزومتریک مؤثرتر از پروتکل‌های تعادلی محض بوده است. این تفاوت بر

اهمیت رویکردی ترکیبی در برنامه‌های بازتوانی تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که اگرچه تمرینات واکنشی بر کنترل عصبی–عضلانی تأثیر مطلوبی دارد، ممکن است برای دستیابی به نتایج بهینه، نیاز به تکمیل با تمرینات قدرتی پیشرونده جهت افزایش ظرفیت تولید نیرو باشد.

مکانیسم اصلی پشت این بهبودها احتمالاً از طریق مقابله با «بازداری آرتروژنیک» و اختلال در کنترل عصبی–عضلانی ناشی از آسیب اولیه عمل می‌کند. آسیب به رباط‌ها و گیرنده‌های حسی درون آنها، ورودی صحیح به سیستم عصبی مرکزی را مخدوش می‌کند و منجر به خروجی حرکتی ناکارآمد می‌شود (محمدی و سپهری، ۲۰۲۴). تمرینات عصبی عضلانی واکنشی با فراهم آوردن چالش‌های حسی–حرکتی امن و متنوع، سیستم عصبی را مجبور به سازماندهی مجدد و بهینه‌سازی راهبردهای حرکتی خود می‌کند و به تدریج ارتباط کارآمد بین حس و عمل را بازمی‌گرداند.

در جمع‌بندی، نتایج این مطالعه شواهد محکمی دال بر اثربخشی تمرینات عصبی عضلانی واکنشی در بهبود شاخص‌های تعادلی در جمعیت مورد مطالعه ارائه می‌دهد. این تمرینات با هدف قرار دادن نقص‌های بنیادین در کنترل عصبی–عضلانی، نه تنها معیارهای عینی عملکرد را ارتقا می‌بخشند، بلکه با افزایش اطمینان حرکتی، بستر مناسبی برای بازگشت ایمن‌تر به فعالیت ورزشی فراهم می‌آورند. برای تحقیقات آتی، بررسی تأثیرات بلندمدت این تمرینات، ترکیب آن با سایر روش‌های تمرینی قدرتی و نیز ارزیابی تأثیر آن بر شاخص‌های بیومکانیکی دقیق‌تر در حین حرکات ورزشی خاص پیشنهاد می‌شود.

## نتیجه گیری

در نتیجه، باتوجه‌به یافته‌های پژوهش حاضر و مطالعات پیشین، می‌توان نتیجه گرفت که تمرینات تقویتی، قدرتی، تعادلی، پیلاتس، تمرینات عصبی – عضلانی و تمرینات مرتبط با حس عمقی، همگی بر بهبود وضعیت و عملکرد حرکتی افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا (CAI) به‌عنوان یک شاخص عملکردی تأثیرگذار هستند. تمرینات RNT می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد تمرینی مؤثر برای بهبود ثبات مرکزی، تعادل ایستا و پویا، والیبالیست‌های مبتلا به بی‌ثباتی مچ پا مورداستفاده قرار گیرد. بنابراین، باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، والیبالیست‌های دارای بی‌ثباتی مچ پا می‌توانند از تمرینات عصبی عضلانی واکنشی در جهت بهبود سریع‌تر تعادل ایستا و پویا، استفاده کنند و آن را جزئی از برنامه تمرینی روزمره خود قرار دهند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که فدراسیون‌ها، باشگاه‌ها، مربیان، امدادگران ورزشی و فیزیوتراپیست‌ها از این روش‌ها، در کنار اقدامات پزشکی و توان‌بخشی فیزیکی، به‌عنوان راهکارهای درمانی بهره بگیرند. استفاده از این روش می‌تواند نقش مؤثری در پیشگیری از آسیب مجدد و تسریع روند بازگشت ورزشکاران به تمرین، رقابت و حضور فعال در صحنه‌های ورزشی ایفا کند.

## ملاحظات اخلاقی

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه در نظر گرفته شده است.


## حامی/حامیان مالی

این مقاله هیچ گونه کمک مالی از سازمان تامین کننده مالی در بخش های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نکرده است.


## مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده سازی مقاله مشارکت یکسان داشته اند.

## تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع نداد.


## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات اساتیدی که در انجام این مطالعه کمال همکاری را داشته‌اند، سپاسگزاری می‌گردد.


## *References*


1. Baez, S. E., Hoch, M. C., & Hoch, J. M. (2020). The effectiveness of reactive neuromuscular training on patient-reported outcomes in individuals with chronic ankle instability: A systematic review. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, *28*(4), 242–251. https://doi.org/10.1080/10669817.2020.1745115
2. Bell, D. R., Vesci, B. J., DiStefano, L. J., Guskiewicz, K. M., Hirth, C. J., & Padua, D. A. (2022). Reactive neuromuscular training improves movement patterns and muscle activation in individuals with chronic ankle instability. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *62*, 102628. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102628

3. DeJong, A. F., Koldenhoven, R. M., & Hart, J. M. (2020). Proximal adaptations in chronic ankle instability: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Athletic Training, 55*(7), 676–689. https://doi.org/10.4085/1062-6050-41-19
4. Doherty, C., Bleakley, C., Hertel, J., Caulfield, B., Ryan, J., & Delahunt, E. (2021). Laboratory measures of postural control during the Star Excursion Balance Test after acute first-time lateral ankle sprain. *Journal of Athletic Training, 56*(2), 136–144. https://doi.org/10.4085/1062-6050-0052.20
5. Donovan, L., Feger, M. A., & Hart, J. M. (2020). The effectiveness of the Star Excursion Balance Test as both an assessment and training tool for dynamic postural control: An update. *Journal of Sport Rehabilitation, 29*(6), 848–856. https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0067
6. Feger, M. A., Donovan, L., & Hart, J. M. (2022). Neuromuscular consequences of ankle injuries: A mechanistic approach for rehabilitation. *Current Sports Medicine Reports, 21*(1), 12–18. https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000915
7. Gutierrez, G. M., Knight, C. A., Swanik, C. B., Royer, T., & Manal, K. (2021). Examining the link between ankle instability and movement patterns in athletes: A contemporary review. *Journal of Sport Rehabilitation, 30*(1), 144–152. https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0405
8. Herb, C. C., Grossman, K., Feger, M. A., Donovan, L., & Hertel, J. (2021). Effects of a 6-week integrated training program on lower extremity kinematics in patients with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training, 56*(3), 288–298. https://doi.org/10.4085/1062-6050-0409.20
9. Hoch, M. C., & McKeon, P. O. (2022). Integrating contemporary paradigms for the rehabilitation of chronic ankle instability: A clinical commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy, 17*(2), 293–302. https://doi.org/10.26603/001c.31637
10. Koldenhoven, R. M., & Hart, J. M. (2021). Gait retraining for chronic ankle instability: A scoping review of methodologies and outcomes. *Clinical Biomechanics, 90*, 105483. https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105483
11. Linens, S. W., & Ross, S. E. (2022). The efficacy of neuromuscular training combined with adjunctive therapies in chronic ankle instability: A randomized controlled trial. *International Journal of Sports Physical Therapy, 17*(1), 145–157. https://doi.org/10.26603/001c.31245
12. Miri, H., Shojaaldin, S. S., Barati, A., Hadadnejad, M., & Ahanjan, S. (2022). Evaluation of the effect of balance training on postural control in people with chronic ankle instability against external disturbances. *Iranian Journal of Ergonomics, 10*(1), 17–25. https://doi.org/10.30699/ijoe.10.1.17
13. Mohammadi, F., & Roozdar, E. (2023). Effects of core stability training on postural control in athletes with functional ankle instability: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport, 59*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.10.008
14. Powden, C. J., Dodds, T. K., & Gabriel, E. H. (2023). The relationship between perceived and actual dynamic postural stability in patients with chronic ankle instability: A cross-sectional study. *Physical Therapy in Sport, 60*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.11.001
15. Son, S. J., Kim, H., Seeley, M. K., & Hopkins, J. T. (2020). Functional movement adaptations to a combined strength and hopping intervention in athletes with chronic ankle instability. *Journal of Sport and Health Science, 9*(6), 609–618. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.007
16. Thompson, C., Schabrun, S., Romero, R., Bialocerkowski, A., van Dieen, J., & Marshall, P. (2020). Factors contributing to chronic ankle instability: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine, 54*(12), 702–710. https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100934
17. Vuurberg, G., Hoorntje, A., Wink, L. M., van der Doelen, B. F. W., van den Bekerom, M. P., Dekker, R., ... Kerkhoffs, G. M. M. J. (2020). Diagnosis, treatment and prevention of ankle sprains: An evidence-based clinical guideline. *British Journal of Sports Medicine, 54*(18), 1106–1118. https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101447
18. Webster, K. A., & Gribble, P. A. (2021). The role of cognitive function in sensorimotor control of chronic ankle instability: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport, 24*(7), 681–687. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.01.012
19. Wikstrom, E. A., & Brown, C. N. (2022). The evolution of rehabilitation paradigms for chronic ankle instability: From local to global. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 52*(4), 173–180. https://doi.org/10.2519/jospt.2022.10764
20. Wright, C. J., Arnold, B. L., & Ross, S. E. (2020). Altered cortical activity and neuroplasticity associated with chronic ankle instability: A scoping review. *Neurorehabilitation and Neural Repair, 34*(6), 487–498. https://doi.org/10.1177/1545968320916182