

Research Paper



## Effect of a Six-week Neuromuscular Exercise Program on Balance, Ankle Proprioception and Ankle Muscle Strength of Women With Chronic Ankle Instability

Negin Aghili<sup>1</sup> , \*Gholamali Ghasemi<sup>1</sup> , Hamed Esmaeili<sup>1</sup>

1. Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran.



**Citation** Aghili N, Ghasemi GH, Esmaeili H. Effect of a Six-week Neuromuscular Exercise Program on Balance, Ankle Proprioception and Ankle Muscle Strength of Women With Chronic Ankle Instability. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 13(6):1078-1093. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.6.3270>

**doi** <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.6.3270>

### ABSTRACT

**Background and Aims** Ankle sprain is one of the most common injuries among active individuals, which may lead to chronic ankle instability (CAI). This study aims to study the effects of six weeks of neuromuscular exercises on static and dynamic balance, ankle proprioception, and ankle muscle strength in women with CAI.

**Methods** In this quasi-experimental study, 24 active women with CAI based on the Cumberland ankle instability tool (age: 29.1±7.10 years, height: 163±4 cm, weight: 64±9.6 kg) were purposefully selected and randomly assigned to the exercise and control groups. Before and after the six-week exercise program, the static balance (single-leg stance test on a force plate), dynamic balance (Y-balance test), ankle proprioception, and ankle muscle strength of invertors, evertors, dorsiflexors, and plantarflexors were evaluated (Using an isokinetic dynamometer; Biodex System 3 Pro). The participants in the experimental group performed neuromuscular exercises for six weeks, five sessions per week, for one hour. During this period, the control group continued their daily activities and did not engage in other rehabilitation programs. Data analysis was conducted using mixed analysis of variance. P<0.05 was considered statistically significant.

**Results** After six weeks of exercises, static and dynamic balance, angle replication errors in inversion and eversion, ankle inversion, and strength of invertors, evertors, plantar flexors, and dorsiflexors at angular velocities of 60 and 120°/s were significantly improved in the experimental group (P<0.05).

**Conclusion** It seems that performing neuromuscular exercises improves the balance, ankle proprioception, and ankle muscle strength in women with CAI. Therefore, neuromuscular exercises are recommended in the rehabilitation process of these women.

**Keywords** Neuromuscular exercises, Chronic ankle instability, Balance, Proprioception, Muscle strength

Received: 07 May 2024

Accepted: 29 Jul 2024

Available Online: 20 Jan 2025

\* Corresponding Author:

Gholamali Ghasemi

Address: Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Tel: +98 (31) 37932573

E-Mail: [gh.ghasemi@spr.ui.ac.ir](mailto:gh.ghasemi@spr.ui.ac.ir)



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

## Extended Abstract

### Introduction

**C**hronic ankle instability (CAI) is a common issue among active people, characterized by perceptions of the ankle frequently giving way, resulting in symptoms such as pain, weakness, reduced range of motion, and decreased function. The CAI can affect the sensory-motor system and cause deficits in postural control, proprioception, and muscle strength. To address CAI, various exercises such as balance, resistance, proprioception and sensory-motor exercises have been proposed. However, the effectiveness of these methods in rehabilitating CAI remains uncertain. Given the deficits in static and dynamic balances, proprioception, and muscle strength caused by CAI, a comprehensive neuromuscular exercise protocol that targets all functional movement factors in each session may offer better results compared to single-factor exercise programs. In this regard, this study aims to investigate the impact of a six-week comprehensive neuromuscular exercise program on static balance, dynamic balance, ankle proprioception, and isokinetic ankle muscle strength of women with CAI.

### Materials and Methods

This is a quasi-experimental study with a pre-test/post-test design. Participants were 24 active women with CAI in Isfahan, Iran. They were selected purposefully based on the inclusion criteria and after signing the consent form. The inclusion criteria were at least 90 minutes of physical activity per week, age 20-40 years, consent to participate in the study, no medical limitations for participation in the exercise program, a history of unilateral ankle sprain at least 6 months prior to the study that resulted in pain and functional impairment, history of perceiving the ankle giving way for at least two times or minor ankle sprain in the past 6 months, a score  $\leq 24$  in the Cumberland ankle instability tool. The exclusion criteria were unwillingness to continue participation in the study, irregular attendance in training sessions (absence from 3 consecutive sessions or 5 non-consecutive sessions), not completing the assessments, and any unpredictable problem hindering the individual's participation in the study.

Before and after the intervention, static balance (single-leg stance test on a force plate), dynamic balance (Y-balance test), ankle joint proprioception, and plantar flexion, dorsiflexion, inversion, and eversion strength of the ankle muscles (using an isokinetic dynamometer; Biodex System 3 Pro) were evaluated. The participants in the exer-

cise group performed neuromuscular exercises for six weeks, five sessions per week, each for one hour. During this period, the control group was asked to continue their daily activities and not engage in any other rehabilitation program. Data analysis was conducted using mixed analysis of variance  $P < 0.05$  was considered statistically significant.

### Results

The results indicated that after six weeks of exercises, static and dynamic balance, angle replication errors in inversion and eversion, ankle inversion and strength of invertors, evertors, plantar flexors, and dorsiflexors at angular velocities of 60 and 120°/s were significantly improved in the experimental group ( $P < 0.05$ ).

### Conclusion

It seems that performing neuromuscular exercises improves the balance, ankle proprioception, and ankle muscle strength in women with CAI. Therefore, neuromuscular exercises are recommended in the rehabilitation process of these women.

### Ethical Considerations

#### Compliance with ethical guidelines

Ethical approval was obtained from the Research Ethics Committee of the [University of Isfahan](#), Isfahan, Iran (Code: IR.UI.REC.1402.036). All ethical principles such as the informed consent of the participants, their confidentiality, and their rights to leave the study were considered.

#### Funding

This study was extracted from the master's thesis of the Negin Aghili at the Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, [University of Isfahan](#), Isfahan, Iran.

#### Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Acknowledgments

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



مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات عصبی عضلانی شش هفته ای بر تعادل، حس عمقی مچ پا و قدرت عضلانی مچ پا زنان مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا

نگین عقیلی<sup>۱</sup>، غلامعلی قاسمی<sup>۱</sup>، حامد اسماعیلی<sup>۱</sup>

۱. گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

Use your device to scan and read the article online



**Citation** Aghili N, Ghasemi GH, Esmaeili H. Effect of a Six-week Neuromuscular Exercise Program on Balance, Ankle Proprioception and Ankle Muscle Strength of Women With Chronic Ankle Instability. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 13(6):1078-1093. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.6.3270>

**doi** <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.6.3270>

چکیده

مقدمه و اهداف پیچ‌خوردگی مچ پا یکی از رایج‌ترین آسیب‌ها در میان افراد فعال است که به دنبال آن فرد ممکن است به بی‌ثباتی مزمن مچ پا دچار شود. هدف از این تحقیق، مطالعه تأثیر ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی بر تعادل ایستا و پویا، حس عمقی و قدرت عضلانی زنان مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا بود.

مواد و روش‌ها در این مطالعه نیمه‌تجربی ۲۴ نفر از زنان دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا (سن ۱۰/۱±۷/۲۹، قد ۱۶۳±۴، وزن ۶۱/۶۴±۹) به صورت هدفمند انتخاب شدند و به صورت تصادفی جفت‌شده (بر اساس نمره پرسش‌نامه کامبرلند) در ۲ گروه آزمایش و کنترل جای گرفتند. قبل و بعد از مداخله ۶ هفته‌ای متغیرهای تعادل ایستا و پویا، حس عمقی مچ پا، قدرت عضلات اینور توره، اور توره، دورسی فلکسور و پلنتار فلکسور به ترتیب توسط روی فوت اسکن، آزمون تعادل Y و دستگاه ایزو کینتیک بایودکس (مدل 3pro) ارزیابی شدند. آزمودنی‌های گروه آزمایش، تمرینات عصبی عضلانی را به مدت ۶ هفته هر هفته ۵ جلسه ۱ ساعته انجام دادند. در مدت مشابه از آزمودنی‌های گروه کنترل خواسته شد به فعالیت‌های روزمره خود ادامه دهند و در برنامه توان‌بخشی دیگری شرکت نکنند.

یافته‌ها به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از تحلیل واریانس طرح مختلط استفاده شد ( $P < 0/05$ ) نتایج نشان داد پس از ۶ هفته اعمال مداخله در گروه آزمایش، تعادل ایستا و پویا، خطای بازسازی زاویه اینورژن و اورژن مچ پا و قدرت عضلات اینور توره، اور توره، پلنتار فلکسور و دورسی فلکسور به طور معناداری بهبود یافت ( $P < 0/05$ ).

نتیجه‌گیری بر اساس یافته‌های این مطالعه به نظر می‌رسد انجام تمرینات عصبی عضلانی باعث بهبود پارامترهای اندازه‌گیری شده در زنان مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شود. این تأثیرات در گروه آزمایش قابل ملاحظه بود. در نتیجه می‌توان انجام تمرینات عصبی عضلانی را در فرایند توان‌بخشی توصیه کرد.

کلیدواژه‌ها تمرینات عصبی عضلانی، بی‌ثباتی مزمن مچ پا، عملکرد حرکتی، تعادل، حس عمقی، قدرت عضلات مچ پا، ایزو کینتیک زنان غیر ورزشکار

تاریخ دریافت: ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۰۸ مرداد ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۰۱ بهمن ۱۴۰۳

\* نویسنده مسئول:

غلامعلی قاسمی

نشانی: اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم ورزشی، گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی.

تلفن: ۳۷۹۳۲۵۷۳ (۳۱) ۹۸+

رایانامه: gh.ghasemi@spr.ui.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s);

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

## مقدمه و اهداف

در بروز آسیب بوده‌اند؛ بنابراین تقویت عضلات مچ پا و لگن باید در برنامه بازتوانی این افراد مورد توجه قرار گیرد. تعادل از دیگر عوامل درونی اثرگذار است و نقص در تعادل ایستا و پویا منجر به آسیب مچ پا می‌شود. عوامل بیرونی شامل نوع فعالیت بدنی و ورزش است. ورزشکاران رشته‌های رقابتی، مانند بسکتبال و والیبال بیشتر در معرض این آسیب هستند. کینماتیک آسیب از دیگر عوامل بیرونی است و اینورژن مچ پا در اولین تماس با زمین وضعیتی است که منجر به آسیب رباط خارجی مچ پا می‌شود. به این منظور تمرین‌هایی که کنترل وضعیت مچ و کف پا را به چالش می‌کشند توصیه شده است [۷].

نقص در تعادل ایستا و پویا بعد از آسیب مچ پا منجر به پیچ‌خوردگی مجدد می‌شود. در مقایسه با تعادل ایستا، تعادل پویا بهتر می‌تواند نشان‌دهنده توانایی عملکردی به‌خصوص در میان افراد فعال باشد. پیچ‌خوردگی مزمن اثرات مخربی بر سیستم حسی حرکتی دارد و منجر به نقص در تعادل و کنترل پاسچر می‌شود. علاوه بر ساختار لیگامنت‌ها، گیرنده‌های مکانیکی زیادی که حس وضعیت مفصل و حرکت، بازخورد کشش و فشار مفصل را فراهم می‌کنند، در مفصل طی پیچ‌خوردگی مچ پا آسیب می‌بینند. اطلاعات مربوط به کنترل پاسچر و هماهنگی از طریق نورون‌های آوران به سیستم عصبی مرکزی آورده می‌شود و در آنجا توسط سیستم وستیبولار و بینایی پردازش می‌شود. بعد از آسیب این اطلاعات تغییر می‌کنند و این تغییر منجر به بی‌ثباتی مفصل، نقص در عملکرد و افزایش ریسک پیچ‌خوردگی مکرر می‌شود [۸]. نتایج تحقیق دوهرتی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد افرادی که ۶ ماه از اولین پیچ‌خوردگی مچ پایشان گذشته همچنان نقص در تعادل پویا را حین اجرای اعمال عملکردی در هر دو پا تجربه می‌کنند. به علاوه فاصله دستیابی کمتری در تست تعادل ستاره نسبت به افراد سالم دارند [۹]. کمبود حس عمقی مچ پا یکی از ریسک‌فاکتورهای درونی مرتبط با آسیب مچ پا است. حس عمقی نقش مهمی در کنترل تعادل دارد. به‌طور کلی، اطلاعات حس عمقی کل بدن در کنترل تعادل نقش دارند. حس عمقی مچ پا شاید یکی از مهم‌ترین اجزای کنترل تعادل در ورزش باشد، زیرا در طول اغلب فعالیت‌های ورزشی تنها بخشی از بدن که با زمین در ارتباط است مجموعه مچ و پا است. حس عمقی مچ پا اطلاعات ضروری مربوط به تنظیم وضعیت مچ پا و حرکات بالا تنه را فراهم می‌کند تا فرد بتواند اجرای حرکتی مناسبی داشته باشد. حس عمقی مچ پا ممکن است با تمرین، آسیب و خستگی تغییر کند و در نتیجه تعادل را تحت تأثیر قرار دهد. آسیب‌های مچ پا با صدمه به عضلات و تاندون‌ها موجب آسیب گیرنده‌های مکانیکی موجود در مچ پا می‌شود و این امر موجب تغییر کیفیت اطلاعات حس عمقی خواهد شد که برای تعادل مورد نیاز است. ورزشکاران با حس عمقی ضعیف‌تر بعد از آسیب، عملکرد بدتری در تست‌های تعادل ایستا و پویا از خود نشان می‌دهند. به علاوه، کمبود حس عمقی مچ پا هم در مچ پای

پیچ‌خوردگی مچ پا از شایع‌ترین آسیب‌ها میان افراد فعال است. طبق مطالعات شیوع‌سنجی سالانه ۲ میلیون پیچ‌خوردگی حاد مچ پا در ایالات متحده رخ می‌دهد [۱]. در اکثر پیچ‌خوردگی‌ها قسمت خارجی مچ پا آسیب می‌بیند، زیرا رباط خارجی در مقایسه با دیگر رباط‌های مچ پا توانایی تحمل بار کمتری دارد [۲]. به دنبال پیچ‌خوردگی مچ پا آسیب مجدد، درد و افت عملکرد رخ می‌دهد. این موارد موجب شده که این آسیب به‌عنوان یک مسئله سلامت عمومی در نظر گرفته شود. بی‌ثباتی مزمن مچ پا به شرایطی گفته می‌شود که مچ پا دائماً خالی می‌کند، علائمی مانند درد، ضعف، کاهش دامنه حرکت مچ پا و افت عملکرد مشاهده می‌شود و پیچ‌خوردگی‌های مکرر بعد از اولین آسیب وجود دارد [۳]. گریبل و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند بیش از ۴۶ درصد از افرادی که دچار پیچ‌خوردگی حاد مچ پا شده‌اند در دوره کوتاهی بعد از آسیب اولیه مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شوند [۴]. بی‌ثباتی مزمن مچ پا عموماً موجب نقص در حس عمقی، تعادل، الگوی حرکتی و ضعف عضلانی می‌شود [۵]. در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا به‌واسطه آسیب گیرنده‌های مکانیکی، کنترل عصبی عضلانی دچار تغییراتی می‌شود. سیستم عصبی مسئول کنترل وضعیت بدن و حرکاتی است که در مکانیسم فیدبکی<sup>۱</sup> و فیدفورواودی<sup>۲</sup> رخ می‌دهد. ثبات پویای مفصل مچ پا توسط مکانیسم فیدفوروارد کنترل می‌شود، این مکانیسم از حس‌های بینایی، شنوایی، لامسه، تجارب حرکتی و الگوهای درونی به‌منظور حفظ وضعیت بدن استفاده می‌کند [۶].

پیچ‌خوردگی مچ پا مانند سایر آسیب‌های عضلانی اسکلتی دارای ریسک‌فاکتورهای درونی و بیرونی است که شناخت آن‌ها به برنامه‌ریزی مناسب روند درمان و پیشگیری از آسیب مجدد کمک می‌کند. ریسک‌فاکتورهای درونی عبارت‌اند از: سن (جوانان بیشتر در معرض این آسیب هستند)، جنسیت (زنان بیشتر از مردان)، ترکیب بدنی (افراد مبتلا به اضافه‌وزن بیشتر در معرض پیچ‌خوردگی مچ پا هستند)، پیشینه آسیب (در افراد با سابقه پیچ‌خوردگی مچ پا احتمال آسیب ۲ برابر بیشتر است). تحقیقات نشان می‌دهد بسیاری از افرادی که دچار پیچ‌خوردگی مچ پا شده‌اند مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شوند، بنابراین پیشنهاد می‌شود افراد با پیشینه پیچ‌خوردگی مچ پا برنامه تمرینی خاص و هدفمندی جهت کاهش ریسک آسیب مجدد دنبال کنند. آمادگی بدنی از دیگر ریسک‌فاکتورهای درونی است و افراد با قدرت ناکافی عضلات مچ پا و لگن بیشتر در معرض این آسیب هستند. طبق پژوهش‌های انجام‌شده، عدم تقارن قدرت ایزوکینتیک برون‌گرای عضلات دورسی فلکسور و پلنٹار فلکسور و کاهش قدرت اکستنسوری عضلات لگن، از جمله موارد اثرگذار

1. Feedback
2. Feedforward

از ریسک فاکتورهای پیچ خوردگی مچ پا است، تمرینات مقاومتی بخش جدانشدنی برنامه‌های بازتوانی هستند. تمرینات مقاومتی عضلات مچ و پا می‌تواند موجب افزایش قدرت عضلانی و بهبود عملکرد حرکتی شود [۱۴]. تمرینات پلیومتریک نوعی از تمرینات پرشدت هستند که از طریق انقباضات متمادی کانسنتریک<sup>۵</sup> و اکسنتریک<sup>۶</sup> موجب تقویت قدرت عضلانی می‌شود؛ لی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی نشان دادند این تمرینات بر بهبود حس عمقی، قدرت عضلانی و کاهش نوسانات قامت و تغییر کینتیک و کینماتیک فرود اثرگذار است [۱۵]. تمرینات حس عمقی با اصلاح الگوهای عصبی عضلانی بعد از آسیب به بالا بردن سطح فعالیت، بدون افزایش درد، التهاب و ریسک مجدد کمک می‌کند [۱۶]. مطالعات نشان می‌دهند افراد دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا با زاویه اینورژن بیشتری قبل و بعد از ضربه پاشنه راه می‌روند و می‌دوند که این تغییر وضعیت مرتبط با تغییر کنترل عصبی عضلانی در این افراد است. از آنجاکه هدف اصلی برنامه‌های بازتوانی بهبود کنترل حرکتی است، بنابراین در این برنامه‌ها، توان بخشی باید بر بازگشت و بهبود توانایی‌های عصبی عضلانی متمرکز شود. مجموعه تمرینات عصبی عضلانی موجب بهبود هماهنگی بین سیستم عصبی و سیستم عضلانی می‌شود و تمرکز ویژه بر هماهنگی، ثبات و کنترل حرکتی دارد. اجزای این تمرینات شامل تمرینات تعادلی ایستا و حس عمقی است که ثبات و آگاهی بدنی<sup>۷</sup> را به چالش می‌کشند، تمرینات تعادلی پویا و چابکی به منظور بهبود کنترل و تعادل در تغییر وضعیت، تمرینات ثبات مرکزی، عملکردی و مقاومتی به منظور تقویت عضلات و مفاصل جهت اجرای بهینه اعمال حرکتی است. مزایای تمرینات عصبی عضلانی شامل پیشگیری و بازتوانی از آسیب، بهبود اجرای ورزشی و آمادگی جسمانی هستند [۱۷]. برنامه جامع تمرینات عصبی عضلانی همه‌جانبه، منسجم و پیش‌رونده است، به صورتی که تمرینات دامنه حرکتی، تعادلی ایستا و پویا، مقاومتی، پلیومتریک، سرعت و چابکی را دربر می‌گیرد [۱۸]. باتوجه به وجود نقص در تعادل ایستا، تعادل پویا، حس عمقی و قدرت عضلانی در مبتلایان به بی‌ثباتی مزمن مچ پا و نبود یک رویکرد تمرینی بهینه جهت توان بخشی این افراد، به نظر می‌رسد استفاده از پروتکل تمرینات جامع عصبی عضلانی که کلیه عوامل عملکردی حرکت را در هر جلسه مدنظر قرار می‌دهد نسبت به برنامه‌های تمرینی تک‌عاملی برتری دارد و در زمان کوتاه‌تری اهداف توان بخشی قابل‌وصول است. بنابراین باتوجه به کارایی این تمرینات، هدف تحقیق حاضر مطالعه تأثیر ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی جامع بر تعادل ایستا، تعادل پویا، حس عمقی و قدرت عضلانی ایزوکینتیک زنان مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا است.

آسیب‌دیده و هم در مچ پای سالم مشاهده می‌شود [۱۰]. یکی از پیامدهای بی‌ثباتی مزمن مچ پا کاهش قدرت عضلات این ناحیه است. در مبتلایان به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، کاهش قدرت عضلانی گزارش شده است. در مطالعه مروری اخیر عنوان شد گشتاور اکسنتریک و کانسنتریک اینورتورهای مچ پا در سرعت‌های زاویه‌ای ۶۰ و ۱۲۰ در افراد آسیب‌دیده کمتر از افراد سالم بوده است. همچنین در تمامی سرعت‌های زاویه‌ای ۹۰، ۱۲۰ و ۶۰ و ۳۰ گشتاور کانسنتریک و اکسنتریک اورتورهای مچ پا کمتر از افراد سالم بود [۱۱].

به دلیل شیوع بالای بی‌ثباتی مزمن مچ پا و مشکلاتی که متعاقب آن ایجاد می‌شود، تلاش‌های زیادی جهت ارائه تکنیک مناسب درمان شده است. به‌طور کلی روش‌های درمان آسیب‌های مچ پا در ۴ طبقه جای می‌گیرند: ۱. درمان سنتی شامل بی‌حرکتی با گچ و آتل‌بندی به همراه دارودرمانی؛ ۲. درمان فانکشنال<sup>۸</sup>، شامل موبیلیزیشن<sup>۹</sup> اولیه و تمرینات درمانی به همراه استفاده از حمایتگر خارجی مانند بریس به منظور حفاظت از مفصل حین انجام تمرینات درمانی؛ ۳. جراحی؛ ۴. درمان‌های مکمل، شامل طب سوزنی و تحریک الکتریکی. از آنجاکه از دست دادن دامنه حرکتی بهینه مچ پا از ریسک فاکتورهای بی‌ثباتی مزمن مچ پا است، بازایی دامنه حرکتی مچ پا و پیشگیری از خشکی مفصل از اهداف اصلی برنامه‌های بازتوانی هستند. تمرینات فانکشنال نوعی از تمرینات هستند که بر شبیه‌سازی فعالیت‌های روزمره متمرکز هستند. در اجرای این تمرینات گروه‌های عضلانی به‌صورت هم‌زمان درگیر می‌شوند، بنابراین اجرای این تمرینات می‌تواند به بهبود توانایی بدن در اجرای اعمال روزانه، تعادل و هماهنگی، پیشگیری از آسیب و بهبود اجرای ورزشی کمک کند [۱۲]. بنابراین روش درمانی فانکشنال نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد. مداخلات تمرینی متنوعی اعم از تمرینات تعادلی، مقاومتی، حس عمقی، حسی حرکتی و غیره وجود دارد، اما برتری این روش‌ها نسبت به یکدیگر در توان بخشی بی‌ثباتی مزمن مچ پا مشخص نیست [۲]. تمرینات تعادلی، نوعی از تمرینات پیش‌رونده هستند که هم در سطح پایدار و هم در سطح ناپایدار انجام می‌شوند. این تمرینات باعث تغییراتی در نورون‌های حرکتی آلفا می‌شوند و برای بهبود تحریک‌پذیری عضلات مفصل مچ پا و افزایش کنترل حرکتی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا استفاده شده‌اند، این تمرینات از اجزای مهم برنامه‌های مداخله‌ای پیشگیری و بهبود پیچ‌خوردگی خارجی حاد و مزمن مچ پا هستند [۶]. در مطالعه مروری کازانوا و همکاران (۲۰۲۱)، نتایج نشان داد تمرینات تعادلی در مقایسه با تمرینات سنتی به‌طور قابل توجهی موجب بهبود عملکرد مچ پا، ثبات و تعادل پویا در مبتلایان به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شود [۱۳]. از آنجاکه ضعف عضلانی بی‌ثباتی مزمن مچ پا همراه است و کمبود قدرت عضلانی یکی

5. Concentric  
6. Eccentric  
7. Body awareness

3. Functional  
4. Mobilization

معیارهای ورود به تحقیق: داشتن حداقل ۱ ساعت و نیم فعالیت بدنی در هفته، دامنه سنی ۲۰ تا ۴۰ سال، رضایت داوطلبانه جهت شرکت در پژوهش، نداشتن منع پزشکی برای مشارکت در برنامه تمرینی، سابقه پیچ خوردگی یک طرفه مچ پا حداقل ۶ ماه قبل از مطالعه که منجر به درد و افت عملکرد شده باشد، سابقه حداقل ۲ مرتبه خالی شدن یا پیچ خوردگی جزئی مچ پا در ۶ ماه اخیر، اخذ نمره ۲۴ یا کمتر از پرسش نامه بی ثباتی مزمن مچ پای کامبرلند. معیارهای خروج از تحقیق: انصراف داوطلبانه از ادامه مشارکت در پژوهش، شرکت نامنظم در جلسات تمرینی (۳ جلسه متوالی یا ۵ جلسه غیرمتوالی)، عدم تکمیل آزمون های تحقیق، بروز هرگونه مشکل غیرقابل پیش بینی که مانع شرکت فرد در روند تحقیق شود.

پس از انتخاب آزمودنی ها در مرحله پیش آزمون از آزمودنی ها خواسته شد جهت اندازه گیری قد، وزن، تعادل ایستا، تعادل پویا، حس عمقی و قدرت عضلانی در روزها و ساعات تعیین شده به محل آزمایشگاه مراجعه کنند. بعد از جمع آوری اطلاعات پیش آزمون از آزمودنی های گروه آزمایش خواسته شد به مدت ۶ هفته در برنامه جامع تمرینات عصبی عضلانی شرکت کنند و به آزمودنی های گروه کنترل توصیه شد به فعالیت های روزمره خود ادامه دهند. در پایان دوره ۶ هفته ای از هر دو گروه آزمایش و کنترل پس آزمون به عمل آمد و اطلاعات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

#### اندازه گیری تعادل

تعادل ایستا: به منظور اندازه گیری تعادل ایستا از آزمون ایستادن تک پا روی فوت اسکن (مارک RScan ساخت کشور بلژیک با ابعاد ۶۰ در ۴۰ سانتی متر) استفاده شد. به این منظور از آزمودنی ها خواسته شد ۲۰ ثانیه تک پا روی فوت اسکن بایستند (تصویر شماره ۱) و ۳ مرتبه آزمون را تکرار کنند و میانگین داده های نوسانات قامت جهت تحلیل استفاده شد [۱۹].

تعادل پویا: به منظور اندازه گیری تعادل پویا از آزمون میدانی تعادل Y استفاده شد. در این آزمون، آزمودنی روی یک پا ایستاد (پای آسیب دیده) و سعی کرد با پنجه پای دیگر در ۳ جهت

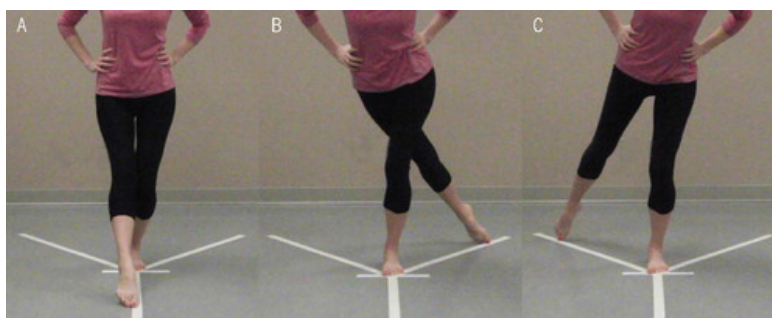


تصویر ۱. ایستادن تک پا روی فوت اسکن

#### طب توانبخشی

#### مواد و روش ها

تحقیق حاضر از نوع نیمه آزمایشی با طرح تحقیق پیش آزمون پس آزمون در ۲ گروه کنترل و آزمایش است. این تحقیق در تابستان سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه علوم ورزشی دانشگاه اصفهان انجام شد. جامعه آماری تحقیق حاضر، شامل زنان غیرورزشکار و فعال (داشتن حداقل ۱ ساعت و نیم فعالیت بدنی در هفته) دارای بی ثباتی مزمن مچ پا در شهر اصفهان بودند. برای مشخص کردن حداقل تعداد نمونه از نرم افزار برآورد حجم نمونه (G\*power) برای توان آزمون ۰/۹۵، اندازه اثر ۰/۸ و سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده و تعداد کل ۲۴ نفر تعیین شد. شرکت کنندگان پس از انتخاب اولیه به صورت تصادفی جفت شده و براساس نمره پرسش نامه بی ثباتی مچ پای کامبرلند در دو گروه آزمایش (n=۱۲) و کنترل (n=۱۲) جای گرفتند. نمونه آماری آزمودنی ها به صورت هدفمند، براساس معیارهای ورود به تحقیق و پس از تکمیل فرم رضایت نامه شرکت در تحقیق انتخاب شدند.



تصویر ۲. آزمون تعادل Y

#### طب توانبخشی

استفاده شد و تست به صورت غیرفعال و با ۳ بار تکرار انجام شد (تصویر شماره ۳). در طول تست گیری از آزمودنی خواسته شد چشمان خود را بسته نگه دارد [۲۱].

### اندازه گیری قدرت ایزوکینتیک عضلات مچ پا

برای اندازه گیری قدرت پلننار فلکشن، دورسی فلکشن، اینورژن و اورژن مچ پا از دستگاه ایزوکینتیک بایودکس مدل 3pro استفاده شد. در زمان تست گیری فرد روی صندلی با زاویه پشت ۳۰ درجه نشست و پا را در محل تعیین شده قرار داد؛ به طوری که زاویه زانو ۲۰ تا ۳۰ درجه و هم راستای مرکز مچ پا باشد. سپس مچ پا، ران و تنه فیکس می شد. برای سنجش قدرت کانسنتریک عضلات از سرعت های زاویه ای ۶۰ و ۱۲۰ استفاده شد و حرکت در هر سرعت ۵ بار اجرا شد (تصویرهای شماره ۴ و ۵) [۲۱].

### پروتکل تمرینی

آزمودنی ها در برنامه تمرینات باز توانی ۶ هفته ای (۵ جلسه در هر هفته) شرکت کردند. برنامه تمرینی، شامل تمرینات دامنه حرکتی، ثباتی، قدرتی، پلیومتریک، سرعتی و چابکی بود. هر جلسه تمرینی ۱ ساعت به طول انجامید و شامل فازهای گرم کردن، بخش اصلی تمرین و سرد کردن بود. برنامه تمرینات به صورت پیش رونده طراحی شد تا شرکت کنندگان در هر هفته تغییر در شدت و حجم تمرین را تجربه کنند. جلسات تمرینی با نظارت محقق برگزار شد تا از اجرای صحیح پروتکل تمرینی اطمینان حاصل شود (۱۹). در جدول شماره ۱ کلیات پروتکل تمرینی تجزیه و تحلیل آماری آورده شده است.

در پژوهش حاضر به منظور خلاصه سازی و توصیف مشخصات فردی و متغیرها از روش های آمار توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار و درصد تغییرات استفاده شد. جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده ها از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل استنباطی داده ها از آزمون تحلیل واریانس طرح



شکل ۵. اندازه گیری حداکثر گشتاور اینورتوری و اورتوری



### طب توانبخشی

### تصویر ۳. اندازه گیری خطای زاویه بازسازی اینورژن و اورژن مچ پا

قدامی، خلفی داخلی و خلفی خارجی دورترین نقطه را لمس کند (تصویر شماره ۲). هر چه فاصله مبدأ تا نقطه لمس نسبت به طول پای آزمودنی بیشتر باشد فرد تعادل بهتری دارد [۲۰].

### اندازه گیری حس عمقی

برای اندازه گیری حس عمقی اینورژن و اورژن مچ پا از دستگاه ایزوکینتیک بایودکس 3pro استفاده شد. در زمان تست گیری فرد بر روی صندلی با زاویه پشت ۳۰ درجه نشست و پا را در محل تعیین شده قرار داد. به طوری که زاویه زانو ۲۰ تا ۳۰ درجه و هم راستای مرکز مچ پا باشد. سپس مچ پا، ران و تنه فیکس شد. برای تست گیری حس عمقی اینورژن و اورژن مچ پا از زاویه هدف ۱۵ درجه اینورژن و ۱۰ درجه اورژن با سرعت ۵ درجه بر ثانیه



### طب توانبخشی

شکل ۴. اندازه گیری حداکثر گشتاور دورسی فلکسوری و پلننار فلکسوری



## جدول ۱. پروتکل تمرینی.

دامنه حرکتی	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	هفته ششم
ثبات پاسجرال ایستا	ایستادن تک پا روی کوشن بال (۳ دقیقه)	ایستادن تک پا روی تخته تعادل (۳ دقیقه)	ایستادن تک پا روی بوس بال (۳ دقیقه)	ایستادن تک پا و همزمان لگد زدن در برابر مقاومت (۳×۱۰)	اسکوات تک پا روی بوس بال (۳ دقیقه)	ایستادن تک پا روی بوس بال همزمان با دریافت و پاس توپ (۳ دقیقه)
ثبات پاسجرال پویا	لاتگز به جلو ۳ ست × ۱۰ تکرار	لاتگز جانبی (۳×۱۰)	هایپنگ <sup>۱</sup> تک پا به جلو (۳×۱۲)	هایپنگ تک پا به پهلو (۳×۱۲)	هایپنگ تک پا روی بوس بال (۳×۱۲) - ۱۰ ثانیه حفظ ثبات در هر تکرار	هایپنگ جانبی تک پا روی بوس بال (۳×۱۲) - ۱۰ ثانیه حفظ ثبات در هر تکرار
مقاومتی	بالا آوردن پاشنه دو پا <sup>۲</sup> (۳×۱۲) پل باسن (۲×۱۰) صدف <sup>۳</sup> (هر سمت ۲×۱۰)	دورسی فلکشن و اورژن میچ با کش مقاومتی سبک (۳×۱۲)	بالا آوردن پاشنه تک پا (۳×۱۲) پل باسن تک پا (۲×۱۰) پل باسن شکل چهار انگلیسی <sup>۴</sup> (۲×۱۰) - هر سمت	دورسی فلکشن و اورژن میچ با کش مقاومتی متوسط (۳×۱۲)	بالا آوردن پاشنه تک پا در برابر مقاومت (۱۰-۲۰ کیلوگرمی) اسکوات گام به پهلو با مینی لوپ (۲×۱۰ هر سمت)	دورسی فلکشن و اورژن میچ با کش مقاومتی سنگین (۳×۱۲)
پلیومتریک	تاک جامپ <sup>۵</sup> (۳×۱۲)	پرش طول (۳×۱۲)	تاک جامپ ۱۸۰ درجه (۳×۵ هر جهت)	هایپنگ ۹۰ درجه در جهت و خلاف جهت ساعت (۳×۱۰)	پرش پهلو جفت پا از روی مانع کوتاه (۳×۱۲)	پرش پهلو تک پا از روی مانع کوتاه (۳×۱۲)
سرعت و چابکی	دویدن شکل ۸ انگلیسی دور مانع (۱۰ دقیقه در هر دو جهت)	دویدن به جلو نردبان چابکی (۱۰ متر، ۱۰ تکرار)	نردبان چابکی: دویدن به پهلو (۱۰ متر، ۱۰ تکرار در هر جهت)	نردبان چابکی: هایپنگ جانبی (۱۰ متر، ۱۰ تکرار در هر جهت)	نردبان چابکی: هایپنگ اسکی بازان (۱۰ متر، ۱۰ تکرار، ۲ ست)	شاتل ران جانبی (۱۰ متر، ۱۰ تکرار، ۲ ست)

## طب توانبخشی

1. Forward lunges
2. Hopping
3. Double-leg heel raises
4. Side-lying clam-shell
5. Figure 4 gluteus mediums
6. Tuck jump

این مطالعه هریک از متغیرهای وابسته در ابتدا و انتهای دوره زمانی ۶ هفته‌ای در هر دو گروه از آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. در **جدول شماره ۲**، ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان آورده شده است.

نتایج تحلیل آزمون تی مستقل نشان داد این گروه‌ها از نظر سن ( $P=0/738$ )، قد ( $P=0/111$ )، وزن ( $P=0/308$ )، شاخص توده بدنی ( $P=0/990$ ) و نمرات پرسش‌نامه کامبرلند ( $P=0/417$ ) تفاوت معناداری با هم نداشتند. بنابراین می‌توان ۲ گروه را از

مختلط استفاده شد. برای بررسی اثرات تمرین و زمان از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. کلیه تحلیل‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

## یافته‌ها

در این تحقیق ۲۴ نفر از زنان مبتلا به بی‌ثباتی مزمن میچ‌پا، پس از ارزیابی براساس معیارهای ورود و خروج از تحقیق، در قالب ۲ گروه تمرینات عصبی-عضلانی و گروه کنترل شرکت کردند. در

## جدول ۲. سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی شرکت‌کنندگان

متغیر	گروه آزمایش (۱۲ نفر)	گروه کنترل (۱۲ نفر)
سن (سال)	۲۹/۶±۷/۸۳	۲۸/۶±۶/۵۸
قد (متر)	۱/۶۵±۰/۰۵	۱/۶۰±۰/۰۲
وزن (کیلوگرم)	۶۶/۱±۱۰/۰۳	۶۲/۰±۸/۸۰
شاخص توده بدنی	۲۴/۱±۲/۸۸	۲۴/۱±۳/۴۰

## طب توانبخشی

جدول ۳. نتایج توصیفی و تحلیل واریانس طرح مختلط داده‌های نوسانات مرکز فشار (میلی‌متر) حین ایستادن تک پا در ۲ گروه. مقایسه‌های بین ۲ گروه و بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون آورده شده است. (مقادیر P با اصلاح بنفرونی گزارش شده است).

متغیر	نوبت آزمون	میانگین ± انحراف معیار		اثر زمان	اثر زمان × گروه
		گروه تمرینات عصبی عضلانی	گروه کنترل		
تعادل ایستا	پیش‌آزمون	۸۹۳±۱۸۹	۸۴۸±۲۸۰	F=۰/۰۰۷ P=۰/۹۳۱	F=۷۶/۷۷ P=۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۶۵۳±۱۶۶	۱۰۸۲±۲۲۱		
		t=۶/۲۵۸ P=۰/۰۰۱	t=۲/۱۲۷ P=۰/۲۵۷		

طب توانبخشی

بحث

حیث جمعیت شناختی، همگن و متجانس در نظر گرفت.

هدف از مطالعه حاضر بررسی اثربخشی ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی بر تعادل ایستا و پویا، حس عمقی و قدرت ایزوکینتیک عضلات مچ پا در زنان مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا بود. نتایج تحقیق بیانگر آن است که انجام ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی به منظور بهبود فاکتورهای عملکردی ذکر شده مؤثر بوده است.

در جدول‌های شماره ۳، ۴، ۵ به ترتیب نتایج توصیفی و تحلیل واریانس طرح مختلط متغیرهای تعادل ایستا، تعادل پویا، حس عمقی و قدرت عضلانی ۲ گروه در پیش‌آزمون و پس‌آزمون ارائه شده است. نتایج آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها نشان داد تمام داده‌ها از توزیع طبیعی برخوردارند.

آنچه از تحقیقات پیشین به دست می‌آید بیانگر این نکته است که پیچ‌خوردگی مچ پا در اکثر موارد منجر به نقص در کنترل حسی حرکتی [۹]، حس عمقی [۲۲] و قدرت عضلانی [۲۳] می‌شود که این کمبودها می‌تواند منجر به بی‌ثباتی مزمن مچ پا شده و ریسک آسیب مجدد را افزایش دهد [۲۴]. در مطالعه حاضر تعادل ایستا پس از انجام ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی بهبود یافت. این نتایج با یافته‌های تحقیق سو و همکاران که گزارش کردند ترکیب تمرینات تعادلی و مقاومتی موجب بهبود عملکرد تعادلی مبتلایان به بی‌ثباتی مزمن مچ پا شده هم‌راستا

نتایج آزمون بعد از ۶ هفته نشان داد بین گروه تمرینات عصبی عضلانی و گروه کنترل در متغیرهای تعادل ایستا و پویا، خطای بازسازی زاویه اینورژن و اورژن مچ پا و قدرت عضلات اینورتور، اورتور، پلنتار فلکسور و دورسی فلکسور تفاوت معناداری وجود دارد (P<۰/۰۵). بنابراین می‌توان گفت ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی بر بهبود فاکتورهای عملکردی اندازه‌گیری شده مؤثر بوده است.

جدول ۴. نتایج توصیفی و تحلیل واریانس مختلط تعادل ۲ (درصد طول اندام تحتانی)

متغیر	نوبت آزمون	میانگین ± انحراف معیار		اثر زمان	اثر زمان × گروه
		تمرینات عصبی عضلانی	کنترل		
قدامی	پیش‌آزمون	۶۸/۵±۷/۴۶	۶۸/۳±۵/۱۱	F=۴/۷۱ P=۰/۰۴۱	F=۸/۴۰ P=۰/۰۰۸
	پس‌آزمون	۸۰/۸±۱۶/۶	۶۶/۶±۳/۷۹		
		t=۳/۵۸۴ P=۰/۰۰۱	t=۰/۴۹۶ P=۱/۰۰۰		
خلفی - داخلی	پیش‌آزمون	۷۷/۱±۱۲/۰	۶۷/۷±۵/۷۲	F=۹/۷۲ P=۰/۰۰۵	F=۱۴/۷۶ P=۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۹۱/۰±۱۷/۴	۶۶/۳±۵/۹۰		
		t=۴/۹۲۲ P=۰/۰۰۱	t=۲/۳۳۴ P=۰/۱۵۷		
خلفی - خارجی	پیش‌آزمون	۸۱/۸±۱۱/۷	۶۹/۹±۸/۰۳	F=۱۲/۹ P=۰/۰۰۲	F=۱۵/۵ P=۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۹۲/۸±۱۵/۶	۶۹/۴±۸/۵۳		
		t=۵/۳۲۶ P=۰/۰۰۱	t=۲/۶۸۲ P=۰/۰۰۷		

طب توانبخشی

جدول ۵. نتایج توصیفی و تحلیل واریانس طرح مختلط خطای بازسازی زاویه حین اینورژن و اورژن (درجه) و حداکثر گشتاورهای مفصل مچ پا در سرعت‌های زاویه‌ای ۶۰ و ۱۲۰ درجه بر ثانیه (درصد نیوتن بر وزن بدن). مقایسه‌های بین ۲ گروه و بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون آورده شده است (مقادیر P با اصلاح بونفرونی گزارش شده است).

خطای بازسازی زاویه (درجه)				
متغیر	نوبت آزمون	میانگین $\pm$ انحراف معیار		اثر زمان * گروه
		تمرینات عصبی عضلانی	کنترل	
اینورژن	پیش‌آزمون	۲/۸۸ $\pm$ ۱/۵۵	۲/۳۸ $\pm$ ۱/۴۹	F=۱۷/۵۹۶ P=۰/۰۰۱
	پس‌آزمون	۱/۹۴ $\pm$ ۰/۸۶۴	۴/۵۸ $\pm$ ۱/۸۱	f=۰/۲۵۶ P=۰/۶۱۸
		t=۲/۸۳۰ P=۰/۰۴۸	t=۲/۶۰۸ P=۰/۰۹۶	
اورژن	پیش‌آزمون	۲/۰۹ $\pm$ ۱/۱۲	۲/۳۳ $\pm$ ۲/۴۵	F=۱۲/۰ P=۰/۰۰۲
	پس‌آزمون	۲/۰۵ $\pm$ ۱/۰۹	۴/۳۸ $\pm$ ۲/۸۴	F=۱۰/۳ P=۰/۰۰۴
		t=۲/۷۶۶ P=۰/۰۴۵	t=۱/۱۸۷ P=۱/۰۰۰	

### طب توانبخشی

تعادلی ضعیف می‌شود [۲۶]. طبق شواهد موجود تمرینات تعادلی سازگاری‌های نوروفیزیولوژیکی ایجاد می‌کند و از طریق تنظیم رفلکس‌های نخاعی و پاسخ‌های رفلکسی به سیستم عصبی کمک می‌کند تا در وضعیت‌های بدنی متفاوت بهترین پاسخ رفلکسی را برگزیند و از نوسانات ناخواسته مفصل جلوگیری کند و از این طریق موجب بهبود تعادل شود. این سازگاری‌ها همچنین پاسخ‌های رفلکس نخاعی در وضعیت‌های بدنی چالشی را کاهش می‌دهند؛ در نتیجه به کنترل بهتر تعادل و ثبات کمک می‌کنند [۲۹]. طبق شواهد موجود، تمرینات تعادلی (به خصوص تمریناتی که شامل هاپینگ هستند) موجب بهبود ثبات و عملکرد مبتلایان به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شود و استفاده از آن در پروتکل توان‌بخشی پیچ‌خوردگی مچ پا توصیه شده است [۱۳]. در مطالعه حاضر، پروتکل تمرینی شامل تمرینات ثباتی ایستا و پویا روی سطح پایدار و ناپایدار بود، به نظر می‌رسد این تمرینات با ایجاد سازگاری‌های نوروفیزیولوژیکی سبب بهبود ثبات و تعادل شده است.

کاهش خطای بازسازی زاویه اینورژن و اورژن پس از انجام ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی که حاکی از بهبود حس عمقی است با نتایج تحقیقات کینزبورگ و همکاران مبتنی بر اثربخشی تمرینات عصبی عضلانی طولانی مدت بر بهبود حس وضعیت مفصل و عملکرد ورزشکاران با پیشینه پیچ‌خوردگی مچ پا هم‌راستا است [۲۲]. مطالعات نشان داده‌اند در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا آستانه تحمل گیرنده‌های فشار، بالا می‌رود به عبارتی حساسیت خود را از دست می‌دهند و در نتیجه حس وضعیت و حرکت دچار نقص می‌شود. در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا حس وضعیت مفصل مچ پا در اینورژن دچار نقص می‌شود. اطلاعات حس عمقی برای سیستم عصبی به‌منظور کنترل حرکات پایه و مهارتی ضروری است. برای مثال

است [۲۵]. افت عملکرد در حفظ تعادل با کاهش توانایی کنترل مرکز فشار و حفظ توازن حین ایستادن تک پا شناخته می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند، کاهش تعادل می‌تواند ناشی از فاکتورهای متنوعی، از جمله نقص در حس عمقی، کنترل عصبی عضلانی، ضعف عضلانی و کاهش دامنه حرکتی باشد. نقص در فاکتورهای ذکر شده منجر به طولانی شدن زمان عکس‌العمل و افت کنترل پاسچرال در افراد دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شود. نقص در حس عمقی با آسیب گیرنده‌های مکانیکی مفصل و بافت‌های نرم ناحیه مچ پا مرتبط است و منجر به کاهش حس وضعیت مفصل و حرکت می‌شود. همچنین گیرنده‌های مکانیکی آسیب‌دیده، سیگنال‌های نادرستی ارسال می‌کند و با افزایش حرکت خط مرکز ثقل، افزایش سرعت نوسانات قامت و قرارگیری نامناسب محل کف پا، بر توانایی حفظ تعادل تأثیر می‌گذارد [۲۶]. از آنجاکه بازبانی کنترل عصبی عضلانی و حس عمقی پیش‌نیاز بهبود ثبات پاسچرال است [۲۵]. به نظر می‌رسد، در تحقیق حاضر اجرای ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی به‌منظور بازبانی کنترل عصبی عضلانی و افزایش قدرت عضلانی مؤثر بوده و توانسته عملکرد تعادلی آزمودنی‌های گروه آزمایش را بهبود بخشد.

در تحقیق حاضر تعادل پویا پس از انجام ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی بهبود یافت. این نتایج با یافته‌های هاله و مکوئن که گزارش دادند افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا بعد از انجام برنامه تعادلی عملکرد بهتری در تست تعادل Y از خود نشان دادند هم‌راستا است [۲۷، ۲۸]. علت اصلی نقص تعادل در این افراد آسیب گیرنده‌های تاندونی عضلانی<sup>۸</sup> است که مسئول حس وضعیت و حرکت هستند. هنگامی که این گیرنده‌ها آسیب ببینند، سیستم حسی حرکتی نمی‌تواند وضعیت و حرکات مفصل مچ پا را به‌درستی احساس کند که این امر موجب عملکرد

### 8. Musculotendinous

جدول ۶. حداکثر گشتاورهای مفصل مچ پا در سرعت‌های زاویه ای ۶۰ و ۱۲۰ درجه بر ثانیه (درصد نیوتن بر وزن بدن)

متغیر	سرعت زاویه ای	نوبت آزمون	میانگین ± انحراف معیار		اثر زمان	اثر زمان × گروه
			تمرینات عصبی عضلانی	کنترل		
گشتاور اینورتوری	۶۰ درجه بر ثانیه	پیش آزمون	۱۸/۳±۶/۵۳	۱۳/۷±۸/۳۳	F=۱۶/۶ P=۰/۰۰۱	F=۱۳/۵ P=۰/۰۰۱
		پس آزمون	۲۵/۸±۶/۳۳	۱۳/۳±۸/۳۰	t=۵/۴۸۶ P=۰/۰۰۱	t=۱/۶۴۲ P=۰/۶۷۴
	۱۲۰ درجه بر ثانیه	پیش آزمون	۱۷/۰±۷/۱۶	۱۴/۰±۷/۱۷	F=۱۹/۹۴ P=۰/۰۰۱	F=۸/۸۳ P=۰/۰۰۷
		پس آزمون	۲۳/۷±۶/۲۰	۱۲/۷±۶/۲۵	t=۵/۲۶ P=۰/۰۰۱	t=۱/۶۰ P=۰/۷۳۱
	۶۰ درجه بر ثانیه	پیش آزمون	۲۰/۴±۶/۹۵	۱۵/۰±۷/۸۵	F=۱۷/۹ P=۰/۰۰۱	F=۱۰/۳ P=۰/۰۰۴
		پس آزمون	۲۶/۳±۷/۶۷	۱۴/۲±۷/۷۶	t=۵/۲۶۳ P=۰/۰۰۱	t=۲/۰۰۹ P=۰/۳۳۲
۱۲۰ درجه بر ثانیه	پیش آزمون	۱۸/۲±۹/۷۲	۱۳/۶±۶/۷۲	f=۲۵/۵۶ P=۰/۰۰۱	F=۹/۴۳ P=۰/۰۰۶	
	پس آزمون	۲۳/۲±۷/۹۰	۱۲/۴±۶/۱۵	t=۵/۷۵۰ P=۰/۰۰۱	t=۱/۸۴ P=۰/۴۷۰	
گشتاور پلنتار فلکسوری	۶۰ درجه بر ثانیه	پیش آزمون	۲۸/۵±۱۶/۶	۲۷/۶±۲۰/۴	F=۱۲/۸ P=۰/۰۰۲	F=۱۱/۸ P=۰/۰۰۲
		پس آزمون	۵۴/۷±۲۱/۹	۲۷/۳±۱۹/۷	t=۴/۹۶۴ P<۰/۰۰۱	t=۱/۳۹۳ P=۱/۰۰۰
	۱۲۰ درجه بر ثانیه	پیش آزمون	۲۴/۴±۱۷/۶	۲۸/۲±۱۶/۵	f=۱۰/۶۰ P=۰/۰۰۴	F=۹/۱۸ P=۰/۰۰۶
		پس آزمون	۴۶/۲±۱۷/۲	۲۷/۸±۱۶/۴	t=۴/۴۴۴ P=۰/۰۰۱	t=۰/۹۵۱ P=۱/۰۰۰
	۶۰ درجه بر ثانیه	پیش آزمون	۱۸/۹±۴/۲۱	۱۵/۷±۵/۷۶	F=۹/۱۲ P=۰/۰۰۶	F=۳/۹۲ P=۰/۰۶۰
		پس آزمون	۲۳/۳±۵/۳۳	۱۴/۸±۵/۱۴	t=۳/۵۳۵ P=۰/۰۰۱	t=۱/۹۲۸ P=۰/۳۷۰
۱۲۰ درجه بر ثانیه	پیش آزمون	۱۳/۴±۳/۷۷	۱۰/۵±۴/۴۶	F=۱۸/۶۵ P=۰/۰۰۱	F=۲/۴۴ P=۰/۱۳۲	
	پس آزمون	۱۵/۱±۴/۴۴	۹/۶۴±۳/۷۴	t=۴/۱۶ P=۰/۰۰۲	t=۲/۲۱۳ P=۰/۲۱۳	

طب توانبخشی

دلیل تغییر اطلاعات حسی، پاسخ‌های حرکتی (شامل رفلکس‌ها و حرکات اختیاری) دستخوش تغییر می‌شود که این امر می‌تواند افت عملکرد را در پی داشته باشد [۳۰]. تمرینات حس عمقی به مداخله تمرینی‌ای گفته می‌شود که هدف اصلی‌اش بهبود و بازیابی عملکرد حسی حرکتی است [۳۱]. در پروتکل تمرینی استفاده‌شده یکی از اهداف تمرینات تعادلی چالشی بهبود حس عمقی بود که به نظر می‌رسد اجرای تمرینات تعادلی روی سطح

هنگام راه رفتن در مسیر ناهموار، حس وضعیت به مفصل کمک می‌کند قبل از لمس زمین در مکان مناسب قرار گیرد، در نتیجه از بی‌ثباتی پیشگیری می‌کند. پیچ‌خوردگی مچ پا می‌تواند منجر به پارگی لیگامنت و عضله شود و به گیرنده‌های مفصلی و دوک‌های عضلانی آسیب بزند. به علاوه، التهاب و تورم بعد از آسیب ممکن است نقص جزئی در کار اعصاب اوران ایجاد کند و بر عملکرد گیرنده‌های حس عمقی تأثیر بگذارد. بنابراین به

پیشین تمرینات بازتوانی مچ پا اثرات مثبتی بر قدرت عضلانی ساختار مچ پا دارد و به نظر می‌رسد تمرینات عصبی عضلانی بتواند موجب بهبود قدرت عضلانی بعد از پیچ‌خوردگی مچ پا بشود. با وجود اینکه شواهد موجود اثربخشی تمرینات عصبی عضلانی بر کنترل پاسچر، وضعیت عملکردی و ثبات مفصل را تأیید می‌کند، تاکنون مطالعه ویژه‌ای تأثیر این تمرینات بر قدرت عضلات مچ پا را تأیید نکرده است. طبق شواهد موجود تمرینات مقاومتی به‌تنهایی روش مؤثری برای بهبود ثبات افراد دارای بی‌ثباتی مچ پا نیست [۳۶]. بنابراین برای تأثیر بهتر لازم است تمرینات مقاومتی به همراه تمرینات تعادلی و حس عمقی در برنامه توان‌بخشی افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا گنجانده شود. در پروتکل تمرینی تحقیق حاضر به‌منظور افزایش قدرت عضلانی، تمرینات قدرتی در تمام جلسات تمرینی گنجانده شده است. جهت بهبود وضعیت ثبات مفصل مهم است که بتوانیم حساسیت گیرنده‌های مکانیکی را با محکم کردن لیگامنت‌ها، کپسول مفصلی و افزایش فعالیت عضلانی بالا ببریم. احتمالاً در پروتکل تمرینات عصبی عضلانی، فعالیت عضلات با افزایش حساسیت دوک‌های عضلانی از طریق هم‌فعالیتی آلفا - گاما افزایش یافته و بهبود قدرت عضلانی را در پی داشته است.

کم بودن تعداد آزمودنی و عدم وجود جنسیت مرد در بین آزمودنی‌ها، از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر بود که ممکن است بر نتایج اثرگذار باشد. بنابراین توصیه می‌شود در مطالعات آینده این محدودیت‌ها در نظر گرفته شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد انجام تمرینات عصبی عضلانی باعث بهبود تعادل ایستا و پویا، حس عمقی و قدرت عضلانی زنان مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شود. باتوجه‌به اینکه در بسیاری از افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا افت عملکرد دیده می‌شود به نظر می‌رسد انجام تمرینات عصبی عضلانی همه‌جانبه متشکل از اعمال تعادلی ایستا و پویا، مقاومتی، پلیومتریک، سرعت و چابکی می‌تواند سبب بهبود کنترل حرکت، افزایش ثبات و در نتیجه بهبود عملکرد حرکتی افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا شود. بنابراین استفاده از تمرینات عصبی عضلانی را در برنامه بازتوانی مبتلایان به بی‌ثباتی مزمن مچ پا پیشنهاد می‌کنیم.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه اصفهان در نظر گرفته شده است و کد اخلاق به شماره IR.UI.REC.1402.036 دریافت شده است.

پایدار و ناپایدار و تغییر مسیرها با حفظ تعادل در بخش چابکی موجب به‌کارگیری بیشتر گیرنده‌های عمقی شده و توانسته حس وضعیت مفصل را بهبود بخشد.

طبق نتایج حاصل از تحقیق حاضر، حداکثر گشتاور اینورتوری، اورتوری، پلنتار فلکسوری و دورسی فلکسوری نسبت به وزن بدن پس از انجام ۶ هفته تمرینات عصبی عضلانی بهبود یافت (جدول شماره ۶). این نتایج با یافته‌های هال و همکاران که گزارش کردند هم‌تمرینات مقاومتی با کش و هم‌تمرینات PNF سبب افزایش قدرت دورسی فلکشن، پلنتار فلکشن، اینورژن و اورژن مچ پا می‌شوند و روش‌های مؤثری برای افزایش قدرت در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا هستند هم‌راستا است [۳۲]. اکثر افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا کمبود قدرت عضلانی را به‌خصوص در عضلات پروئنال از خود نشان می‌دهند. مطالعات نشان داده‌اند در این افراد قدرت اورژن مچ پا کاهش یافته که این کاهش قدرت، مچ پا را معرض پیچ‌خوردگی مجدد قرار می‌دهد. کمبود قدرت عضلات پروئنال با نقص‌های عملکردی افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا مرتبط است و بر فعالیت‌های عضلات بالاتر و پایین‌تر از مچ پا تأثیر دارد، این ضعف عضلانی همچنین بر استراتژی کنترل حرکت و کنترل عصبی عضلانی حین اجرای عملکردی اثرگذار است. این کمبود قدرت تنها بر مفصل مچ پا اثرگذار نیست، بلکه بر فعالیت عضلانی مفاصل پروگریمال و عضلات پای سالم هم تأثیر دارد. بنابراین لازم است در توان‌بخشی این افراد تقویت عضلات هر دو سمت بدن مورد توجه قرار گیرد [۳۳]. کمبود قدرت عضلانی در بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌تواند علل مختلفی، از جمله آسیب لیگامنتی، مکانیک تغییر یافته مفصل و کمبود حس عمقی داشته باشد. در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا، مچ پای آسیب‌دیده نسبت به مچ پای سالم در عضلات دورسی فلکسور، پلنتار فلکسور، اینورتور و اورتور قدرت کمتری دارد. بیشترین کاهش قدرت در حرکات اینورژن و اورژن مچ پا وجود دارد. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای گزارش شد در مبتلایان به بی‌ثباتی مزمن مچ پا قدرت عضلانی اورتورها به مقدار زیادی کمتر از افراد سالم است. در پژوهشی دیگر گزارش شد قدرت عضلات اینورتور مچ پای آسیب‌دیده ۲۰ درصد از قدرت این عضلات در پای سالم کمتر است [۳۴]. همچنین در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد حداکثر گشتاور پلنتار فلکسوری در گروه دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا نسبت به گروه کنترل کمتر است و گشتاور پلنتار فلکسوری دیرتر به مقدار حداکثری خود می‌رسد [۳۵]. کمبود قدرت عضلانی مشکل مهمی است که مرتبط با پیچ‌خوردگی مچ پا است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند قدرت عضلانی ناکافی، به‌خصوص در عضلات اورتور، اینورتور، دورسی فلکسور و پلنتار فلکسور، از ریسک فاکتورهای مهم پیچ‌خوردگی خارجی مچ پا است [۲۳]. به نظر می‌رسد تمرینات مقاومتی هدفمند که تمرکز ویژه بر گروه عضلات مچ پا دارد می‌تواند برای افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا مفید باشد [۲۴]. طبق یافته‌های مطالعات

### حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان نامه خانم نگین عقیلی در **دانشگاه اصفهان** است.

### مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند. هر نویسنده نسخه نهایی نسخه خطی را برای ارسال تایید کرد.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مایلند از همکاری همه شرکت کنندگان در این مطالعه تشکر کنند.

## References

- [1] Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2019; 54(6):603-10. [DOI:10.4085/1062-6050-447-17] [PMID]
- [2] Gaddi D, Mosca A, Piatti M, Munegato D, Catalano M, Di Lorenzo G, et al. Acute ankle sprain management: An umbrella review of systematic reviews. *Frontiers in Medicine*. 2022; 9:868474. [DOI:10.3389/fmed.2022.868474] [PMID]
- [3] Hertel J, Corbett RO. An updated model of chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2019; 54(6):572-88. [DOI:10.4085/1062-6050-344-18] [PMID]
- [4] Gribble PA, Bleakley CM, Caulfield BM, Docherty CL, Fouchet F, Fong DT, et al. Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *British Journal of Sports Medicine*. 2016; 50(24):1496-505. [DOI:10.1136/bjsports-2016-096189] [PMID]
- [5] Lin CI, Houtenbos S, Lu YH, Mayer F, Wippert PM. The epidemiology of chronic ankle instability with perceived ankle instability- A systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2021; 14(1):41. [DOI:10.1186/s13047-021-00480-w] [PMID]
- [6] Khalili SM, Barati AH, Oliveira R, Nobari H. Effect of combined balance exercises and kinesio taping on balance, postural stability, and severity of ankle instability in female athletes with functional ankle instability. *Life*. 2022; 12(2):178. [DOI:10.3390/life12020178] [PMID]
- [7] Delahunt E, Remus A. Risk factors for lateral ankle sprains and chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2019; 54(6):611-6. [DOI:10.4085/1062-6050-44-18] [PMID]
- [8] Alghadir AH, Iqbal ZA, Iqbal A, Ahmed H, Ramteke SU. Effect of chronic ankle sprain on pain, range of motion, proprioception, and balance among athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(15):5318. [DOI:10.3390/ijerph17155318] [PMID]
- [9] Doherty C, Bleakley C, Hertel J, Caulfield B, Ryan J, Delahunt E. Dynamic balance deficits in individuals with chronic ankle instability compared to ankle sprain copers 1 year after a first-time lateral ankle sprain injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2016; 24(4):1086-95. [DOI:10.1007/s00167-015-3744-z] [PMID]
- [10] Han JY, Ahn SY, Yoo JH, Nam SY, Hong JT, Oh KW. Alleviation of kainic acid-induced brain barrier dysfunction by 4-*o*-methylhonokiol in in vitro and in vivo models. *BioMed Research International*. 2015; 2015:893163. [DOI:10.1155/2015/651048] [PMID]
- [11] Khalaj N, Vicenzino B, Heales LJ, Smith MD. Is chronic ankle instability associated with impaired muscle strength? Ankle, knee and hip muscle strength in individuals with chronic ankle instability: A systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2020; 54(14):839-47. [DOI:10.1136/bjsports-2018-100070] [PMID]
- [12] Huang J, Zhong M, Wang J. Effects of exercise-based interventions on functional movement capability in untrained populations: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(15):9353. [DOI:10.3390/ijerph19159353] [PMID]
- [13] Mollà-Casanova S, Inglés M, Serra-Añó P. Effects of balance training on functionality, ankle instability, and dynamic balance outcomes in people with chronic ankle instability: Systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*. 2021; 35(12):1694-709. [DOI:10.1177/02692155211022009] [PMID]
- [14] Qu X, Li K, Nam S. Effects of mobile-based rehabilitation in adolescent football players with recurrent lateral ankle sprains during the COVID-19 pandemic. *Healthcare*. 2022; 10(3):412. [DOI:10.3390/healthcare10030412] [PMID]
- [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. [DOI:10.3390/ijerph17103665] [PMID]
- [16] Chen ET, Borg-Stein J, McInnis KC. Ankle sprains: Evaluation, rehabilitation, and prevention. *Current Sports Medicine Reports*. 2019; 18(6):217-23. [DOI:10.1249/JSR.0000000000000603] [PMID]
- [17] Zech A, Hübscher M, Vogt L, Banzer W, Hänsel F, Pfeifer K. Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: A systematic review. *Journal of Athletic Training*. 2010; 45(4):392-403. [DOI:10.4085/1062-6050-45.4.392] [PMID]
- [18] Kim E, Choi H, Cha JH, Park JC, Kim T. Effects of neuromuscular training on the rear-foot angle kinematics in elite women field hockey players with chronic ankle instability. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2017; 16(1):137-46. [PMID]
- [19] Cloak R, Nevill AM, Clarke F, Day S, Wyon MA. Vibration training improves balance in unstable ankles. *International Journal of Sports Medicine*. 2010; 31(12):894-900. [DOI:10.1055/s-0030-1265151] [PMID]
- [20] Taghavi Asl A, Shojaedin SS, Hadadnezhad M. Comparison of effect of wobble board training with and without cognitive intervention on balance, ankle proprioception and jump landing kinetic parameters of men with chronic ankle instability: A randomized control trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2022; 23(1):888. [DOI:10.1186/s12891-022-05706-x] [PMID]
- [21] Tuominen J, Leppänen M, Jarske H, Pasanen K, Vasankari T, Parkkari J. Test-retest reliability of isokinetic ankle, knee and hip strength in physically active adults using biodex system 4 pro. *Methods and Protocols*. 2023; 6(2):26. [DOI:10.3390/mps6020026] [PMID]
- [22] Kynsburg A, Pánics G, Halasi T. Long-term neuromuscular training and ankle joint position sense. *Acta Physiologica Hungarica*. 2010; 97(2):183-91. [DOI:10.1556/APhysiol.97.2010.2.4] [PMID]
- [23] Madkhali AM, Nuhmani S. Muscle strength deficit though intact proprioception after lateral ankle sprain without persistent instability. *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin*. 2022; 31(04):251-5. [DOI:10.1055/a-1333-3638]

- [24] Hou ZC, Miao X, Ao YF, Hu YL, Jiao C, Guo QW, et al. Characteristics and predictors of muscle strength deficit in mechanical ankle instability. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2020; 21(1):730. [DOI:10.1186/s12891-020-03754-9] [PMID]
- [25] Su Y, Li W, Pan C, Shi Y. Effects of combination of strength and balance training on postural control and functionality in people with chronic ankle instability: A systematic review and meta analysis. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*. 2024; 16(1):79. [DOI:10.1186/s13102-024-00845-1] [PMID]
- [26] Zhang L, Lu J, Cai B, Fan S, Jiang X. Quantitative assessments of static and dynamic balance performance in patients with chronic ankle instability. *Medicine*. 2020; 99(17):e19775. [DOI:10.1097/MD.00000000000019775] [PMID]
- [27] McKeon PO, Ingersoll CD, Kerrigan DC, Saliba E, Bennett BC, Hertel J. Balance training improves function and postural control in those with chronic ankle instability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2008; 40(10):1810-9. [DOI:10.1249/MSS.0b013e31817e0f92] [PMID]
- [28] Hale SA, Hertel J, Olmsted-Kramer LC. The effect of a 4-week comprehensive rehabilitation program on postural control and lower extremity function in individuals with chronic ankle instability. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2007; 37(6):303-11. [DOI:10.2519/jospt.2007.2322] [PMID]
- [29] Taube W. Neurophysiological adaptations in response to balance training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2012; 63(09):273-7. [DOI:10.5960/dzsm.2012.030]
- [30] Xue X, Ma T, Li Q, Song Y, Hua Y. Chronic ankle instability is associated with proprioception deficits: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*. 2021; 10(2):182-91. [DOI:10.1016/j.jshs.2020.09.014] [PMID]
- [31] Aman JE, Elangovan N, Yeh IL, Konczak J. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: A systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2015; 8:1075. [DOI:10.3389/fnhum.2014.01075] [PMID]
- [32] 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. [DOI:10.4085/1062-6050-49.3.71] [PMID]
- [33] Lin CI, Khajooei M, Engel T, Nair A, Heikkila M, Kaplick H, et al. The effect of chronic ankle instability on muscle activations in lower extremities. *Plos One*. 2021; 16(2):e0247581. [DOI:10.1371/journal.pone.0247581] [PMID]
- [34] Ryman Augustsson S, Sjöstedt E. A test battery for evaluation of muscle strength, balance and functional performance in subjects with chronic ankle instability: A cross-sectional study. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*. 2023; 15(1):55. [DOI:10.1186/s13102-023-00669-5] [PMID]
- [35] Wang L, Ye J, Zhang X. Ankle biomechanics of the three-step layup in a basketball player with chronic ankle instability. *Scientific Reports*. 2023; 13(1):18667. [DOI:10.1038/s41598-023-45794-w] [PMID]
- [36] Luan L, Adams R, Witchalls J, Ganderton C, Han J. Does strength training for chronic ankle instability improve balance and patient-reported outcomes and by clinically detectable amounts? A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy*. 2021; 101(7):pzab046. [DOI:10.1093/ptj/pzab046] [PMID]