



Kharazmi University

Research in Sport Medicine and Technology

Print ISSN: 2252 - 0708 Online ISSN: 2588 - 3925

Homepage: <https://jsmt.khu.ac.ir>

The Effect Of Balance And Hopping Exercises On Ankle Joint Proprioception In Athletes With Functional Ankle Instability

Hamid Abbasi^{1*} | Mohammadhasan Kordi Ashkezari² | Abdolmajid Haratizadeh³ | Saeed Abedinzadeh⁴

1. Associate Professor, Department of Sports Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.

2. Assistant Professor of Sports Injury and Corrective Exercises, Faculty of Sports Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

3. Master in Sport Injury and Corrective Exercise, Department of Sports Sciences, Islamic Azad University, Branch of Khorasgan, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Sports Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.



CrossMark

corresponding author: Hamid Abbasi, habbassi@yazd.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2024/01/27
Revised: 2024/09/25
Accepted: 2024/05/20

Keywords:
Balance Exercises, Hopping Exercises, Proprioception Of Ankle

How to Cite:

Hamid Abbasi, Mohammadhasan Kordi Ashkezari, Abdolmajid Haratizadeh, Saeed Abedinzadeh.

The Effect Of Balance And Hopping Exercises On Ankle Joint Proprioception In Athletes With Functional Ankle Instability.
Research In Sport Medicine and Technology, 2025: 23(29): 156-173.

ABSTRACT

Introduction and Objective: Ankle injuries are among the most common sports-related injuries, often caused by factors such as "direct contact with a player or the ground, tackles that push the ankle inward or outward, and during jumping and landing." Among these injuries, lateral ankle sprains are one of the most prevalent types, frequently associated with ankle instability. The aim of this study was to compare the effects of balance training and hopping exercises on the proprioception of athletes with functional ankle instability.

Methods: A total of 30 basketball, volleyball, and handball athletes with functional ankle instability, with a mean age of 24.58 ± 3.626 years and a body mass index (BMI) of 25.681 ± 2.126 , were randomly assigned to two groups in a clinical trial. The first group (n=15) performed hopping exercises, while the second group (n=15) performed balance training. Proprioception of their ankle joints was assessed at baseline and after six weeks of training. Data analysis was conducted using paired t-tests and ANCOVA via SPSS version 20.

Results: Both balance training and hopping exercises significantly reduced the absolute error in reconstructing dorsiflexion and plantarflexion angles of the ankle ($p < 0.05$). Additionally, the reduction in absolute error for these angles was significantly greater in the hopping group compared to the balance training group ($p < 0.05$).

Conclusion: The findings indicate that both balance training and hopping exercises improve ankle joint proprioception in athletes with functional ankle instability. However, hopping exercises demonstrated greater effectiveness compared to balance training.



Published by Kharazmi University, Tehran, Iran. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under e: CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقایسه اثر تمرینات تعادلی و هاپینگ بر حس عمقی مفصل مچ پای ورزشکاران مبتلا به ناپایداری

عملکردی مچ پا

حمید عباسی^{۱*} | محمدحسن کردی اشکذری^۲ | عبدالمجید هراتی زاده^۳ | سعید عابدین زاده^۴

۱. دانشیار گروه علوم ورزشی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲. استادیار گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۳. کارشناسی ارشد آسیب شناسی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، ایران.

۴. استادیار گروه علوم ورزشی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

نویسنده مسئول: حمید عباسی habbassi@yazd.ac.ir

چکیده

مقدمه و هدف: آسیب های مچ پا یکی از شایع ترین آسیب های ورزشی است که این آسیب ها به دلایلی مانند "برخورد مستقیم با بازیکن یا زمین، تکل هایی که به داخل یا خارج مچ پا و در حین پرش و فرود" ایجاد می گردد. از بین این آسیب ها، اسپرین خارجی مچ پا از شایع ترین آسیب ها است که با ناپایداری مچ پا همراه است. هدف از تحقیق حاضر مقایسه تمرینات تعادلی و هاپینگ بر حس عمقی ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی مچ پا است.

روش ها: تعداد ۳۰ ورزشکار رشته های ورزشی بسکتبال، والیبال و هندبال مبتلا به ناپایداری عملکردی مچ پا با میانگین سنی $24/58 \pm 3/626$ و شاخص توده بدنی $25/681 \pm 2/126$ در ۲ گروه مطالعه کارآزمایی بالینی به صورت تصادفی تقسیم شدند. گروه اول تمرینات هاپینگ (۱۵ نفر)، گروه دوم تمرینات تعادلی (۱۵ نفر) را انجام دادند. حس عمقی مفصل مچ پای آنها در ابتدا و پس از ۶ هفته تمرین مجدداً ارزیابی شد. تجزیه و تحلیل داده ها با آزمون های تی وابسته و آنکوا انجام با نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ گردید.

یافته ها: تمرینات تعادلی و هاپینگ به طور معناداری باعث کاهش خطای مطلق بازسازی دورسی فلکشن و پلانتر فلکشن مچ پا شدند ($p < 0/05$). همچنین این خطای مطلق این زوایا در گروه تمرینات هاپینگ نسبت به گروه تمرینات تعادلی کاهش معناداری داشت ($p < 0/05$).

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که تمرینات تعادلی و هاپینگ باعث بهبود حس عمقی مفصل مچ پا ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی مچ پا گردیده است و همچنین تمرینات هاپینگ نسبت به تعادلی اثربخشی بیشتری دارند.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۷

ویرایش: ۱۴۰۳/۷/۴

پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۳۱

واژه های کلیدی:

تمرینات تعادلی، تمرینات هاپینگ، حس عمقی مچ پا

ارجاع:

حمید عباسی، محمدحسن کردی اشکذری، عبدالمجید هراتی زاده، سعید عابدین زاده. مقایسه اثر تمرینات تعادلی و هاپینگ بر حس عمقی مفصل مچ پای ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی مچ پا. پژوهش در طب ورزشی و فناوری. ۱۴۰۴؛ ۲۳(۲۹): ۱۵۶-۱۷۳

Extended Abstract

Ankle injuries are among the most prevalent sports-related injuries, particularly in sports like basketball, volleyball, and handball, which involve rapid changes in direction, running, jumping, and landing. These activities place significant stress on the lower limbs, making athletes highly susceptible to ankle sprains and subsequent functional instability. Lateral ankle sprains, one of the most common types of ankle injuries, often lead to functional ankle instability (FAI), characterized by symptoms such as giving way, weakness, pain, and impaired function without anatomical abnormalities in the joint. FAI is associated with ligament laxity, proprioceptive deficits, and delayed neuromuscular responses around the ankle joint. Conservative treatments, including therapeutic exercises and rehabilitation protocols, are widely recommended for managing chronic ankle instability. Among these interventions, balance training and hopping exercises have gained attention due to their potential to improve proprioception, strength, and overall joint stability. However, despite numerous studies exploring the effects of these exercise modalities on ankle function, there remains a lack of consensus regarding their comparative efficacy in enhancing proprioception among athletes with FAI. This study aims to address this gap by comparing the effects of balance training and hopping exercises on proprioception in athletes with functional ankle instability.

Objective

The primary objective of this study was to compare the effects of balance training and hopping exercises on proprioception in athletes diagnosed with functional ankle instability. Proprioception, assessed through active angle reproduction tests, was used as the key outcome measure. The study sought to determine whether hopping exercises, which combine dynamic movements with strength and coordination demands, were more effective than traditional balance training in improving proprioceptive acuity in dorsiflexion and plantarflexion angles of the ankle joint.

Methods

This research was conducted as a randomized controlled clinical trial (IRCT20190627044039N1) and received ethical approval with the identification code IR.IAU.KHUISF.REC.1401.051 from the Islamic Azad University, Khorasgan Branch.

The study population consisted of athletes aged 18 to 30 who were actively involved in handball, basketball, or volleyball and had experienced at least one episode of ankle sprain within the past 12 months.

Using G*Power software, the required sample size was determined to be 34 participants based on two groups, an ANCOVA statistical method, a 5% error rate, an effect size of 0.5, and 95% statistical power. Considering potential dropouts, the final sample included 30 athletes with FAI, randomly divided into two groups: one performing hopping exercises (n=15) and the other undergoing balance training (n=15). Randomization was performed by an individual external to the research team, while pre- and post-intervention assessments and the exercise protocols were administered by the researcher.

Participants were required to meet specific inclusion criteria, including regular participation in their respective sports (at least three times per week), a history of at least one lateral ankle sprain in the previous year, and a qualifying score on the IdFAI questionnaire. Exclusion criteria encompassed individuals with recent lower limb injuries, ankle sprains within the last three months, non-sprain-related lower limb pain, neuromuscular disorders, or prior surgery on the ankle or lower limbs.

Proprioception was assessed using the active angle reproduction test, where participants sat on a table with their torso, hip, and knee joints positioned at 90 degrees. To eliminate visual interference, participants' eyes were covered with a black cloth. The tester passively moved the participant's foot to a target angle within the mid-range of motion—20 degrees for plantarflexion and 10 degrees for dorsiflexion. Participants were then instructed to actively reproduce the target angle. A camera recorded the movements, and angles were measured using AutoCAD software after transferring the video footage to a computer. Each angle was tested three times, and the absolute error (difference between the reproduced angle and the target angle, irrespective of direction) was calculated for each repetition. The mean absolute error across the three trials was used as the measure of proprioceptive acuity.

The exercise protocols were based on previous studies and tailored to enhance proprioception, strength, and stability. Both groups engaged in a 10-minute warm-up (7

minutes of jogging and 3 minutes of general stretching) and a 5-minute cool-down (general stretching) during each session.

The hopping group performed six types of hopping exercises, including side-to-side hops, anterior-posterior hops, Latin four-pattern hops, forward hops, and Latin eight-pattern hops. These exercises were conducted three times per week for six weeks, with the intensity progressively increasing from 80 to 160 foot contacts per week. Initially, exercises were performed bilaterally and later progressed to unilateral execution. Hand positioning was adjusted to increase difficulty, starting with free hands, then moving to chest level, and finally to behind the head. For the first three weeks, hopping exercises focused on stabilization, while from the fourth week onward, a metronome was introduced to maintain a rhythm of 2 Hz.

The balance training group followed a protocol derived from established studies in the field. Exercises were performed three times per week for six weeks, with progression in difficulty achieved by altering the base of support (e.g., single-leg vs. double-leg stance, Bosu ball vs. flat ground) every two weeks. Participants maintained their hands on their hips and kept their eyes open during the exercises. Rest intervals between sets were 30 seconds, with a two-minute break at the end of each set. All participants received instruction from a qualified sports specialist to ensure proper technique and adherence to the protocols.

Data analysis involved descriptive statistics (mean and standard deviation) and inferential statistics to determine the effects of the interventions. The Shapiro-Wilk test confirmed the normal distribution of the data, and Levene's test verified homogeneity of variances ($p > 0.05$). Paired t-tests were used to compare pre- and post-test proprioceptive errors within each group, while ANCOVA was employed to compare the effects of the two exercise modalities. Effect sizes were calculated using partial eta squared. Statistical analyses were performed using SPSS version 20.

Results

The demographic characteristics of the participants, including age, height, weight, and body mass index (BMI), were similar between the two groups, as confirmed by independent t-tests ($p > 0.05$). The results revealed significant reductions in absolute

errors for both dorsiflexion and plantarflexion angles following the six-week intervention in both groups ($p < 0.05$). However, ANCOVA indicated that hopping exercises were more effective than balance training in reducing proprioceptive errors ($p < 0.05$).

Specifically, the mean absolute error for dorsiflexion decreased from 2.87 ± 0.51 degrees to 1.82 ± 0.42 degrees in the balance training group and from 2.35 ± 0.32 degrees to 1.12 ± 0.56 degrees in the hopping group. Similarly, for plantarflexion, the mean absolute error decreased from 3.25 ± 0.66 degrees to 2.08 ± 0.39 degrees in the balance training group and from 2.92 ± 0.78 degrees to 1.05 ± 0.35 degrees in the hopping group. The effect sizes (partial eta squared) were 0.804 for dorsiflexion and 0.758 for plantarflexion, indicating large practical significance.

Conclusion

The findings of this study demonstrate that both balance training and hopping exercises significantly improve proprioceptive acuity in athletes with functional ankle instability. However, hopping exercises demonstrated greater efficacy compared to balance training, particularly in reducing absolute errors in dorsiflexion and plantarflexion angles. These results suggest that hopping exercises, with their dynamic nature and combined focus on strength, coordination, and balance, may serve as a valuable component of rehabilitation programs for individuals with chronic ankle instability.

Coaches and therapists are encouraged to incorporate hopping exercises into rehabilitation protocols to enhance proprioception and reduce the risk of recurrent ankle injuries. Future research should explore long-term retention of proprioceptive gains and investigate the combined effects of hopping and balance training on ankle function. Additionally, further studies are needed to examine the impact of these interventions on other aspects of athletic performance, such as agility, speed, and sport-specific skills.

In conclusion, this study highlights the importance of selecting appropriate exercise modalities for rehabilitation and underscores the potential of hopping exercises as a superior alternative to traditional balance training in improving proprioception among athletes with functional ankle instability.

Key words: balance exercises, hopping exercises, proprioception of ankle

مقدمه

ورزشکاران رشته‌های ورزشی والیبال، بسکتبال و هندبال که تغییر مسیرهای سریع، دویدن، پریدن و فرود آمدن دارند به احتمال زیاد دچار آسیب‌های اندام تحتانی خواهند شد (۱). آسیب مفصل مچ پا یکی از شایع‌ترین آسیب‌های ورزشی می‌باشد که ممکن است با برخورد مستقیم با بازیکن یا زمین، تکل‌هایی که به داخل و خارج مچ پا و پرش و فرود ایجاد می‌گردد. از بین این آسیب‌ها، اسپرین خارجی مچ پا از شایع‌ترین آسیب‌ها می‌باشد که با ناپایداری مچ پا همراه است (۲).

تعدادی از پیچ‌خوردگی‌های خارجی با رویکرد درمانی حفاظتی بهبود می‌یابند، درحالی‌که تعدادی دیگر درد ماندگار، ضعف، اسپرین مجدد و دیگر علائم بی‌ثباتی را به دنبال دارند. این ناپایداری مچ پا می‌تواند ناپایداری عملکردی باشد که ناپایداری عملکردی مچ پا با علائمی همچون خالی کردن مچ پا، ضعف، درد و نقص در عملکرد توصیف می‌شود بدون اینکه مفصل از لحاظ آناتومی دچار مشکل گردد (۳). برخی علل که موجب ناپایداری عملکردی مچ پا می‌شود شامل شلی رباط، نقص حس عمقی، و نقص و تأخیر در پاسخ عضلات ناحیه مچ پا است (۳). برای درمان ناپایداری مزمن مچ پا درمان‌های محافظه‌کارانه و غیر محافظه‌کارانه توصیه گردیده است. در درمان‌های محافظه‌کارانه یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های این نوع درمان می‌توان به دوره‌های تمرین درمانی اشاره کرد.

تمرینات هاپینگ یک روش تمرینی دینامیک برای اندام تحتانی است که دارای ماهیت چندگانه از قدرت عضلانی، هماهنگی عصبی-عضلانی، ثبات مفصل، تعادل و حس عمقی هستند. این تمرینات به صورت کلینیکی در مراحل پایانی دوره بازتوانی بکار برده می‌شوند. حرکات هاپینگ شامل انقباض اکستریک و کانستریک متعاقب آن می‌شود. قدرت عضلانی و تعادل دو جزء ضروری اجرای هاپینگ است. محققان بر این باورند که تمرینات هاپینگ، پل ارتباطی بین قدرت و هماهنگی هستند که باعث افزایش عملکرد ورزشکار می‌گردند (۴).

برنامه‌های توانبخشی برای پیچ‌خوردگی و ناپایداری مچ پا شامل: تمرینات عصبی-عضلانی و تمرینات پلايومتریک می‌باشد (۵ و ۶). تمرینات تعادلی معمول‌ترین تمریناتی است که برای افراد با ناپایداری مچ پا بکار می‌رود. این تمرینات در بهبود کنترل پاسچر و بازخورد کنترل عصبی-عضلانی در افراد مبتلا به ناپایداری مچ پا مؤثر می‌باشد. این تمرینات با بهبود در قدرت عضلات، تعادل و حس عمقی می‌تواند باعث بهبود عصبی عضلانی اندام تحتانی گردد (۷). ابزارهای مشخصی می‌تواند برای ارائه استفاده شود که می‌تواند به تخته تعادل، مینی ترامپلین، بوسو بال و تست ستاره و ... اشاره کرد. مطالعه‌ای نشان داده است که چهار هفته تمرینات تعادلی باعث بهبود ثبات دوگانه ساق پا - پشت پا (Shank-rear foot coupling) در حین راه رفتن گردیده است (۸). برای مثال در مطالعه جاین تارانگ (Tarang) و همکاران (۲۰۱۴) تمرینات تعادلی به مدت چهار هفته روی مبتلایان به بی‌ثباتی عملکردی مچ پا انجام گرفت و نتایج پس از اتمام دوره تمرینی حاکی از اثربخشی تمرینات در کاهش بی‌ثباتی مچ پا و بهبود حس عمقی مفصل مچ پا در بیماران بود (۹). بن موسا و همکاران (Ben Moussa) (۲۰۱۳) نشان دادند تمرینهای حس عمقی به طور مؤثر می‌تواند با افزایش

کنترل وضعیت و عضلانی، موجب بهبود ثبات در میچ پای ناپایدار شود (۱۰). با توجه به تأثیرات مثبت تمرین درمانی و بازتوانی در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن میچ پا و تأثیر مثبت اجرای تمرینات در مطالعات گذشته می‌توان ادعان داشت برنامه توانبخشی برای افراد مبتلا به بی‌ثباتی میچ پا بسیار حائز اهمیت است.

از آنجایی که مطالعات گذشته نشان داده‌اند که افراد مبتلا به ناپایداری عملکردی میچ پا دچار تغییرات حس عمقی می‌گردند و یک پروتکل تمرینی معین با کارایی بالا مشخص نکرده‌اند؛ لذا محققان حوزه توانبخشی همیشه به دنبال رسیدن به پروتکل‌های تمرینی هستند که دارای کارایی بیشتر و هزینه و زمان کمتر برای رساندن ورزشکار به تمرین و مسابقه هستند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته هیچ مطالعه‌ای به مقایسه اثر تمرینات هاپینگ و تعادلی بر حس عمقی ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی میچ پا صورت نگرفته است؛ بنابراین هدف از تحقیق حاضر اثر تمرینات تعادلی و هاپینگ بر حس عمقی ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی میچ پا است.

روش‌شناسی

این تحقیق از لحاظ هدف کاربردی و از نوع تحقیقات کارآزمایی بالینی (IRCT20190627044039N1) تصادفی شده پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل است. این مطالعه دارای کد اخلاق با شناسه IR.IAU.KHUISF.REC.1401.051 در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان مصوب گردید.

جامعه آماری پژوهش حاضر کلیه ورزشکاران ۱۸ تا ۳۰ سال بودند که در رشته‌های هندبال، بسکتبال و والیبال فعالیت می‌کردند و تا به حال یک بار پیچ خوردگی میچ پا داشتند. همچنین با توجه به حجم نمونه در نرم افزار جی پاور با داشتن دو گروه، روش آماری آنکوا، خطای آماری ۵ درصد، اندازه اثر ۰,۵ و توان آماری ۹۵ درصد حجم نمونه را ۳۴ نفر تایید کرد که با توجه به ریزش نمونه‌ها در این تحقیق ۳۰ ورزشکار مبتلا به ناپایداری عملکردی میچ پا در ۲ گروه‌های مطالعه کارآزمایی بالینی به صورت تصادفی تقسیم شدند (پیوست ۱). تصادفی سازی توسط فردی غیر از محقق انجام گردید. اما تست گیری و انجام دوره تمرینی توسط محقق اجرا شد. گروه اول شامل ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی میچ پا تمرینات هاپینگ (۱۵ نفر)، گروه دوم شامل ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی میچ پا تمرینات تعادلی (۱۵ نفر) بود.

از جمله معیارهای ورود به پژوهش حاضر ورزشکاران باید به طور منظم حداقل سه بار در هفته در رشته‌های هندبال، والیبال و بسکتبال انجام دهند و حداقل یکبار پیچ خوردگی خارجی میچ پا در ۱۲ ماه گذشته تجربه کرده‌اند و نمرات لازم از پرسشنامه IdFAI را کسب کنند. همچنین افرادی که آسیب اندام تحتانی یا پیچ خوردگی میچ پا در سه ماه گذشته داشته، درد در اندام تحتانی به هر دلیلی غیر از پیچ خوردگی میچ پا، اختلالات عصبی عضلانی در اندام تحتانی، سابقه جراحی مفصل میچ پا یا اندام تحتانی را داشته‌اند از تحقیق خارج شدند (۱۱).

برای اندازه‌گیری حس وضعیت مفصل میچ پا، از آزمون بازسازی فعال زاویه میچ پا استفاده شد. در این آزمون آزمودنی طوری روی میز می‌نشست که زاویه تنه با ران و ران با زانو در حالت ۹۰ درجه قرار گرفت. جهت حذف مداخله بینایی،

چشم های آزمودنی ها با پارچه سیاه بسته شد. سپس آزمونگر پای آزمودنی را به طور غیرفعال تا دامنه میانی حرکت برد. این زوایا با توجه به منبع، برای پلاتنار فلکشن ۲۰ درجه و دورسی فلکشن ۱۰ درجه است. سپس آزمودنی خواسته شد که پای خود را فعال تا زاویه منظور شده ببرد (۱۲) (شکل ۱). همزمان دوربین به ثبت تصاویر، زاویه میچ و خطای مطلق زاویه هدف پرداخت. برای تسهیل عملیات گونیامتر، سه عدد مارکر در برجستگی فوقانی نازک نی، قوزک خارجی و سر استخوان متاتارس نصب گردید (۱۳).

پس از انتقال تصاویر به رایانه و با نرم افزار اتوکل و اتصال مرکز مارکرها قادر به اندازه گیری زاویه میچ پا در هنگام بازسازی زاویه بودیم. آزمون برای هر یک از زوایای هدف سه بار تکرار شد. مقدار خطای مطلق (اختلاف میان زاویه بازسازی شده با زاویه هدف بدون در نظر گرفتن جهت حرکت) برای هر تکرار دورسی فلکشن و پلاتنار فلکشن محاسبه گردید (۱۲). میانگین خطای بازسازی زاویه طی سه بار اندازه گیری، خطای بازسازی در آن زاویه در نظر گرفته شد.



شکل ۱. اندازه گیری بازسازی زاویه دورسی فلکشن میچ پا

پس از انتخاب آزمودنی ها و تأیید فیزیوتراپ مبنی بر بی ثباتی عملکردی میچ پا و مشکل نداشتن تمرینات برای افراد، آزمودنی ها در ۲ گروه تمرینات هاپینگ، تعادلی قرار گرفتند. سپس برای هریک از گروه ها ساعت های تمرینی مشخص تعیین شد و تمرینات ویژه هر گروه اجرا شد. آزمودنی ها در ابتدای هر جلسه تمرینی ۱۰ دقیقه را به گرم کردن اختصاص می دادند (۷ دقیقه دویدن و ۳ دقیقه حرکات کششی کلی) و ۵ دقیقه سرد کردن که شامل حرکات کششی کلی بود (۱۱). پروتکل تمرینی بر اساس مطالعات قبل استخراج و مورد استفاده قرار گرفته که شامل تمرینات مختلف بود (۷ و ۴). این تمرینات شامل ۶ نوع تمرینات هاپینگ که شامل: هاپینگ به طرفین، هاپینگ به سمت قدامی و خلفی، هاپینگ به شکل چهار لاتین، هاپینگ با حرکت به سمت جلو، هاپینگ به شکل هشت لاتین بود که به صورت سه جلسه در هفته و برای شش هفته انجام شد (۴). شدت تمرینات از ۸۰ تا ۱۶۰ تماس پا با زمین در طول هفته ها افزایش یافت همچنین تمرینات در ابتدا به صورت دویا و سپس به تک پا پیشرفت نمود و جایگاه دست برای افزایش دشواری و

شدت تمرینات از حالت آزاد، روی سینه و پشت سر تغییر یافت. لازم به ذکر می‌باشد که در سه هفته اول تمرینات به صورت هاپینگ و ثبات پذیری (۸ و ۱۴) انجام شد و از هفته سوم به بعد با استفاده از یک مترونوم تمرینات هاپینگ با ریتم ۲ هرتز انجام شد.

پروتکل تمرینی تعادلی نیز برگرفته از سایر مطالعات انجام شده در این حوزه است که می‌توان از آنها به عنوان تمرینات اثبات شده و کاملاً مؤثر استفاده نمود (۱۱ و ۱۵ و ۱۶). این تمرینات سه جلسه در هفته و برای شش هفته انجام شد. متخصص ورزشی همه‌ی شرکت کنندگان را آموزش می‌داد.

در این تمرینات دست‌ها بر روی کمر بند لگنی و چشم‌ها باز بود و شدت این تمرینات از نظر سطح اتکا (تک پا/ دوپا- بوسوبال/ زمین) به صورت فزاینده هر دو هفته افزایش داده می‌شد (۱۵). همچنین استراحت بین ست‌ها ۳۰ ثانیه و استراحت پایان ست دو دقیقه بود (۱۱).

در این پژوهش جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات توصیفی از میانگین و انحراف معیار و برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیروویلک و همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. همچنین برای مقایسه متغیر حس عمقی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون از آزمون تی وابسته و باتوجه به دو مرحله اندازه‌گیری از آزمون آنکوا استفاده گردید و اندازه اثر (Partial Eta) گرفته شد. لازم به ذکر است در تجزیه و تحلیل داده‌های این پژوهش از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد.

یافته‌ها

اطلاعات دموگرافیک آزمودنی‌ها شامل سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی (BMI) که در ابتدای تحقیق اندازه‌گیری شد، در هر گروه در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج آزمون تی مستقل نشان داد تفاوت آماری معنی‌داری بین داده‌های دموگرافیک گروه هاپینگ و تعادلی وجود ندارد. بنابراین همگنی این داده‌ها مورد تایید قرار گرفت.

جدول ۱. اطلاعات دموگرافیک آزمودنی‌ها در گروه‌های هاپینگ و تعادلی

متغیر	گروه	تعداد	میانگین $\pm$ انحراف استاندارد	مقدار P
سن (سال)	تعادلی	۱۵	۲۴/۵۴ $\pm$ ۳/۴۵۵	۰/۹۵۷
	هاپینگ	۱۵	۲۴/۶۲ $\pm$ ۳/۷۹۸	
قد (سانتی‌متر)	تعادلی	۱۵	۱۷۹/۱۵ $\pm$ ۴/۲۷۹	۰/۹۲۵

	۱۷۹/۰۰±۳/۹۱۶	۱۵	هایپینگ	
۰/۹۳۰	۸۲/۳۱±۶/۶۷۶	۱۵	تعادلی	وزن (کیلوگرم)
	۸۲/۶۲±۱۰/۵۷۱	۱۵	هایپینگ	
۰/۸۲۲	۲۵/۵۸۵±۱/۰۴۷۹	۱۵	تعادلی	شاخص توده بدنی (kg/m ²) (BMI)
	۲۵/۷۷۷±۲/۸۳۸۲	۱۵	هایپینگ	

* $p > 0.05$ -آزمون آماری تی مستقل

برای بررسی توزیع نرمال متغیرها از آزمون شاپیرووویلک استفاده شد و نتایج به دست آمده از این آزمون، نشان داد مقادیر اندازه گیری شده مربوط به متغیرهای تحقیق نرمال هستند ($P > 0/05$). همچنین جهت بررسی همگنی واریانس ها، از آزمون لوین استفاده شده است که نتایج آن نشان داد پیش فرض همگنی واریانس های نمرات در گروه های پژوهش تأیید گردید ($P > 0/05$) و مفروضه های لازم برای استفاده از آزمون آماری وجود دارد.

نتایج آنالیز تحلیل تی وابسته در رابطه با اثر تمرینات تعادلی و هایپینگ بر خطای بازسازی زاویه دورسی فلکشن و پلانتر فلکشن در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج این آنالیز نشان داد که میانگین پیش آزمون و پس آزمون در هر دو روش تمرینی تفاوت معنادار دارد ($p < 0/05$). همچنین در رابطه با مقایسه دو روش تمرینی نتایج آنالیز تحلیل کوواریانس نشان داد تفاوت معناداری بین اثر تمرینات هایپینگ و تعادلی بر حس عمقی مفصل مچ پا در ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی مچ پا وجود دارد (جدول ۳) ($p < 0/05$).

جدول ۲. نتایج آزمون تی وابسته برای بررسی اثر تمرینات تعادلی و هایپینگ بر خطای بازسازی زاویه دورسی فلکشن و پلانتر فلکشن

مقدار P	پس آزمون	پیش آزمون	متغیر	تمرینات
۰/۰۰۳*	۱/۸۲±۰/۴۲	۲/۸۷±۰/۵۱	دورسی فلکشن (درجه)	تعادلی
۰/۰۰۱*	۲/۰۸±۰/۳۹	۳/۲۵±۰/۶۶	پلانتر فلکشن (درجه)	
۰/۰۰۱*	۱/۱۲±۰/۵۶	۲/۳۵±۰/۳۲	دورسی فلکشن (درجه)	هایپینگ
۰/۰۰۱*	۱/۰۵±۰/۳۵	۲/۹۲±۰/۷۸	پلانتر فلکشن (درجه)	

* $p < 0.05$ -آزمون آماری تی وابسته

جدول ۳. نتایج آزمون تی وابسته برای بررسی اثر تمرینات هاپینگ بر خطای بازسازی زاویه دورسی فلکشن و پلانتار فلکشن

متغیر	گروه	پیش آزمون میانگین $\pm$ انحراف استاندارد	پس آزمون میانگین $\pm$ انحراف استاندارد	مقدار P	اندازه اثر
دورسی فلکشن	تعادلی	۲/۸۷ $\pm$ ۰/۵۱	۱/۸۲ $\pm$ ۰/۴۲	۰/۰۰۱*	۰/۸۰۴
	هاپینگ	۲/۳۵ $\pm$ ۰/۳۲	۱/۱۲ $\pm$ ۰/۵۶		
پلانتار فلکشن	تعادلی	۳/۲۵ $\pm$ ۰/۶۶	۲/۰۸ $\pm$ ۰/۳۹	۰/۰۰۱*	۰/۷۵۸
	هاپینگ	۲/۹۲ $\pm$ ۰/۷۸	۱/۰۵ $\pm$ ۰/۳۵		

* $p < 0.05$ - آزمون آماری تی وابسته

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد، ۶ هفته تمرینات تعادلی و هاپینگ منجر به کاهش معنی‌دار میزان خطای مطلق بازسازی زاویه دورسی فلکشن و پلانتار فلکشن گردید. بدین معنا که انجام تمرینات تعادلی و هاپینگ اختصاصی مچ پا، بهبود حس عمقی مچ پا در دورسی فلکشن و پلانتار فلکشن را به دنبال دارد. همچنین یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد، ۶ هفته تمرینات هاپینگ در کاهش خطای مطلق بازسازی زوایای دورسی فلکشن و پلانتار فلکشن مچ پای ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی مچ پا نسبت به تمرینات تعادلی اثر بخشی بیشتری دارند. با توجه به اینکه تا لحظه نگارش این پژوهش، تحقیقات کافی در زمینه مقایسه دو نوع تمرین از لحاظ حس عمقی وجود نداشته، لذا نتایج این پژوهش با نزدیکترین تحقیقات مقایسه شده است.

نتایج تحقیق حاضر با تحقیق یلفانی و همکاران (۲۰۱۷)، لی و همکاران (۲۰۰۸)، پلوم لی و همکاران (۲۰۱۰)، اسمعیل نیا و همکاران (۲۰۱۷)، آنگوش و همکاران (۲۰۱۰)، کریمی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، زاهدی و همکاران (۲۰۱۸) و کردی و همکاران (۱۳۹۹) همسو است (۱۷-۲۲) و با نتایج تحقیق برنیرو پرین (۱۹۹۸) و محمدی نیا و همکاران (۱۳۹۷) ناهمسو است (۲۳ و ۲۴). از دلایل ناهمسویی با تحقیق برنیرو و پرین، می‌توان به افرادی که در آن تحقیق شرکت کردند اشاره کرد که این افراد سالم بوده و غیرورزشکار بودند. همچنین مدت‌زمان تمرین آن‌ها در هر جلسه تمرینی ۱۰ دقیقه بوده است که ممکن است این تمرینات با مدت‌زمان کم‌اثر بخش نباشند. محمدی نیا و همکاران نیز به

مقایسه دو نوع تمرین هایپینگ و ترکیبی تعادلی- قدرتی بر تعادل ایستا و پویا و قدرت عضلات منتخب مردان فوتبالیست مبتلا به پیچ خوردگی مزمن یک طرفه میچ پا پرداختند و گزارش کردند که تمرینات منتخب تعادلی-قدرتی به علت جامع بودن آن و به دلیل اینکه هر یک از عوامل را به صورت مجزا تأکید دارد نسبت به تمرینات هایپینگ در بهبود قدرت و تعادل می تواند تأثیر بیشتری داشته باشد (۲۴). از دلایل ناهمسویی نتایج تحقیق حاضر با تحقیق محمدی نیا و همکاران می توان به نوع تمرینات اشاره کرد. پروتکل تمرینی مورد استفاده در آن تحقیق ترکیبی از تمرینات قدرتی و تعادلی بوده و فاکتوری که مورد ارزیابی قرار دادند قدرت و تعادل ایستا و پویا بوده است.

در رابطه با تمرینات تعادلی پژوهشگران نشان دادند در سطح نخاع، نقش اصلی آن تنظیم کردن رفلکس عضله است. اطلاعات حسی به دست آمده از گیرنده های مکانیکی مفصل به دنبال بروز رفلکس های تعادلی، به طور رفلکسی موجب یک انقباض حمایتی اطراف مفصل می شوند و از وارد شدن فشار بیش از حد بر عوامل پاسیو محدود کننده حرکت مفصل ممانعت می نمایند. در سطح ساقه مغز، بروز رفلکس های تعادلی به کنترل تعادل بدن کمک می کند و در سطح مراکز عصبی بالاتر (قشر مغز و مخچه) فرد با تمرکز و توجه و به طور آگاهانه سعی در کنترل هوشیارانه وضعیت مفصل و تعادل بدن خود می نماید. کنترل در هریک از این سطوح نیازمند اطلاعات حسی جمع آوری شده از سیستم های بینایی، دهلیزی و حسی - پیکری است. در نتیجه با دشوارتر شدن شرایط تمرین (با بستن چشم ها، حفظ تعادل روی یک پا و استفاده از تخته تعادل چند صفحه ای)، اضافه بار روی حس های نامبرده و حس عمقی بیشتر می شود (۲۵ و ۲۶). مطالعات نشان داده است که حس عمقی قابل تعلیم است و برنامه هایی که شامل تعلیم حس عمقی باشد، موجب پیشرفت حرکات عملکردی می شود. برای تعلیم حس عمقی باید از تمریناتی استفاده کرد که این سیستم را درگیر کند. پژوهش ها نشان داده است که تمرینات بهبود تعادل، موجب درگیر شدن سیستم حس عمقی می شود (۲۶ و ۲۷). از سوی دیگر هر عاملی که موجب کاهش حس عمقی شود، با ایجاد بی ثباتی مکانیکی مفصل را مستعد ضربات خفیف و آسیب می کند؛ علاوه بر این، با ایجاد ضایعات لیگامانی در مفصل، به طور معکوس حس عمقی مفصل بیشتر کاهش می یابد (۲۸). همچنین محققین اظهار داشتند که تمرینات تعادلی می تواند منجر به افزایش فعالیت دوک عضلانی از طریق ارتقای کنترل عصبی عضلانی می شود (۲۹). اما در رابطه با تمرینات هایپینگ نتایج نشان می دهد سازگاری محیطی و مرکزی توسط تمرینات هایپینگ به وجود آمده است و در نتیجه باعث بهبود حس وضعیت مفصل شد. سازگاری محیطی ممکن است به این علت باشد که تمرینات هایپینگ باعث تحریک مکرر مکانورسپتورهای مفصلی در دامنه انتهایی میچ پا در طول این تمرینات می شود (۳۰). تحقیقات قبلی نشان داده است که مکانورسپتورهای مفصلی زمانی که میچ پا به انتهای دامنه حرکتی خود حرکت می کند به صورت حداکثر تحریک می شوند (۳۱). علاوه بر این، تغییر سریع طول و تنش که در ساختار تاندونی- عضلانی در طول انقباضات اکستریک بارگذاری می شود و ممکن است باعث تسهیل سازگاری دوک عضلانیو اندام وتری گلژی شود. پژوهشگران زیادی معتقد هستند که حساسیت زدایی اندام وتری گلژی باعث تحریک بیشتر کشش دوک عضلانی به تغییر طول می شود (۳۲). با بالا رفتن تحریک

سیستم دوک عضلانی، سهم آوران های دوک عضلانی به سیستم عصبی مرکزی با توجه به موقعیت مفصل افزایش حس عمقی می یابد. این سازگاری همچنین می تواند باعث افزایش حس عمقی نشان داده شده در این ورزشکاران باشد. سازگاری مرکزی نیز ممکن است باعث افزایش حس وضعیت مفصل بعد از تمرینات هایپینگ باشد. تازگی این تکلیف نیاز به فعال سازی مقدماتی عضلات در پیش بینی، تعادل و تحمل وزن در هنگام فرود و انقباض غیرارادی برای نیروی کانستریک تولید شده در هایپینگ متعاقب بعدی است. هنگامی که عضلات تحریک می شوند، حس وضعیت مفصل به طور قابل توجهی بهبود پیدا می کند، بنابراین هایپینگ باعث افزایش و تقویت آگاهی از موقعیت مفصل می شود (۳۳). در هنگام انجام هایپینگ و در مرحله اولیه جدا شدن فرد از روی زمین و غلبه بر نیروی وزن، نیاز به قدرت عضلات پلانتر فلکسور است و این عمل باعث افزایش تحریک مکانورسپتورهای می شود که بیشتر آن ها در فعالیت عادی نیز فعال هستند. به همین علت در این مطالعه پس از دوره تمرینی بهبود حس وضعیت مفصل در حرکت پلانتر فلکشن بهبود یافته است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد تمرینات هایپینگ می تواند اثربخشی بهتری در حس عمقی مفصل مچ پا داشته باشد. از دلایل برتری تمرینات هایپینگ می توان به این نکته اشاره کرد که تمرینات هایپینگ موجب تغییراتی در کنترل عصبی عضلانی می شود. رفتار مهارت حرکتی به توانایی مغز در یادگیری کنترل بدن و پیش بینی متعاقب این کنترل بستگی دارد. توانایی پیش بینی به انتظاری که از اطلاعات حسی متعاقب می رود بستگی دارد درحالی که کنترل پیامدهای مورد نظر به دستورات حرکتی بستگی دارد. افراد مبتلا به ناپایداری عملکردی مچ پا در پیش بینی دستورات حرکتی متعاقب دچار مشکل هستند و کنترل حرکتی در آنها برای تبدیل و یا چرخش اطلاعات حسی به دستورات حرکتی دچار نقص است (۳۴). بر اساس نظریه کنترل حرکتی یادگیری تکالیف به صورت دینامیک برای یادگیری مجدد کنترل حرکتی و همچنین اصلاح برنامه حرکتی لازم است. اطلاعات حسی صحیح باید به کورتکس مغز منتقل شوند تا فیدبک حس عمقی در طول حرکات دینامیک بازآموزی شوند (۳۴). تمرینات هایپینگ با چرخه کشش و کوتاه شدن در زنجیره بسته ای هستند که می توانند مکرراً گیرنده های مفصلی را تحریک، اندام وتری گلژی را حساسیت زدایی و باعث تحریک دوک های عضلانی شده و اطلاعات حسی را بهبود می بخشد (۳۵ و ۳۶). تمرینات هایپینگ با بهبود آوران های سوماتوسنسوری، تقویت و بازآموزی و احتمالاً مسیر آورانی جدید اطلاعات حسی بهتری را فراهم می کند (۳۷ و ۳۸). از دلایل احتمالی دیگر می توان به این مورد اشاره کرد که تمرینات هایپینگ قدرت و تعادل را در ذات خود دارد و نسبت به تمرینات تعادلی برتری داشته باشد و اثر بیشتری در حس عمقی مفصل مچ پا داشته باشد. همچنین در تمرینات هایپینگ عضلات مجبورند برای جذب شوک بیشتر مورد فعالیت قرار بگیرند و به مقدار بیشتری در هنگام اجرای عملکرد ورزشی تقویت شوند؛ ولی تمرینات تعادلی این گونه نیست (۲۴).

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمرینات تعادلی و هایپینگ باعث بهبود حس عمقی مفصل مچ پا ورزشکاران مبتلا به ناپایداری عملکردی مچ پا گردیده است و همچنین تمرینات هایپینگ نسبت به تعادلی اثربخشی بیشتری دارند. با توجه به نتایج به دست آمده می توان نتیجه گرفت که تمرینات هایپینگ و تعادلی در دوره توان بخشی پیچ خوردگی مچ پا از آنجایی که موجب افزایش حس عمقی مفصل می شود استفاده گردد و لذا به کلیه مربیان ورزشی و افراد درمان گر پیشنهاد می شود که تمرینات هایپینگ می تواند جایگزین تمرینات تعادلی شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از هیئت پزشکی ورزشی و اداره کل ورزش و جوانان استان یزد و تمامی کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند سپاسگزاری می کنیم.

پیوست ۱

خروجی نرم افزار جی پاور برای تعیین حجم نمونه

[1] -- Sunday, March 31, 2024 -- 15:54:34

F tests – ANCOVA: Fixed effects, main effects and interactions

Analysis: A priori: Compute required sample size

Input:	Effect size f	=	0.5
	α err prob	=	0.05
	Power (1- β err prob)	=	0.8
	Numerator df	=	1
	Number of groups	=	2
	Number of covariates	=	1
Output:	Noncentrality parameter λ	=	8.5000000
	Critical F	=	4.1596151
	Denominator df	=	31
	Total sample size	=	34
	Actual power	=	0.8062458

References

1. Minoonejad H, Kheiroddin F, Alizadeh M H, Panahpakhsh M, Zareei M. Comparison of the effects of modified FIFA 11+ Program and FIFA 11+ on the prevention of lower extremity injuries in young male soccer players. *Journal of research sport rehabilitation* 2014; 2(3): 1-9. <https://sid.ir/paper/252194/en>
2. Rein S, Fabian T, Weindel S, Schneiders W, Zwipp H. The influence of playing level on functional ankle stability in soccer players. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2011; 131(8):1043-1052. Doi:10.1007/s00402-011-1275-8.
3. Mahdavi Z, Mahdavi Nejad R, Zolaktaf V, Sahebozamani M, Najafabadi M. Comparison of balance between female basketball players with and without a history of lateral ankle sprain. *Sports medicine Journal*. 1390; 4(6): 103-114. (Farsi). https://sshr.ut.ac.ir/article_23339_3db369a4112f813f00d4e4d9d6cf2c76.pdf
4. Karimizadeh Ardakani M, Alizade MH, Ebrahimi Takamjani E. The effect of 6-week hopping exercises program on joint position sense in athletes with functional ankle instability. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*. 2013 Jul 1; 9(3):540-552. (Farsi). Doi: 10.22122/JRRS.V9I3.965
5. Ross SE, Guskiewicz KM. Effect of coordination training with and without stochastic resonance stimulation on dynamic postural stability of subjects with functional ankle instability and subjects with stable ankles. *Clin J Sport Med* 2006; 16(4): 323-328.
6. Twist C, Gleeson N, Eston R. The effects of plyometric exercise on unilateral balance performance. *Journal of sports sciences*. 2008 Aug 1; 26(10):1073-80. Doi:10.1080/02640410801930168
7. Minoonejad H, Karimizadeh Ardakani M, Rajabi R, Wikstrom AE, Sharifnezhad A. Hop stabilization training improves neuromuscular control in college basketball players with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *J Sport Rehabil* 2019;28(6):576–583. doi:10.1123/jsr.2018-0103
8. McKeon PO, Paolini G, Ingersoll CD, Kerrigan DC, Saliba EN, Bennett BC, Hertel J. Effects of balance training on gait parameters in patients with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*. 2009; 23(7):609-621. Doi:10.1177/0269215509102954
9. Jain TK, Wauneka CN, Liu W. The effect of balance training on ankle proprioception in patients with functional ankle instability. *In Journal of Foot and Ankle Research* 2014; 7(1): 1-2. Doi:10.1186/1757-1146-7-S1-A37
10. Ben Moussa Zouita A, Majdoub O, Ferchichi H, Grandy K, Dziri C, Ben Salah F.Z .The effect of 8-weeks proprioceptive exercise program in postural sway and isokinetic strength of ankle sprains of Tunisian athletes". *Journal of Ann Phys Rehabil Med* 2013; 56(9-10), 634-644. Doi:10.1016/j.rehab.2013.08.003
11. Huang PY, Chen WL, Lin CF, Lee HJ. Lower extremity biomechanics in athletes with Ankle instability after a 6-week integrated training program. *Journal of Athletic Training* 2014; 49(2):163-174. Doi:10.4085/1062-6050-49.2.10
12. Docherty CL, Moore JH, Arnold BL. Effects of strength training on strength development and joint position sense in functionally unstable ankles. *Journal of athletic training*. 1998; 33(4):310. PMID: 16558526; PMCID: PMC1320579.
13. Stillman BC. An investigation of the clinical assessment of joint position sense .2000; 179-180
14. Hale SA, Fergus A, Axmacher R, Kiser K. Bilateral improvements in lower extremity function after unilateral balance training in individuals with chronic ankle instability. *Journal of athletic training*. 2014; 49(2):181-191. Doi:10.4085/1062-6050-49.2.06
15. McCurdy K, Walker J, Saxe J, Woods J. The effect of short-term resistance training on hip and knee kinematics during vertical drop jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012 May 1; 26(5):1257-1264. Doi: 10.1519/JSC.0b013e31824f2386
16. O'Driscoll J, Kerin F, Delahunt E. Effect of a 6-week dynamic neuromuscular training programme on ankle joint function: a case report. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*. 2011; 3(1):1-7. Doi:10.1186/1758-2555-3-13
17. Yalfani A, Ahmadnezhad L, Gholami Borujeni B. The immediate effect of balance training on ankle joint proprioception in soccer players. *Journal of Paramedical Sciences & Rehabilitation*. 2017; 6(3):36-43. Doi:10.22038/jpsr.2017.14355.1312.
18. Lee AJ, Lin W-H. Twelve-week biomechanical ankle platform system training on postural stability and ankle proprioception in subjects with unilateral functional ankle instability. *Clinical Biomechanics*. 2008; 23(8):1065-1072. Doi:10.1016/j.clinbiomech.2008.04.013

19. Plumley JL. Plumley JL. Results of the Biodex Stability System on Proprioception and Balance Following an Achilles Tendon Repair: A Case Report (Doctoral dissertation, Sage Colleges).2010
20. Anguish BM. The effects of a randomized four-week dynamic balance training program on individuals with chronic ankle instability.)MSc Thesis(. Morgantown, WV: West Virginia University; 2010
21. Zahedi M, Daneshjoo A, Sahebozamani M, SadeghiGogheri M. Comparison of Effects of Hopping and Box Jump Training on the Proprioception in Male with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J Rehab Med. 2018; 7(3): 1-9. (Farsi)
22. Ashkezari MH, Sahebozamani M, Daneshjoo A, Bafghi HA. Comparison of the Effect of 6 Weeks of Balancing and Hopping Strengthening Training on the Kinematics of the Lower Extremities of Athletes with Functional Ankle Instability while Running: A Randomized Controlled Trial. Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences. 2020; 28(7): 2854-2866. (Farsi). Doi:10.18502/ssu.v28i7.4269
23. Bernier JN, Perrin DH. Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 1998; 27(4):264-275. Doi:10.2519/jospt.1998.27.4.264
24. Mohammadinia H, Samakosh, Seyed Sadradin Shojaedin, Malihe Hadadnezhad.) Comparison of effect of hopping and combined balance – strength training on balance and lower extremity selected muscles strength of soccer men with chronic ankle instability(. JGorgan Univ Med Sci. 2019; 21(3): 69-78. (Farsi). <http://goums.ac.ir/journal/article-1-3387-en.html>
25. Rozzi SL, Lephart SM, Sterner R, Kuligowski L. Balance training for persons with functionally unstable ankles. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 1999; 29(8):478-486. Doi:10.2519/jospt.1999.29.8.478.
26. Verhagen E, Bobbert M, Inklaar M, van Kalken M, van der Beek A, Bouter L, van Mechelen W. The effect of a balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance. Clinical Biomechanics. 2005 Dec 1; 20(10):1094-100. Doi:10.1016/j.clinbiomech.2005.07.001
27. Fu AS, Hui-Chan CW. Ankle joint proprioception and postural control in basketball players with bilateral ankle sprains. The American journal of sports medicine. 2005; 33(8):1174-82. Doi:10.1177/0363546504271976
28. Konradsen L, Ravn JB, Sorensen AI. Proprioception at the ankle: the effect of anaesthetic blockade of ligament receptors. The Journal of bone and joint surgery. British volume. 1993 May; 75(3):433-6. Doi:10.1302/0301-620X.75B3.8496215
29. Clark VM, Burden AM. A 4-week wobble board exercise program improved muscle onset latency and perceived stability in individuals with functionally unstable ankle. Physical therapy in sport 2005; 6(4): 181-187. Doi:10.1016/j.ptsp.2005.08.003
30. Grigg P. Peripheral neural mechanisms in proprioception. Journal of Sport Rehabilitation. 1994 1; 3(1):2-17. Doi:10.1123/jsr.3.1.2
31. Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. Am J Sports Med 1997; 25(1): 130-137. Doi:10.1177/036354659702500126
32. Davies GJ, Dickoff-Hoffman S. Neuromuscular testing and rehabilitation of the shoulder complex. J Orthop Sports Phys Ther 2008; 18(2): 449-458. Doi:10.2519/jospt.1993.18.2.449
33. Voight M, Tippet S. Plyometric exercise in rehabilitation. In: Prentice WE, editor. Rehabilitation techniques in sports medicine. Philadelphia, PA: Mosby; 2010. p. 88-97.
34. Caulfield B, Garrett M. Changes in Ground Reaction Force during Jump Landing in Subjects with Functional Instability of the Ankle Joint. Clin Biomech 2004; 19(6): 617-621. Doi:10.1016/j.clinbiomech.2004.03.001
35. Coughlan G, Caulfield B. A 4-Week Neuromuscular Training Program and Gait Patterns at the Ankle Joint. J Athl Train 2007; 42(1): 51-59.
36. Myer GD, Kushner AM, Faigenbaum AD, Kiefer A, Kashikar-Zuck S, Clark JF. Training the developing brain, part I: cognitive developmental considerations for training youth. Current sports medicine reports. 2013 1; 12(5):304-310. Doi: 10.1097/01.CSMR.0000434106.12813.69
37. Delahunt E, Monaghan K, Caulfield B. Changes in Lower Limb Kinematics, Kinetics, and Muscle Activity in Subjects with Functional Instability of the Ankle Joint during a Single Leg Drop Jump. J Orthop Res 2006; 24(10): 1991-2000. Doi:10.1002/jor.20235

38. Hoch MC, Farwell KE, Gaven SL, Weinhandl JT. Weight-Bearing Dorsiflexion Range of Motion and Landing Biomechanics in Individuals with Chronic Ankle Instability. *J Athl Train* 2015; 50(8): 833-839. Doi:10.4085/1062-6050-50.5.07