



The Effectiveness of Neuromuscular Training With and Without Cognitive Intervention on Dynamic Balance and Proprioception of Female Athletes Prone to Ankle Sprain Injury: A Randomized Control Trial

Mansouri, Mina¹; Saki, Farzaneh^{2*}

1. MSc student, Department of Exercise Rehabilitation, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Exercise Rehabilitation, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: July 2024; Accepted: September 2024

Keywords

Neuromuscular
training
Cognitive
intervention
Ankle sprain
Female athletes

Abstract

Background and Aim: Ankle sprain is the most common musculoskeletal injury in athletes. A balance deficit is a significant risk factor for ankle injuries, often leading to ankle joint instability. This study aimed to investigate the effectiveness of neuromuscular training with and without cognitive intervention on dynamic balance and proprioception in female athletes prone to ankle sprain injuries.

Methods: This randomized control trial, double-blind study employed a pre- and post-test design. The study population consisted of female athletes from Hamedan city clubs, with 36 participants selected based on inclusion criteria. Participants were randomly assigned to either neuromuscular training with cognitive intervention (n=18) or neuromuscular training without cognitive intervention (n=18). Dynamic balance and proprioception were assessed using the Y-balance test and joint angle reconstruction in both groups before and after the intervention. Data were analyzed using repeated measures analysis of variance ($P < 0.05$).

Results: The results indicated a significant time * group interaction for balance in the directions of anterior, posterior-lateral, and proprioception ($P < 0.05$). Although pairwise comparisons showed improvements in dynamic balance and proprioceptive variables in both groups ($P < 0.05$), the percentage of changes and improvements was higher in the group that performed neuromuscular exercises with cognitive intervention across all variables.

Conclusion: The findings indicate that integrating neuromuscular training with cognitive intervention results in superior progress. Therefore, it is recommended that athletes with balance deficits and those prone to ankle sprains engage in simultaneous neuromuscular and cognitive training.

* Corresponding Author: Tel: 09188503783

✉ Email: f_saki@basu.ac.ir

Orcid Code: 0000-0003-3627-1737

Extended Abstract

Introduction

Ankle injuries are the most common in sports, making up 30.34% of all injuries. They occur nearly twice as often in women, especially in indoor and field sports. These injuries sideline athletes more than any other, highlighting the importance of primary prevention over treatment (1). Risk factors for ankle sprains include internal factors such as foot alignment, size, loose ligaments, neuromuscular control, instability, muscle weakness, and limited mobility. External factors include shoe type, sports activity, and warm-up routines. Poor postural control, especially in dynamic balance, significantly increases the risk. Players with poor balance are seven times more likely to suffer ankle sprains (2). Balance issues are common in those with ankle instability (3), often due to a lack of muscle coordination and proprioception (4). Research indicates that ankle immobilizers and neuromuscular exercises are essential for preventing ankle injuries (5). Neuromuscular exercises enhance proprioception and function, improving athlete performance and reducing injury risk (6-8). Combining these exercises with neurocognitive approaches can further decrease neuromuscular defects, as athletes often manage multiple cognitive and physical tasks simultaneously (9). This study aims to investigate the impact of neuromuscular exercises combined with cognitive interventions on the dynamic balance and proprioception of female athletes prone to ankle sprains.

Method

This randomized control trial study used a pre-test and post-test design and was double-blind, meaning neither the outcome assessors nor the participants knew the group allocations. Participants were unaware of the specific differences in exercise protocols. The study involved female athletes from Hamedan city clubs (volleyball, basketball, handball). Using G*Power software, the sample size was set at 18 per group, accounting for potential dropouts. A total of 36 female athletes with balance defects were selected

based on inclusion and exclusion criteria and randomly assigned to two groups: neuromuscular exercises with cognitive intervention (18) and without cognitive intervention (18). Inclusion criteria: female athletes aged 15-30 with at least three years of regular sports experience, normal BMI (20-25), and specific balance test scores (10, 11). Exclusion criteria: recent ankle sprain, lower limb injuries or surgeries, lower limb abnormalities. Participants completed consent forms and pre-tests at the laboratory. The Y-balance test was used to measure dynamic balance (ICC=0.89) (12). The angle error reconstruction test measured proprioception at a 10-degree dorsiflexion angle using a goniometer (ICC=0.85 to 0.96) (13).

Subjects did an eight-week neuromuscular training program, three sessions per week (14, 15). Each session began with a ten-minute warm-up, followed by resistance, balance, and plyometric exercises to strengthen ankle muscles and improve balance, power, and speed. Participants in the cognitive group; Following Shirvai et al. (2017) (16), performed neuromuscular exercises while mentally counting down by sevens from a random number between 200 and 300. After the exercise, they reported the number reached to avoid movement disturbances. Data were analyzed using SPSS-26. Normality was confirmed with the Shapiro-Wilk test. Descriptive statistics (mean and standard deviation) and inferential statistics (repeated measures ANOVA with Bonferroni correction) were used at a significance level of $P < 0.05$. The percentage of changes formula was used to compare pre-test and post-test results for each variable in the training groups.

Results

Demographic information was similar across the groups, with no significant differences ($P > 0.05$). The table below presents the results of the repeated measures variance analysis, illustrating the interaction effect of time (pre- and post-intervention) on the groups (neuromuscular exercises with and without cognitive intervention) ($P < 0.05$).

Discussion

This research aimed to investigate the effect of an eight-week neuromuscular exercise program with cognitive dual tasks on dynamic balance and proprioception in female athletes with balance disorders. The results showed significant improvements in proprioception and balance in all directions for both groups, with greater improvements in the group with cognitive intervention. Specifically, balance improved by approximately 5%, 8.5%, and 4% in the anterior, posterior, and external directions, respectively, and joint reposition error and balance in the medial posterior direction decreased by about 17% and 1%.

Evidence suggests that attention changes due to external events can increase the risk of ankle and joint injuries. Therefore, incorporating dual tasks and cognitive loading in training can help prevent injuries. The study showed that dual-task neuromuscular training significantly improves balance performance in female athletes with ankle sprain injuries. These exercises enhance balance by improving sensory-motor connections and reducing postural instability (17). Dual-task training also improves motor awareness, divided attention, and interaction between voluntary and reflexive movements. Improved neural functions reduce response time delays and increase postural muscle efficiency (18). Balance improvement is

linked to better cognitive awareness and proprioception, achieved through balance exercises and muscle strengthening.

The study also highlighted the importance of an active control group and the need for sports-specific cognitive tasks to avoid fatigue and ensure effective cognitive training. Future research should explore long-term effects and compare different exercise approaches for comprehensive results.

Compliance with ethical guidelines

This prospective study was approved by the Ethics Committee of Bu-Ali Sina University (IR.BASU.REC.1402.022) and registered at the Iranian Registry of Clinical Trials (IRCT: 20230619058535N1).

Funding

This study has no financial support.

Author's Contribution

MM contributed to the acquisition of data and drafting of the manuscript. FS contributed to the study design, analysis, and interpretation of data and contributed to critical revision;

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all participants in this study.

Table. Results of the analysis of variance test with repeated measures of the study variables

Variable	Neuromuscular group with cognitive intervention				Neuromuscular group without cognitive intervention				Group*Time			
	Mean ± SD		P ^a	CV	Mean ± SD		P ^a	CV	F	P ^b	Eta	
	Pre-test	Post-test			Pre-test	Post-test						
Joint repositions error (degree)	4.66±1.28	1.50±0.98	0.001*	67.81 ↓	4.27±0.82	2.11±1.52	0.001*	50.58 ↓	4.854	0.034*	0.125	
Balance (cm)	Anterior	77.18±11.52	89.02±9.76	0.001*	15.34 ↑	75.03±8.76	82.75±7.02	0.001*	10.28 ↑	4.415	0.043*	0.115
	Posterior lateral	71.04±6.79	88.67±6.96	0.001*	24.81 ↑	72.92±5.12	84.35±6.49	0.001*	15.67 ↑	7.558	0.009*	0.182
	Posterior medial	78.22±9.97	97.62±11.04	0.001*	24.80 ↑	75.95±12.68	95.53±14.13	0.001*	25.78 ↑	0.002	0.968	0.001
	Total	75.48±8.54	91.77±7.93	0.001*	21.58 ↑	74.63±7.45	87.54±6.92	0.001*	17.29 ↑	2.917	0.097	0.079

CV = Change Relative to Baselines § (%); P^a = The P value related to intra-group comparisons; P^b = The P value related to the interaction effect of time in the group



اثر بخشی تمرینات عصبی-عضلانی با و بدون مداخله شناختی بر تعادل پویا و حس عمقی در زنان ورزشکار مستعد آسیب اسپرین مچ پا: کارازمایی بالینی تصادفی کنترل شده

مینا منصوری^۱، فرزانه ساکی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه توانبخشی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲- دانشیار، گروه توانبخشی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

مقاله پژوهشی

دریافت: مرداد ۱۴۰۳؛ پذیرش: شهریور ۱۴۰۳

واژگان کلیدی

تمرینات عصبی-عضلانی،

مداخله شناختی،

اسپرین مچ پا،

زنان ورزشکار،

چکیده

زمینه و هدف: اسپرین مچ پا شایع‌ترین آسیب اسکلتی عضلانی در ورزشکاران است. اختلال تعادل به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل خطر آسیب‌های مچ پا معرفی شده است. کاهش توانایی تعادل اغلب منجر به بی‌ثباتی مفصل مچ پا می‌شود. هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی اثر بخشی تمرینات عصبی-عضلانی با و بدون مداخله شناختی بر تعادل پویا و حس عمقی زنان ورزشکار مستعد آسیب اسپرین مچ پا بود.

روش بررسی: پژوهش حاضر مطالعه نیمه تجربی، دوسوکور با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون بود. جامعه پژوهش، ورزشکاران دختر باشگاه‌های شهر همدان بودند که از بین آن‌ها ۳۶ نفر بر اساس معیارهای ورود به عنوان آزمودنی انتخاب شدند. آزمودنی‌ها به صورت تصادفی در تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی (۱۸ نفر) و تمرینات عصبی-عضلانی بدون مداخله شناختی (۱۸ نفر) قرار گرفتند. تعادل پویا و حس عمقی به ترتیب با استفاده از آزمون‌های Y و بازسازی زاویه مفصلی در هر دو گروه قبل و بعد از مداخله مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری تحلیل شد ($P < 0.05$).

نتایج: نتایج پژوهش نشان داد تعامل زمان * گروه برای متغیرهای تعادل در جهت قدامی، خلفی خارجی و حس عمقی معنادار است ($P < 0.05$). اگرچه نتایج مقایسه زوجی نشان‌دهنده بهبودی در متغیرهای تعادل پویا و حس عمقی در هر دو گروه است ($P < 0.05$)، اما درصد تغییرات و بهبودی در گروه تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی در تمامی متغیرها بیشتر است.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان می‌دهند که ادغام تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی منجر به بهبود بیشتری می‌شود. بنابراین، توصیه می‌شود ورزشکارانی که دچار نقص تعادل هستند و مستعد پیچ‌خوردگی مچ پا می‌باشند، به تمرینات همزمان عصبی-عضلانی و شناختی بپردازند.

مقدمه

مچ پا بیشترین نرخ آسیب را در انواع ورزش‌ها دارد و ۳۴/۳۰ درصد از کل آسیب‌ها را شامل می‌شود. اسپرین جانبی مچ پا شایع‌ترین نوع این آسیب‌ها است و ۷۶ درصد از آن‌ها را تشکیل می‌دهد (۱۹). این آسیب در زنان تقریباً دو برابر بیشتر از مردان رخ می‌دهد و خطر آن در ورزش‌های داخل سالن و زمین بیشتر است (۱). این آسیب بیشتر از هر آسیب دیگری، ورزشکار را از شرکت در ورزش دور می‌کند (۲۰)، چنان‌که یک‌ششم کل زمان‌های دور بودن از ورزش به علت این آسیب گزارش شده است (۲۱). افزون بر این، هنگامی که فردی دچار پیچ‌خوردگی مچ پا می‌شود، شانس ابتلا وی به پیچ‌خوردگی‌های بعدی حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد است (۲۲). بنابراین، با توجه به هزینه‌های مالی، زمانی و درمانی بالایی که توانبخشی برای ورزشکاران به همراه دارد، اهمیت پیشگیری اولیه نسبت به درمان و توانبخشی بیشتر نمایان می‌شود و شناخت عوامل خطر و پیشگیری از آسیب در ورزشکاران در معرض خطر هدف مهمی در نظر گرفته می‌شود.

عوامل و سازوکارهای متعددی وجود دارند که می‌توانند خطر پیچ‌خوردگی مچ پا را افزایش دهند. این عوامل به دو دسته عوامل خطرزای درونی و بیرونی تقسیم می‌شوند. عوامل خطرزای درونی شامل راستای پا، اندازه پا، شلی لیگامنت‌ها، کنترل عصبی-عضلانی، بی‌ثباتی، ضعف عضلانی و تحرک محدود مفصل مچ پا هستند. عوامل خطرزای بیرونی نیز شامل نوع کفش، نوع و شدت فعالیت ورزشی و گرم کردن می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که کنترل وضعیتی ضعیف، با افزایش خطر آسیب پیچ‌خوردگی مچ پا ارتباط دارد (۲۳). کنترل وضعیتی را می‌توان به تعادل ایستا و پویا طبقه‌بندی کرد. مک گوین و همکاران (۲۰۰۰) با بررسی ارزیابی تعادل از طریق آزمون ایستادن روی یک پا بیان کردند که بازیکنان با تعادل ضعیف‌تر نسبت به بازیکنان با تعادل خوب، هفت بار بیشتر به آسیب پیچ‌خوردگی مچ پا مبتلا می‌شوند (۲). همچنین شواهد نشان می‌دهند که عملکرد ضعیف در تعادل پویا که از طریق آزمون Y ارزیابی می‌شود، با افزایش خطر آسیب پیچ‌خوردگی مچ پا ارتباط دارد (۱۰، ۱۱). توانایی حفظ تعادل پویا، به ویژه در ورزشکاران، نشانه بهتری از توانایی عملکردی نسبت به تعادل ایستا است. (۲۴) اختلال در

تعادل یکی از شایع‌ترین مشکلات در افراد با بی‌ثباتی مچ پا است (۳). در افراد با مچ پای بی‌ثبات، عدم هماهنگی قدرت عضلانی و حس عمقی اطراف مفصل مچ پا می‌تواند مانع کنترل تعادل شود (۴). حس عمقی به حساسیت سیستم عصبی مرکزی نسبت به اطلاعاتی که از استخوان‌ها، مفاصل و عضلات در مورد تون عضلات و موقعیت آن‌ها دریافت می‌کند، اشاره دارد (۲۵). این یک فرآیند عصبی-عضلانی پیچیده است که با آگاهی حرکتی از وضعیت بدن سر و کار دارد و نقش مهمی در ثبات مفاصل و پیشگیری از آسیب دارد. ویلیمز (۲۰۰۵)، دقت کمتر حس وضعیت مفصل مچ پا را در زنان سالم مستعد پیچ‌خوردگی مچ پا نشان داد و بیان نمود که تغییر یافتن حس عمقی می‌تواند باعث وضعیت نامناسب پا و تغییر مرکز فشار به سمت خارج شود و بنابراین منجر به پیچ‌خوردگی مچ پا گردد (۲۶). اصل اساسی که تمرینات حس عمقی بر آن استوار است، تحریک حفظ تعادل در موقعیت‌های مختلف یا در حین حرکات مختلف است (۲۷). هدف تمرینات حس عمقی بهبود حس حرکت و حس وضعیت بدن در فضا، افزایش دامنه حرکتی مفاصل و بهبود تعادل است (۲۸).

مطالعات نشان داده‌اند که دو روش اصلی برای پیشگیری از آسیب‌های مچ پا عبارتند از استفاده از ایموبلایزرهای مچ پا و تمرینات عصبی-عضلانی (۵). ایموبلایزرهای مچ پا ابزارهایی هستند که برای ثابت نگه داشتن و حمایت از مچ پا طراحی شده‌اند تا از آسیب‌های بیشتر جلوگیری کنند (۲۹). تمرینات عصبی-عضلانی نیز شامل تقویت حس عمقی و عملکرد عصبی-عضلانی است که از طریق روش‌های تمرینی هدفمند به دست می‌آید (۶). این تمرینات به بهبود عملکرد ورزشکاران کمک می‌کند و هم‌زمان از آسیب‌دیدگی جلوگیری می‌کنند (۸). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که برنامه تمرینات عصبی-عضلانی یک روش ارزشمند برای بهبود قدرت، چابکی، توانایی پرش، تعادل و سرعت است (۷، ۳۰). با این حال، علیرغم هزینه‌های مرتبط، تنها تعداد کمی از پژوهشگران اثربخشی اقدامات پیشگیرانه را برای اسپرین اولیه مچ پا بررسی کرده‌اند (۳۱-۳۳) و اکثر مطالعات روی افراد آسیب دیده انجام شده است. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که استفاده از رویکردهای عصبی-شناختی همراه با تمرینات عصبی-عضلانی می‌تواند نقص‌های عصبی-عضلانی را کاهش دهد (۹، ۳۴).

این امر به این دلیل است که ورزشکاران در محیط رقابتی وظایف متعددی از جمله تقسیم توجه، پردازش فرآیندهای فضایی-زمانی، توجه بینایی و رویارویی با مسائل شناختی را به صورت همزمان با عملکرد ورزشی انجام میدهند (۳۵).

شرایط و موقعیت‌های ورزشی غیرقابل پیش‌بینی هستند و ورزشکاران باید راهبردهای حرکتی مناسبی را در پاسخ به تغییرات غیرمنتظره محیط اتخاذ کنند. به عنوان مثال، توجه به موقعیت حریف هنگام فرود از پرش می‌تواند خطر آسیب‌های لیگامانی را افزایش دهد (۳۶). یکی از روش‌های مطالعه و بررسی تقسیم توجه هنگام فعالیت هم-زمان، به‌کارگیری الگوی تکلیف دوگانه است (۳۷). بررسی‌های مربوط به الگوی تکلیف دوگانه نشان داده است تکلیف ثانویه، تکلیف شناختی بوده است و به تکلیف حرکتی به عنوان تکلیف دوگانه کمتر توجه شده است (۳۸). در بیشتر پژوهش‌ها، تمرین شناختی جدا از تمرین حرکتی بوده است و از الگوی تکلیف دوگانه کمتر استفاده شده است. تمرینات توأم با تکلیف دوگانه، باعث افزایش توانایی افراد برای چیره شدن بر محدودیت پردازش سیستم عصبی مرکزی می‌شود (۳۹).

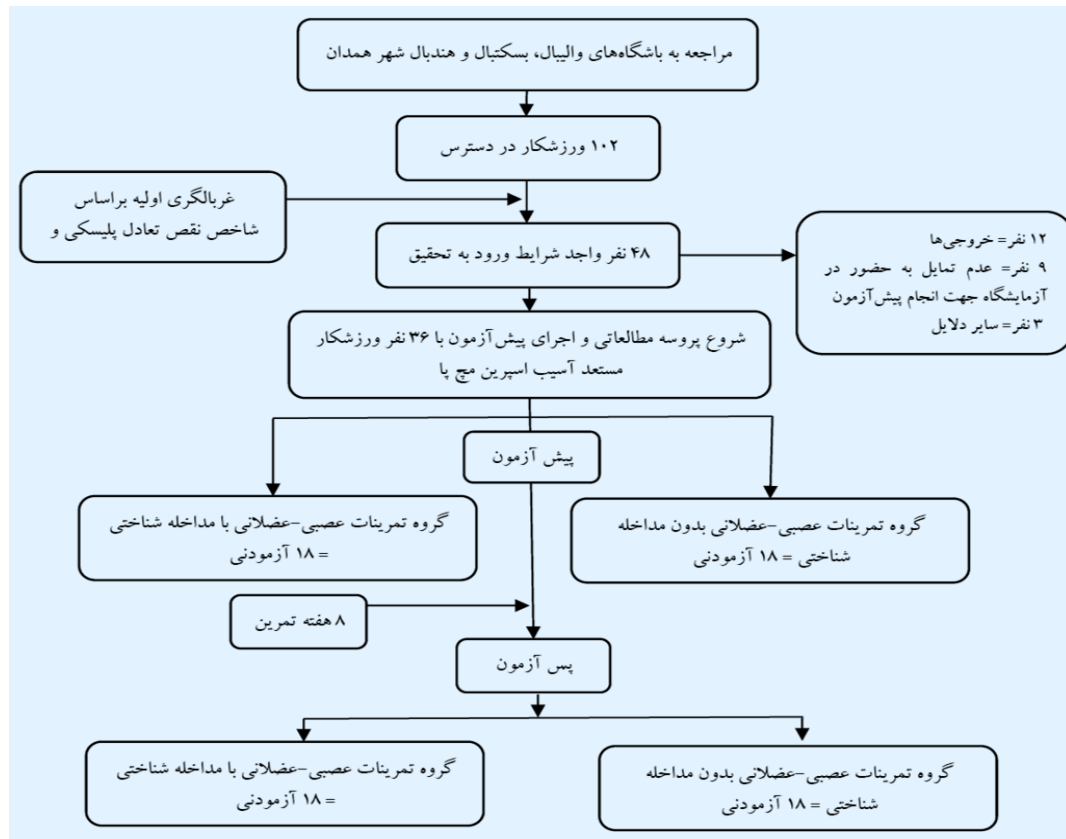
با توجه به مطالب بیان شده و با در نظر گرفتن اینکه تاکنون هیچ مطالعه‌ای بر روی افراد با نقص تعادل که تمرینات عصبی-عضلانی همراه با مداخلات شناختی را بررسی کند، انجام نشده است، این تحقیق به منظور پر کردن این خلا انجام شد. از این رو هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر تمرینات عصبی-عضلانی با مداخلات شناختی بر تعادل پویا و حس عمقی زنان ورزشکار مستعد اسپرین مچ پا بود. فرضیه این پژوهش این است که تمرینات عصبی-عضلانی همراه با مداخلات شناختی می‌تواند بهبود قابل توجهی در تعادل پویا و حس عمقی این ورزشکاران ایجاد کند.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. این پژوهش به صورت دوسوکور طراحی شده بود، به طوری که ارزیابان پیامد و شرکت‌کنندگان از تخصیص گروه‌های پژوهشی بی‌اطلاع بودند. شرکت‌کنندگان به دلیل عدم تشخیص تفاوت‌های دقیق در پروتکل‌های تمرینی و اهداف هر پروتکل، کورسازی شده بودند. اگرچه اعضای گروه‌ها از وجود دو گروه متفاوت آگاه بودند، اما از جزئیات

دقیق و تفاوت‌های تمرینی اطلاعی نداشتند. جامعه آماری پژوهش را ورزشکاران دختر باشگاه‌های شهر همدان (والیبال، بسکتبال، هندبال) تشکیل دادند. حجم نمونه توسط نرم‌افزار G*Power ورژن ۱/۳، براساس متغیر تعادل پویا در مطالعه محمدی نیا و همکاران (۲۰۲۲) تعیین شد (۴۰). بر این اساس، با قدرت ۰/۸۵ و اندازه اثر ۰/۲۹ و آلفای ۰/۰۵ برای هریک از گروه‌های پژوهش حداقل ۱۵ آزمودنی در نظر گرفته شد که با احتساب ریزش احتمالی، تعداد ۱۸ آزمودنی برای شرکت در هر گروه تعیین گردید. در نهایت آزمودنی‌های پژوهش حاضر ۳۶ ورزشکار دختر در معرض خطر آسیب اسپرین مچ پا بودند که براساس معیارهای ورود و خروج، به صورت هدفمند انتخاب و به‌طور تصادفی با استفاده از نرم‌افزار Random Number Generator ورژن ۱۰۴ و براساس پنهان سازی تخصیص به روش پاکت-های مهروموم و شماره‌گذاری شده به دو گروه تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی (۱۸ نفر) و تمرینات عصبی-عضلانی بدون مداخله شناختی (۱۸ نفر) تقسیم شدند (نمودار ۱). معیارهای ورود به تحقیق شامل دختران ورزشکار در رده سنی ۱۵ تا ۳۰ سال بود که حداقل سه سال سابقه ورزش منظم در یکی از رشته‌های والیبال، بسکتبال و هندبال داشتند. این ورزشکاران باید سه جلسه در هفته به مدت یک و نیم ساعت فعالیت ورزشی داشته باشند، دارای BMI نرمال (۲۵-۲۰) باشند و شاخص کلی تعادل کمتر از ۹۴ درصد در آزمون Y به روش پلیسکی (۱۱) و نمره نرمال کمتر از ۸۰ درصد در جهت خلفی خارجی این آزمون به روش نورنها در پای برتر خود (۱۰) داشته باشند. معیارهای خروج از تحقیق شامل سابقه آسیب اسپرین مچ پا در شش ماه گذشته، سابقه شکستگی، آسیب یا جراحی اندام تحتانی، داشتن ناهنجاری‌های اندام تحتانی (تشخیص داده شده با ارزیابی بصری و در صورت نیاز ارزیابی کمی)، سابقه اختلالات سیستم دهلیزی و وجود بیماری‌هایی مثل دیابت بودند (۴۱).

قبل از شروع پژوهش، مراحل انجام پژوهش برای آزمودنی‌ها شرح داده شد. سپس از آزمودنی‌ها خواسته شد تا در صورت تمایل برای انجام بررسی‌های اولیه در ساعات مشخص شده به آزمایشگاه مراجعه کنند. قبل از هرگونه اندازه‌گیری، آزمودنی‌ها ابتدا فرم رضایت‌نامه کتبی شرکت در آزمون را تکمیل کردند و اطلاعات شخصی آن‌ها جمع-



شکل ۱. فلوجارت انتخاب آزمودنی‌های کانزورت

با ران و ران با زانو ۹۰ درجه باشد. ارتفاع صندلی به گونه‌ای تنظیم شده بود که پاهای فرد به زمین نرسد. برای اندازه‌گیری حس عمقی، زاویه ۱۰ درجه دورسی فلکشن در نظر گرفته شد (۴۲). ارزیابی حس عمقی با استفاده از گونیامتر انجام شد. روایی گونیامتر یونیورسال (۰/۸۵ تا ۰/۹۶) (ICC=۰/۹۶ تا ۰/۸۵) گزارش شده است (۱۳). بازوی ثابت گونیامتر در امتداد سر استخوان نازک‌نی، مرکز گونیامتر روی قسمت تحتانی قوزک خارجی و بازوی متحرک در امتداد پنجمین استخوان کف-پایی قرار داده شد. سپس از آزمودنی خواسته شد که با چشمان باز به شیوه فعال، سه بار زاویه تعیین شده هدف را تکرار کند. برای حذف مداخله بینایی در حین اندازه‌گیری، از آزمودنی خواسته شد که چشمان خود را ببندد و سر خود را صاف و ثابت نگه دارد و بار دیگر زاویه هدف مورد نظر زاویه ۱۰ درجه دورسی فلکشن را سه دفعه تکرار کند. اختلاف بین وضعیت چشم باز و بسته به عنوان خطای مطلق بازسازی زاویه در حرکت دورسی فلکشن ثبت گردید. پس از تکمیل مرحله پیش‌آزمون، آزمودنی‌ها برنامه

آزمون تعادل پویا: برای اندازه‌گیری تعادل پویا از آزمون Y استفاده شد. روایی این تست (ICC=۰/۸۹) گزارش شده است (۱۲). برای اجرای آزمون، آزمودنی بدون کفش در مرکز کیت آزمون Y می‌ایستاد. پس از تنظیم پای آزمودنی (پای برتر که دچار نقص تعادل نیز می‌باشد) در مرکز کیت، او با پای دیگر تلاش می‌کرد در سه جهت آزمون (قدامی، خلفی داخلی و خلفی خارجی) ریسش را انجام دهد. در هر جهت آزمودنی سه کوشش انجام می‌داد و میانگین سه کوشش به عنوان امتیاز نهایی در نظر گرفته می‌شد. اگر آزمودنی در هنگام انجام آزمون از پای غیر ثابت برای ایجاد اتکا استفاده می‌کرد، یا پای ثابتش از مرکز بلند می‌شد، یا نمی‌توانست تعادل خود را در هر نقطه‌ای از آزمون حفظ کند، آن آزمون متوقف و تکرار می‌شد (۱۱). نمرات به دست آمده از این آزمون با طول پا نرمال شد.

آزمون بازسازی خطای زاویه: برای اندازه‌گیری حس عمقی از آزمون بازسازی خطای زاویه استفاده شد. در این آزمون، فرد روی صندلی به گونه‌ای می‌نشست که زاویه تنه

تمرینات عصبی-عضلانی را به مدت هشت هفته و سه جلسه در هفته تحت نظر پژوهشگر انجام دادند. در هر جلسه ابتدا آزمودنی‌ها ده دقیقه برنامه گرم کردن شامل دویدن نرم و تمرینات کششی برای کل بدن به‌ویژه با تمرکز بر عضلات اندام تحتانی را انجام دادند. تمرینات عصبی - عضلانی شامل تمرینات مقاومتی، تعادلی و پلايومتریکی بود که با هدف افزایش قدرت عضلات مچ پا (دورسی فلکسور، پلانتر فلکسور، اینورتو و اورتور)، تعادل، توان و سرعت عضلات اندام تحتانی انجام گردید (۱۴، ۱۵) (جدول ۱). برای مداخله شناختی، از پروتکل شیروای و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شد (۱۶). در این پروتکل، همراه با اجرای

تمرینات عصبی-عضلانی برای شرایط شناختی، به شرکت-کنندگان دستور داده شد تا در ذهن خود شمارش معکوس با عدد ۷ را انجام دهند. این شمارش معکوس از یک عدد تصادفی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ شروع میشد و از آن‌ها خواسته شد تا حد امکان دقیق باشند. بلافاصله پس از اتمام تمرین عصبی-عضلانی، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا عددی را که به آن رسیده‌اند بیان کنند. این تکلیف شناختی ذهنی به منظور جلوگیری از هرگونه اختلال حرکتی در بدن که ممکن است در حین انجام کارهای کلامی یا دستی اعمال شود، انتخاب شد.

جدول ۱. تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی

هفته	تمرین مقاومتی	تمرین تعادلی	تمرین پلايومتریکی
اول	رنگ کش: قرمز اینورژن و اورژن، ۲۰ تکرار × ۳ ست	ایستادن تک پا روی زمین، دست‌ها به سینه ۲۰ ثانیه × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی: (شمارش معکوس یک عدد تصادفی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ برگشتن ۷ تا ۷ تا به عقب)	X hops (right/left) ۸ تکرار × ۳ ست
دوم	رنگ کش: قرمز اینورژن و اورژن، ۲۰ تکرار × ۴ ست پلانتر و دورسی فلکشن، ۲۰ تکرار × ۴ ست	ایستادن تک پا روی سطح ناپایدار (مت به صورت چند لایه جمع شده)، ۲۰ ثانیه × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی	Forward hops, Forward zigzag hops ۸ تکرار × ۳ ست
سوم	رنگ کش: قرمز اینورژن و اورژن، ۲۰ تکرار × ۵ ست پلانتر و دورسی فلکشن، ۲۰ تکرار × ۵ ست	ایستادن تک پا روی سطح ناپایدار (مت به صورت چند لایه جمع شده)، چشم‌ها بسته ۲۰ ثانیه × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی	Skater hops Lateral shuffle ۸ تکرار × ۳ ست
چهارم	رنگ کش: آبی اینورژن و اورژن، ۳۰ تکرار × ۴ ست پلانتر و دورسی فلکشن، ۳۰ تکرار × ۴ ست بلند کردن پاشنه، ۲۰ تکرار × ۳ ست	ایستادن دو پا روی کوشن بالانس، ۲۰ ثانیه × ۳ ست ایستادن تک پا روی کوشن بالانس ۲۰ ثانیه × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی	Step up jump on box Step up to reverse lunge (right/left) ۸ تکرار × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی
پنجم	رنگ کش: آبی اینورژن و اورژن، ۳۰ تکرار × ۵ ست پلانتر و دورسی فلکشن، ۳۰ تکرار × ۵ ست بلند کردن پاشنه / بلند کردن پنجه پا، ۲۰ تکرار × ۴ ست	ایستادن دو پا روی کوشن بالانس همراه با پرتاب کردن / گرفتن توپ، ۱۵ تکرار × ۳ ست ایستادن تک پا روی کوشن بالانس همراه با پرتاب کردن / گرفتن توپ، ۱۵ تکرار × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی	Squat jump ۸ تکرار × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی
ششم	رنگ کش: آبی اینورژن و اورژن، ۳۰ تکرار × ۵ ست پلانتر و دورسی فلکشن، ۳۰ تکرار × ۵ ست	بوسوبال (سمت سفت) ایستادن دو پا، ۲۰ ثانیه × ۳ ست	Split squat jumps Ankle hops ۸ تکرار × ۳ ست

	با یک پا بالا و پایین، ۱۰ تکرار × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی	بلند کردن پاشنه / بلند کردن پنجه پا، ۲۰ تکرار × ۵ ست اسکات، ۱۰ تکرار × ۳ ست با تمرین شناختی	
Side hop over box Ankle hops ۸ تکرار × ۳ ست	بوسوبال (سمت نرم) ایستادن ۲ پا، ۲۰ تکرار × ۳ ست با یک پا بالا و پایین، ۲۰ تکرار × ۳ ست با هر دو پا ایستاده چرخیدن، ۱۰ تکرار × ۳ ست *ارائه تمرین شناختی	رنگ کش: سیاه اینورژن و اورژن، ۳۰ تکرار × ۵ ست پلانتر و دورسی فلکشن، ۳۰ تکرار × ۵ ست بلند کردن پاشنه / بلند کردن پنجه پا، ۳۰ تکرار × ۵ ست اسکات، ۲۰ تکرار × ۳ ست با تمرین شناختی	هفتم
Depth drop jump Standing long jump with box jump ۸ تکرار × ۳ ست	بوسوبال (سمت نرم) ایستادن ۲ پا همراه با پرتاب کردن / گرفتن توپ، ۲۰ تکرار × ۳ ست با یک پا بالا و پایین همراه با پرتاب کردن / گرفتن توپ ۲۰ تکرار × ۳ ست با هر دو پا ایستاده چرخیدن، ۱۰ تکرار × ۳ ست	رنگ کش: سیاه اینورژن و اورژن، ۳۰ تکرار × ۵ ست پلانتر و دورسی فلکشن، ۳۰ تکرار × ۵ ست بلند کردن پاشنه / بلند کردن پنجه پا، ۳۰ تکرار × ۵ ست اسکات، ۲۰ تکرار × ۳ ست با تمرین شناختی	هشتم

یک از گروه های تمرینی به صورت جداگانه محاسبه و ذکر شود.

نتایج مطالعه

مشخصات آزمودنی ها و نتایج بررسی همگنی گروه های پژوهش در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اطلاعات دموگرافیک در گروه ها همسان بوده و تفاوت معناداری بین گروه ها در میانگین سن، قد، وزن، شاخص توده بدنی و نمره تعادل پلیسکی و نورن ها وجود ندارد ($P > 0.05$).

برای تجزیه و تحلیل یافته های مطالعه حاضر از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. نرمال بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون شاپیروویک تأیید شد. برای تحلیل داده ها از شاخص های آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) و آمار استنباطی (آزمون آنالیز واریانس با اندازه های تکراری با تصحیح بونفرونی) در سطح معناداری ($P < 0.05$) استفاده گردید. همچنین، برای بررسی و مقایسه دقیق تر نتایج گروه های تمرینی، از فرمول درصد تغییرات ($100 * \text{میانگین پیش آزمون} - \text{میانگین پس آزمون}$) = درصد تغییرات) استفاده شد تا تغییرات متغیرهای مورد مطالعه از پیش آزمون تا پس آزمون برای هر متغیر در هر

جدول ۱. نتایج آزمون t مستقل برای مقایسه اطلاعات دموگرافیک آزمودنی ها

P	T	انحراف استاندارد ± میانگین		متغیرها
		گروه عصبی-عضلانی با مداخله شناختی	گروه عصبی-عضلانی بدون مداخله شناختی	
۰/۱۳۵	۱/۵۳۱	۱۶/۳۹ ± ۲/۱۷	۱۸/۱۷ ± ۴/۴۲	سن (سال)
۰/۵۰۸	-۰/۶۶۹	۱۶۲/۶۱ ± ۵/۳۷	۱۶۱/۳۰ ± ۶/۲۹	قد (سانتی متر)
۰/۲۶۳	۱/۱۳۹	۵۶/۷۲ ± ۶/۲۳	۵۹/۳۳ ± ۷/۴۶	وزن (کیلوگرم)
۰/۰۹۱	۱/۷۴۲	۲۱/۵۲ ± ۱/۶۰	۲۲/۵۲ ± ۱/۸۳	BMI (kg/m ²)
۰/۵۳۹	-۰/۶۲۱	۷۷/۷۰ ± ۵/۶۴	۷۶/۲۹ ± ۷/۷۴	نمره تعادل پلیسکی (درصد)
۰/۴۱۴	۰/۸۲۸	۷۱/۶۰ ± ۵/۱۸	۷۲/۹۲ ± ۴/۳۴	نمره تعادل نورنها (درصد)

زوجی نشان داد که در تمامی متغیرها از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در هر دو گروه تمرینی بهبودی حاصل شده است. با این حال، درصد تغییرات متغیرهای مورد مطالعه از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در گروه عصبی-عضلانی با مداخله شناختی، نشان‌دهنده تغییرات و بهبودی بیشتری در این گروه است (جدول ۳).

نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری نشان داد که اثر تعاملی زمان (قبل و بعد از مداخله) بر گروه (تمرینات عصبی-عضلانی با و بدون مداخله شناختی) بر حس عمقی و تعادل در جهت قدامی و خلفی خارجی معنادار بود ($P < 0/05$). در حالی که هیچ اثر متقابل معناداری از نظر آماری در متغیر تعادل در جهت خلفی داخلی و تعادل کل پا مشاهده نشد ($P > 0/05$). مقایسه

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری متغیرهای مطالعه

متغیر	گروه عصبی-عضلانی با مداخله شناختی				گروه عصبی-عضلانی بدون مداخله شناختی				زمان * گروه		
	انحراف استاندارد \pm		درصد تغییرات	P^a	انحراف استاندارد \pm		درصد تغییرات	P^a			
	پیش آزمون	پس آزمون			پیش آزمون	پس آزمون					
خطای بازسازی زاویه (درجه)	$\pm 1/28$	$\pm 0/98$	$\downarrow 67/81$	$0/001$	$\pm 0/82$	$\pm 1/52$	$\downarrow 50/58$	$0/001$	$4/854$	$0/034$	$0/125$
	$4/66$	$1/50$			$4/27$	$2/11$					
تعادل (درصدی از طول پا)	$\pm 11/52$	$\pm 9/76$	$\uparrow 15/34$	$0/001$	$\pm 8/76$	$\pm 7/02$	$\uparrow 10/28$	$0/001$	$4/415$	$0/043$	$0/115$
	$77/18$	$89/02$			$75/03$	$82/75$					
خلفی خارجی	$\pm 6/79$	$\pm 6/96$	$\uparrow 24/81$	$0/001$	$\pm 5/12$	$\pm 6/49$	$\uparrow 15/67$	$0/001$	$7/558$	$0/009$	$0/182$
	$71/04$	$88/67$			$72/92$	$84/35$					
خلفی داخلی	$\pm 9/97$	$\pm 11/04$	$\uparrow 24/80$	$0/001$	$\pm 12/68$	$\pm 14/13$	$\uparrow 25/78$	$0/001$	$0/002$	$0/968$	$0/001$
	$78/22$	$97/62$			$75/95$	$95/53$					
کل	$\pm 8/54$	$\pm 7/93$	$\uparrow 21/58$	$0/001$	$\pm 7/45$	$\pm 6/92$	$\uparrow 17/29$	$0/001$	$2/917$	$0/097$	$0/079$
	$75/48$	$91/77$			$74/63$	$87/54$					

P^a مقایسه زوجی (مقایسه درون گروهی)، P^b تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری (تعامل زمان*گروه)

بحث

نسبت به گروه تمرینات عصبی-عضلانی بدون مداخله شناختی کاهش داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی می‌تواند موجب بهبودی بیشتری در متغیرهای تعادل و حس عمقی شود. شواهد نشان داده‌اند که خطر آسیب‌های مچ پا و سایر مفاصل با تغییرات توجه ناشی از رویدادهای خارجی مرتبط است. بنابراین، برای پیشگیری از آسیب مچ پا، باید به مواردی مانند تکلیف دوگانه و بارگذاری شناختی همراه با تمرینات ورزشی توجه شود. انجام تکالیف دوگانه باعث افزایش بار شناختی عصبی بر روی عملکرد و افزایش زمان واکنش می‌شود، که ممکن است به از دست دادن تعادل ورزشکاران در طول ورزش منجر شود (۴۳). بر اساس این نظریه، آسیب‌ها احتمالاً زمانی رخ می‌دهند که افراد از نظر جسمی و ذهنی خسته هستند، به موارد مختلفی فکر می‌کنند و یا حس تمرکز خود را از دست داده‌اند. انجام تمرینات شناختی مثل انجام تکالیف شناختی در طول

هدف از این پژوهش بررسی اثر یک دوره هشت هفته‌ای تمرینات عصبی-عضلانی با تکلیف دوگانه شناختی بر تعادل پویا و حس عمقی ورزشکاران دختر دارای نقص تعادل بود. نتایج این پژوهش نشان داد که تمرینات عصبی-عضلانی با و بدون مداخله شناختی تأثیر معناداری بر روی متغیرهای حس عمقی و تعادل در جهات قدامی و خلفی خارجی داشتند. با این حال، مقایسه زوجی نشان داد که هر دو گروه پیشرفت قابل توجهی در متغیرهای حس عمقی و تعادل در همه جهات را تجربه کرده‌اند. با توجه به درصد تغییرات، گروه تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی در متغیر تعادل در جهات قدامی، خلفی خارجی و کلی به ترتیب تقریباً ۵، ۸.۵ و ۴ درصد افزایش بیشتری نسبت به گروه دوم داشته‌اند. همچنین، خطای بازسازی زاویه و تعادل در جهت خلفی داخلی در گروه تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی به ترتیب حدود ۱۷ و ۱ درصد بیشتر

انجام دهد، ضرورت داشت. علاوه بر این، زمانی که گروه کنترل بدون تمرین باشد، مقایسه با گروه آزمایش و برتری گروه آزمایش را دچار سوگیری می‌کند. یکی از دلایلی که می‌تواند باعث ایجاد عدم معنی‌داری در بین گروه‌های مورد مطالعه شود، این است که در پژوهش حاضر فقط از یک تمرین شناختی استفاده شده است که این موضوع می‌تواند موجب ایجاد خستگی آزمودنی‌ها در طول تمرین شود و همچنین، باعث آشنایی آزمودنی با تکلیف و کاهش اثر تمرین شناختی و از بین رفتن بار شناختی می‌شود. همچنین پروتکل تمرینات شناختی در پژوهش حاضر شامل محاسبه اعداد بود که مرتبط با چالش‌های شناختی ویژه ورزشکاران نیست. این یکی از محدودیت‌های پژوهش ما بود و پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده از تکالیف شناختی ویژه ورزشی (توجه به حرکات حریف و ...) استفاده کنند و همچنین سایر رویکردهای عصبی-شناختی را با تکالیف دوگانه مورد مقایسه قرار دهند تا اثرگذاری بیشتر این تمرینات در پیشگیری از آسیب اسپرین مچ پا مشخص شود. از جمله محدودیت‌های دیگر پژوهش حاضر این است که در این پژوهش تنها ورزشکاران زن با نقص تعادل مورد بررسی و تمرین قرار گرفتند؛ بنابراین، نتایج قابل تعمیم به آزمودنی‌های مرد با نقص تعادل نیست. همچنین تست‌های مورد استفاده در این پژوهش بدون اعمال بارشناختی بودند که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از تست‌های ارزیابی دوگانه و شناختی برای ارزیابی استفاده شود تا تأثیر تمرینات شناختی بهتر و مشخص‌تر گردد. در نهایت، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده به بررسی تأثیرات بلندمدت این نوع تمرینات و مقایسه آن‌ها با سایر رویکردهای تمرینی بپردازند تا بتوان به نتایج جامع‌تری دست یافت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تمرینات عصبی-عضلانی، چه با مداخله شناختی و چه بدون آن، تأثیر مثبتی بر تعادل پویا و حس عمقی زنان ورزشکار در معرض آسیب اسپرین مچ پا (دارای ضعف در تعادل پویا) دارد. هر دو گروه مورد مطالعه بهبود معناداری در متغیرهای تعادل و حس عمقی نشان دادند، که نشان‌دهنده اثربخشی تمرینات عصبی-عضلانی است. با این حال، گروهی که تمرینات با

تمرینات تعادلی یا تصمیم‌گیری در تکالیف ثابت پویا می‌تواند در برنامه‌های پیشگیری و توانبخشی کمک کند. همچنین تمرینات بدنی می‌تواند مناطق مغزی بیشتری را به کار برد و تغییرات ساختاری و کارکردی در مغز ایجاد کند، در حالی که تمرینات شناختی ارتباطات مغز را تقویت کرده و تغییرات رفتاری ملموسی ایجاد می‌کند (۴۴).

بر اساس نتایج این مطالعه، تمرینات عصبی-عضلانی با تکلیف دوگانه به طور چشمگیری بهبود در عملکرد تعادل زنان ورزشکار در معرض آسیب اسپرین مچ پا ایجاد می‌کنند. این تمرینات با ارتباط حسی-حرکتی، کاهش ناپایداری تعادل و نوسان پاسچر، بهبود می‌بخشند و تعادل را تقویت می‌کنند. ادبیات نشان می‌دهد که تمرینات با تکلیف دوگانه منجر به بهبود آگاهی و مهارت حرکتی، تقسیم توجه، و تعامل بین حرکات ارادی و رفلکسی می‌شود. برای شرکت‌کنندگان، انجام وظیفه خودکار منجر به بهبود توانایی شناختی و کنترل پاسچر می‌شود، که در نهایت بهبود تعادل را تسریع و تضمین می‌کند. بهبود تعادل پس از تمرین تکلیف دوگانه ممکن است به دلیل بهبود کارکردهای عصبی باشد که منجر به کاهش تأخیر زمان پاسخ و بهره‌وری بیشتر عضلات پاسچرال می‌شود (۱۸). همچنین، تأثیرات کنترل پاسچر و تعادل تنها به وظایف حرکتی خودکار محدود نیست و به میزان زیادی از عوامل بالادستی سیستم عصبی، به ویژه شبکه‌های عصبی و مراکز اجرایی، وابسته است؛ بنابراین، بهبود در آگاهی شناختی با بهبود تعادل همراه است (۱۷، ۴۵). به این ترتیب، می‌توان توضیح داد که تمرینات عصبی-عضلانی با مداخله شناختی، به طور غیرمستقیم تعادل را بهبود بخشیده و به عملکرد عصبی-عضلانی کمک می‌کنند. از طرفی، بهبود تعادل می‌تواند باعث بهبود حس عمقی پس از تمرینات عصبی-عضلانی شود. این بهبود تعادل به دلیل افزایش توانایی بدن در تشخیص و پاسخ به تغییرات محیطی و داخلی است که از طریق تمرینات تعادلی و تقویت عضلات پاسچرال حاصل می‌شود. از طرف دیگر، در پژوهش حاضر تغییرات درون-گروهی هر دو گروه مورد مطالعه در متغیرهای تعادل و حس عمقی معنادار بود. دلیل آن نیز منفعل نبودن گروه کنترل (تمرینات عصبی-عضلانی بدون مداخلات شناختی) بود. در بیشتر پژوهش‌ها گروه کنترل منفعل و غیرفعال است؛ بنابراین، انجام پژوهشی که گروه کنترل نیز تمرین

حمایت مالی

در این تحقیق از حمایت مالی استفاده نشده است.

نقش نویسندگان

در تحقیق حاضر جمع آوری داده‌ها و نگارش مقاله را مینا منصوری و ایده‌پردازی، مفهوم سازی، تجزیه و تحلیل داده‌ها، ادیت مقاله را فرزانه ساکی انجام داده است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی عزیزانی که در انجام پژوهش حاضر ما را یاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌نماییم.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

مداخله شناختی را انجام دادند، بهبود بیشتری در تعادل پویا و حس عمقی نشان دادند. این یافته‌ها اهمیت ترکیب تمرینات شناختی با تمرینات عصبی-عضلانی را در بهبود عملکرد تعادلی و پیشگیری از آسیب‌های ورزشی برجسته می‌کند. از این رو استفاده از این تمرینات در بهبود عوامل خطر آفرین آسیب‌های مچ پا پیشنهاد می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

این تحقیق زیر نظر کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه بوعلی سینا همدان به تصویب رسیده است و در سامانه کارآزمایی بالینی (IRCT:0230619058535N1) ثبت شده است.

References

1. Bielska IA, Wang X, Lee R, Johnson AP. The health economics of ankle and foot sprains and fractures: A systematic review of English-language published papers. Part 2: The direct and indirect costs of injury. *The Foot*. 2019;39:115-21.
2. McGuine TA, Greene JJ, Best T, Levenson G. Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2000;10(4):239-44.
3. Jacobs CA, Uhl TL, Mattacola CG, Shapiro R, Rayens WS. Hip abductor function and lower extremity landing kinematics: sex differences. *Journal of athletic training*. 2007;42(1):76.
4. Riemann BL, Schmitz RJ, Gale M, McCaw ST. Effect of ankle taping and bracing on vertical ground reaction forces during drop landings before and after treadmill jogging. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2002;32(12):628-35.
5. Kaminski TW, Needle AR, Delahunt E. Prevention of lateral ankle sprains. *Journal of athletic training*. 2019;54(6):650-61.
6. Schiftan GS, Ross LA, Hahne AJ. The effectiveness of proprioceptive training in preventing ankle sprains in sporting populations: a systematic review and meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*. 2015;18(3):238-44.
7. Trajković N, Bogataj Š. Effects of neuromuscular training on motor competence and physical performance in young female volleyball players. *International journal of environmental research and public health*. 2020;17(5):1755.
8. Borghuis AJ, Lemmink K, Hof AL, Visscher C. The effect of a soccer-specific neuromuscular training program on stability, agility and injury in elite youth soccer. *Core Stab Soccer it's a Matter Control*. 2013:83-100.
9. Monfort SM, Comstock RD, Collins CL, Onate JA, Best TM, Chaudhari AM. Association between ball-handling versus defending actions and acute noncontact lower extremity injuries in high school basketball and soccer. *The American journal of sports medicine*. 2015;43(4):802-7.
10. de Noronha M, França LC, Hauptenthal A, Nunes G. Intrinsic predictive factors for ankle sprain in active university students: a prospective study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2013;23(5):541-7.
11. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2006;36(12):911-9.
12. Hall EA, Docherty CL, Simon J, Kingma JJ, Klossner JC. Strength-training protocols to improve deficits in participants with chronic

- ankle instability: a randomized controlled trial. *Journal of athletic training*. 2015;50(1):36-44.
13. Konor MM, Morton S, Eckerson JM, Grindstaff TL. Reliability of three measures of ankle dorsiflexion range of motion. *International journal of sports physical therapy*. 2012;7(3):279.
 14. Wang H, Yu H, Kim YH, Kan W. Comparison of the effect of resistance and balance training on isokinetic eversion strength, dynamic balance, hop test, and ankle score in ankle sprain. *Life*. 2021;11(4):307.
 15. Lee HM, Oh S, Kwon JW. Effect of plyometric versus ankle stability exercises on lower limb biomechanics in taekwondo demonstration athletes with functional ankle instability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(10):3665.
 16. Shiravi Z, Moghadam ST, Hadian MR, Olyaei G. Effect of cognitive task on postural control of the patients with chronic ankle instability during single and double leg standing. *Journal of bodywork and movement therapies*. 2017;21(1):58-62.
 17. Delbroek T, Vermeulen W, Spildooren J. The effect of cognitive-motor dual task training with the biorescue force platform on cognition, balance and dual task performance in institutionalized older adults: a randomized controlled trial. *Journal of physical therapy science*. 2017;29(7):1137-43.
 18. Pichierri G, Wolf P, Murer K, de Bruin ED. Cognitive and cognitive-motor interventions affecting physical functioning: a systematic review. *BMC geriatrics*. 2011;11:1-19.
 19. Fong DT-P, Hong Y, Chan L-K, Yung PS-H, Chan K-M. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports medicine*. 2007;37:73-94.
 20. Comfort P, Abrahamson E. *Sports rehabilitation and injury prevention*: Wiley Online Library; 2010.
 21. Akbari M, Karimi H, Farahini H, Faghihzadeh S. Balance problems after unilateral lateral ankle sprains. *Journal of rehabilitation research and development*. 2006;43(7):819.
 22. Knight AC, Weimar WH. Effects of inversion perturbation after step-down on the latency of the peroneus longus and peroneus brevis. *Journal of applied biomechanics*. 2011;27(4):283-90.
 23. McKeon PO, Hertel J. Systematic review of postural control and lateral ankle instability, part I: can deficits be detected with instrumented testing? *Journal of athletic training*. 2008;43(3):293-304.
 24. Hoffman MA, Koceja DM. Dynamic balance testing with electrically evoked perturbation: a test of reliability. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1997;78(3):290-3.
 25. Kandel ER. Cellular mechanisms of learning and the biological basis of individuality. *Principles of neural science*. 1991;3:1009-31.
 26. Willems TM, Witvrouw E, Delbaere K, Philippaerts R, De Bourdeaudhuij I, De Clercq D. Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in females—a prospective study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2005;15(5):336-45.
 27. Postle K, Pak D, Smith T. Effectiveness of proprioceptive exercises for ankle ligament injury in adults: a systematic literature and meta-analysis. *Manual therapy*. 2012;17(4):285-91.
 28. Aman JE, Elangovan N, Yeh I-L, Konczak J. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. *Frontiers in human neuroscience*. 2015;8:1075.
 29. Trojian TH, McKeag DB. Single leg balance test to identify risk of ankle sprains. *British journal of sports medicine*. 2006;40(7):610-3.
 30. Batrakoulis A, Jamurtas AZ, Georgakouli K, Draganidis D, Deli CK, Papanikolaou K, et al. High intensity, circuit-type integrated neuromuscular training alters energy balance and reduces body mass and fat in obese women: A 10-month training-detraining randomized controlled trial. *PloS one*. 2018;13(8):e0202390.
 31. Bahr R. Can we prevent ankle sprains? *Evidence-based Sports Medicine*. 2007:519-37.
 32. Caldemeyer LE, Brown SM, Mulcahey MK. Neuromuscular training for the prevention of ankle sprains in female athletes: a systematic review. *The Physician and sportsmedicine*. 2020;48(4):363-9.
 33. Vriend I, Gouttebauge V, Van Mechelen W, Verhagen E. Neuromuscular training is effective to prevent ankle sprains in a sporting population: a meta-analysis translating evidence into optimal prevention strategies. *Journal of ISAKOS*. 2016;1(4):202-13.
 34. Wang L, Yu G, Chen Y. Effects of dual-task training on chronic ankle instability: a systematic review and meta-analysis. *BMC musculoskeletal disorders*. 2023;24(1):814.
 35. Grooms DR, Onate JA. Neuroscience application to noncontact anterior cruciate

- ligament injury prevention. *Sports Health*. 2016;8(2):149-52.
36. Mache MA, Hoffman MA, Hannigan K, Golden GM, Pavol MJ. Effects of decision making on landing mechanics as a function of task and sex. *Clinical Biomechanics*. 2013;28(1):104-9.
37. Sanders AE, Holtzer R, Lipton RB, Hall C, Verghese J. Egocentric and exocentric navigation skills in older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2008;63(12):1356-63.
38. Jehu D, Paquet N, Lajoie Y. Balance and mobility training with or without concurrent cognitive training does not improve posture, but improves reaction time in healthy older adults. *Gait & posture*. 2017;52:227-32.
39. Tavakoli S, Forghany S, Nester C. The effect of dual tasking on foot kinematics in people with functional ankle instability. *Gait & Posture*. 2016;49:364-70.
40. Mohammadi Nia Samakosh H, Brito JP, Shojaedin SS, Hadadnezhad M, Oliveira R, editors. What Does Provide Better Effects on Balance, Strength, and Lower Extremity Muscle Function in Professional Male Soccer Players with Chronic Ankle Instability? Hopping or a Balance Plus Strength Intervention? A Randomized Control Study. *Healthcare*; 2022: MDPI.
41. Ramezani F, Saki F, Tahayori B. Neuromuscular training improves muscle co-activation and knee kinematics in female athletes with high risk of anterior cruciate ligament injury. *European Journal of Sport Science*. 2024;24(1):56-65.
42. Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *Journal of athletic training*. 2002;37(4):364.
43. Polskaia N, Lajoie Y. Reducing postural sway by concurrently performing challenging cognitive tasks. *Human movement science*. 2016;46:177-83.
44. McNevin NH, Shea CH, Wulf G. Increasing the distance of an external focus of attention enhances learning. *Psychological research*. 2003;67:22-9.
45. Dorfman M, Herman T, Brozgol M, Shema S, Weiss A, Hausdorff JM, et al. Dual-task training on a treadmill to improve gait and cognitive function in elderly idiopathic fallers. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2014;38(4):246-53.