Iranian Journal of Ergonomics

Iran J Ergon, 2022; 10(1): 17-25.

DOI:10.18502/iehfs.v10i1.14408

https://journal.iehfs.ir/

Original Article

Evaluation of the Effect of Balance Training on Postural Control in People with Chronic Ankle Instability Against External Disturbances

Hadi Miri[1,*], Seyed Sadraldin Shojaaldin[2], Amirhosein Barati[3], Maliheh Hadadnejad[2], Shahram Ahanjan[4]

[1] Department of Physical Education and Sport Sciences, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
[2] Department of Biomechanic and Sport Injury, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
[3] Department of Sport Injury, School of Physical Education and Sport Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[4] Department of Physical Education and Sport Sciences, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Article History:
Received: 28/12/2021
Revised: 22/01/2022
Accepted: 10/04/2022
ePublished: 02/07/2022

***Corresponding author:** Hadi Miri, Department of Physical Education and Sport Sciences, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.
Email: hd.miri@aut.ac.ir

Abstract

Objectives: Ankle sprain leads to a decrease in proprioception and awareness of the sense of motion with motor consequences. On the other hand, damage to this joint is an important factor in affecting balance and consequently re-injury. Strengthening the factors that help maintain balance and posture, can be a basic strategy in the treatment of balance and postural problems, as well as injuries.
Methods: In this quasi-experimental study, 30 patients with chronic ankle instability were randomly divided into experimental and control groups. Both groups were pre-tested and the experimental group performed core stability exercises against gravity for six weeks. Post-test was taken again from both groups. Data were analyzed using one-way analysis of covariance. Statistical operations were performed at a significant level of $\alpha \leq 0.05$.
Results: Postural control index in the experimental group was higher in the first position and lower than the other in the sixth position. The mean of the postural control index in the experimental group was significant compared to the control group ($\alpha \leq 0.05$).
Conclusion: Performing exercises for core stability or training on unstable surfaces deploying sensory receptors is likely to cause the muscles to be more actively involved and the central nervous system to receive more appropriate and effective stimuli from the nerves of different sensory receptors, and thus this exercises improve postural stability.

Keywords: Balance training; Posture control; Chronic instability; External perturbations

Copyright © 2022 Iranian Journal of Ergonomics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (*http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/*) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite.

Extended Abstract

Background and Objective

People with ankle instability show a decrease in proprioceptiveness and awareness of the sense of movement, which considerably affects balance and posture control and in the case of re-injury, depending on its severity after the initial injury, may be more than 80% in active in sport and athlete among people. The inability to sense ankle proprioception changes movement coordination and movement patterns, as in increasing the time it takes to start contracting the muscles around the joint and reducing their contraction range, thereby raising the risk of twisting the ankle joint.

The ability to control posture and balance is facilitated via sensory data from bodily sensory receptors, vision and the vestibular system. Undoubtedly, examining posture control against external disturbances in response to balance exercises can provide necessary information to design effective movement and exercise strategies for rehabilitation, provide a more suitable exercise program for people to use and prevent the recurrence of chronic ankle instability as well as prevent the transformation of acute ankle sprain injury into chronic instability.

Materials and Methods

The present study is semi-experimental and 30 people with chronic ankle sprain [20 to 30 years old] based on G*Power software in accordance to the inclusion and exclusion criteria were purposefully selected and randomly divided into two experimental [15 people] and control [15 people] groups. Upon entering, the subjects must score greater than or equal to 90% of the Foot and Ankle Disability Index questionnaire and greater than or equal to 75% of the Foot and Ankle Disability Index Sport score. Also, during the last six month they had at least twice the feeling of ankle instability or joint emptying during daily activities or sports. A computerized dynamic pasteurography device was used to assess the subjects' posture.

Results

In order to evaluate the postures of the subject, this system has two force plates to examine variables affecting posture control meanwhile evaluates the performance of each of the proprioceptive, vestibular, and vision systems in posture control, and has 6 positions in three situations. First, the force plates are fixed, and in the other three positions, they move in the anterior and posterior directions.

Three situations with eyes open, three situations with eyes closed, three situations with visual stability, and three other situations with visual intervention. Each subject must maintain his posture control for 20 seconds in the above positions and every position was repeated 3 times.

In each of the scenarios in this test, a score of 0 to 100 is presented as the index of the individual's posture control, and the average of 3 times of the test is considered as the index score of the individual's posture control. Kolmogorov-Smirnov test was used to check the normality of data distribution. To investigate the difference in postural control between the two groups, the analysis of covariance statistical test was used, and to investigate intra-group changes, the correlated t-test was used at the level of $\alpha \leq 0.05$.

Discussion

The present study showed that people with chronic ankle instability in the test group had more stability and a more stable posture against the manipulation of sensory information, compared to the control group. The average percentage of postural control score in people in the first to third position is higher than in the fourth to sixth position, and in the sixth position, where the sense of hearing and depth are manipulated, it is lower than the other positions. This shows that in the first situation [evaluation using all 3 senses], the second situation [elimination of vision and the presence of 2 senses of hearing and depth], the third situation [manipulation of the sense of hearing and the presence of 2 senses of vision and depth] more people than the strategy They used the ankle to control their posture and balance. But in the fourth situations [proprioception manipulation], the fifth [removal of vision and proprioception manipulation] based on the percentage score of lower stability, difficult sensory perceptions and greater displacement of the center of gravity, more people used the thigh strategy to maintain balance and control posture. A decrease in sensory integration, decrease in the function of deep touch and pressure receptors, vision and hearing lead to decrease in balance and posture control, as well as more use of the thigh strategy. Performing balance exercises or training on unstable surfaces probably causes the muscles to be more actively involved and the central nervous system to receive more appropriate and effective stimulations from the afferent nerves of the proprioceptive receptors of these muscles. And they increase the sensitivity of the feedback pathways, shorten the start time of muscle contraction and improve the sensitivity of the sense of position, thus improving posture contro.

Conclusion

Due to the dependence of the postural system on sensory inputs, if one of the sensory inputs is lessened or disturbed, a decrease in sensory integration, a decrease in the function of deep sense receptors, vision and hearing leads to an increase in body sway, a decrease in balance and postural control, and balance exercises with disturbance probably increased the sensitivity of the feedback pathways and improved the sensitivity of proprioception that results in a more active involvement of the muscles and the central nervous system and sense more accurate and effective stimulations from the afferent nerves of different sensory receptors.

Please cite this article as follows: Miri H, Shojaaldin SS, Barati A, Hadadnejad M, Ahanjan S. Evaluation of the Effect of Balance Training on Postural Control in People with Chronic Ankle Instability Against External Disturbances. *Iran J Ergon*. 2022; 10(1): 17-25. DOI:10.18502/iehfs.v10i1.14408

مجله ارگونومی
دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، صفحات: ۲۵-۱۷
https://journal.iehfs.ir
UMSHA Press

مقاله پژوهشی

بررسی اثر تمرین تعادلی بر کنترل پاسچر افراد با بی‌ثباتی مزمن مچ پا در برابر اغتشاشات بیرونی

هادی میری[۱،*]، سید صدرالدین شجاع‌الدین[۲]، امیرحسین براتی[۳]، ملیحه حدادنژاد[۲]، شهرام آهنجان[۴]

[۱] گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
[۲] گروه حرکات اصلاحی و آسیب شناسی ورزشی ، دانشکده‌ی تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران
[۳] گروه حرکات اصلاحی و آسیب شناسی ورزشی ، دانشکده‌ی تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۴] گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷
تاریه داوری مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** هادی میری؛ گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
ایمیل: hd.miri@aut.ac.ir

چکیده

اهداف: اسپرین مچ پا منجر به کاهش در حس عمقی و آگاهی از حس حرکت شده و تبعات حرکتی را در بر دارد. از طرفی آسیب این مفصل، عامل مهمی در کاهش تعادل و در نتیجه آسیب مجدد می‌باشد. تقویت عوامل مؤثر در حفظ تعادل و کنترل پاسچر و از جمله حس عمقی می‌تواند به عنوان یک راهبرد اساسی در درمان مشکلات تعادلی و پاسچرال و همچنین آسیب‌های افراد باشد.

روش کار: ۳۰ فرد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در این مطالعه‌ی نیمه تجربی به طور تصادفی به دو گروه آزمون و شاهد تقسیم شدند از هر دو گروه پیش‌آزمون گرفته شد و گروه آزمون شش هفته تمرینات تعادلی در برابر اغتشاش انجام داد. مجدداً از هر دو گروه پس آزمون گرفته شد. داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل کوواریانس یک طرفه بررسی گردید. عملیات آماری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ ≥ α انجام شد.

یافته‌ها: شاخص کنترل پاسچر در افراد گروه آزمون در وضعیت‌های اول بیشتر و در وضعیت ششم، کمتر از سایر وضعیت‌ها بود. میانگین شاخص کنترل پاسچر در افراد گروه آزمون نسبت به گروه شاهد معنی‌دار بود (۰/۰۵ ≥ α).

نتیجه‌گیری: انجام تمرینات تعادلی یا تمرین روی سطوح ناپایدار همراه با درگیری گیرنده‌های حس عمقی، احتمالاً باعث می‌شود عضلات به طور فعال‌تری درگیر شوند و سیستم عصبی مرکزی تحریکات مناسب‌تر و مؤثرتری از اعصاب آوران گیرنده‌های حسی مختلف دریافت نمایند و بدین صورت این تمرینات باعث بهبود کنترل پاسچر می‌گردد.

کلید واژه‌ها: تمرین تعادلی؛ کنترل پاسچر؛ بی‌ثباتی مزمن؛ اغتشاشات بیرونی

استناد: میری هادی، شجاع‌الدین سید صدرالدین، براتی امیرحسین، حدادنژاد ملیحه، آهنجان شهرام. بررسی اثر تمرین تعادلی بر کنترل پاسچر افراد با بی‌ثباتی مزمن مچ پا در برابر اغتشاشات بیرونی. مجله ارگونومی، بهار ۱۴۰۱؛۱۰(۱): ۲۵-۱۷.

مقدمه

بی‌ثباتی مکانیکی و بی‌ثباتی عملکردی مچ پا، به عنوان دو عامل اساسی در ایجاد بی‌ثباتی مزمن مچ پا مطرح شده است. آسیب عوامل مکانیکی مفصل مچ پا (مثل آسیب بافت‌های لیگامانی، اختلال آرتروکینماتیک و تغییرات دژنراتیو مفصل) به دنبال پیچ‌خوردگی شدید یا پیچ‌خوردگی‌های مکرر مچ پا، باعث ایجاد بی‌ثباتی مکانیکی مفصل مچ پا می‌شود [۱]. افرادی که سابقه‌ی کشیدگی لیگامانی مچ پا دارند، در حس عمقی و آگاهی از حس حرکت، کاهش نشان می‌دهند که این کاهش در حس عمقی و آگاهی از حس حرکت، عامل مهمی در کاهش تعادل و کنترل پاسچر و در نتیجه آسیب مجدد بعد از آسیب اولیه، ممکن است بیش از ۸۰ درصد در بین افراد فعال باشد [۲]. اگر افراد مبتلا به بی‌ثباتی عملکردی مچ پا در شرایط تکلیف دوگانه و در وضعیت راه رفتن قرار گیرند، با تغییر شرایط راه رفتن میزان خطر پیچ‌خوردگی مجدد افزایش می‌یابد [۳].

در حالت ایستاده، جابجایی بیش از حد مرکز ثقل برای حفظ تعادل، سبب افزایش نوسان می‌شود، به دنبال آن کناره‌ی خارجی پا

به عنوان یک تکیه‌گاه عمل می‌کند تا با اینورژن مچ پا که در پی آن ایجاد می‌شود، افزایش نوسان پاسچر جبران شود. چنانچه مچ پا قادر به جبران این نوسانات خارجی نباشد، استراتژی ران فعال شده تا از ایجاد گشتاور یا حرکت بیش از حد اینورژن مچ پا جلوگیری کند. ضعف عضلات ران، این مکانیزم کمکی برای کنترل نوسانات خارجی را کم اثر کرده و در این حال، احتمال آسیب جدی مچ پا فراهم می‌شود [۴]. افرادی که پس از پیچ‌خوردگی اولیه مچ پای خود در توانبخشی تحت نظارت، شرکت کردند، سرعت COP (Center of pressure) کمتری در جهت قدامی- خلفی (P = ۰/۰۳۰) در مقایسه با کسانی که در توانبخشی تحت نظارت شرکت نکردند، داشتند.

در میان افراد مبتلا به CAI (Chronic ankle instability)، عدم حضور در توانبخشی تحت نظارت، در زمان آسیب اولیه ممکن است منجر به نتایج بدتر کنترل پاسچر در وضعیت استاتیک شود [۵]. مرادی و همکاران با بررسی آنی تمرینات ثبات مرکزی بر نوسان پاسچر افراد با بی‌ثباتی عملکردی مچ پا نشان دادند که تمرینات ثبات مرکزی بر روی نوسان پاسچر افراد دارای بی‌ثباتی عملکردی مچ پا در حالت چشمان بسته، اثر دارد و به طور معنی‌داری باعث کاهش نوسان پاسچر می‌شود.

هر چند که مطالعات فوق از تمرینات ثبات مرکزی کوتاه‌مدت استفاده کرده است ولی با نتایج مطالعه‌ی حاضر که از تمرینات طولانی‌مدت چند هفته‌ای استفاده کرده، همسو می‌باشد [۶]. حس عمقی، در فرایند پایدار کردن مناسب مکان قرارگیری پا مبنی بر موقعیت مکانیکی لگن جهت کنترل وضعیت پای ایستا و پای نوسان، نقش دارد [۷]. عدم موفقیت در محدودیت مفصل توسط لیگامنت‌های آسیب دیده ممکن است باعث اختلال تعادل داخلی- خارجی در این افراد باشد. آسیب حس عمقی نیز در نوسانات کنترل پاسچر نقش دارد [۷]. برخی از گیرنده‌های عمقی در لیگامنت‌های خارجی مچ پا قرار دارند که آسیب آن‌ها، فعالیت آوران‌های عصبی را کاهش داده و متعاقباً فعالیت عضله برای پایدارسازی مچ پا در طول اغتشاش را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۸]. ناتوانی در حس عمقی مچ پا، باعث تغییر هماهنگی حرکت و الگوهای حرکتی مانند: افزایش زمان شروع به انقباض عضلات اطراف مفصل و کاهش دامنه‌ی انقباض آن‌ها شده که احتمال پیچ‌خوردگی مفصل مچ پا را افزایش می‌دهد [۹].

حفظ تعادل و کنترل پاسچر هنگام ایستادن ممکن است به ظاهر مهارت حرکتی نسبتاً ساده‌ای برای افراد سالم باشد، اما این مسأله در مورد افراد با اختلال عملکرد عضلانی- اسکلتی صدق نمی‌کند [۱۰]. توانایی کنترل پاسچر و تعادل با درون‌دادهای حسی از گیرنده‌های حسی پیکری، بینایی و دستگاه دهلیزی رابطه دارد. اطلاعات مربوط به موقعیت و حرکت بخش‌های مختلف بدن نسبت به یکدیگر، سطح اتکا و کشش عضلات مربوطه، توسط گیرنده‌های حسی پیکری مهیا می‌شود، زیرا فعالیت عضلات در زمان برقراری تعادل بدن حول محور مفاصل است، نقش استراتژی‌های مچ پا، ران و عضلات مربوط به آن‌ها نیز اهمیت دارد از این‌رو استفاده‌ی مؤثر از استراتژی مچ پا به دقت احساس درون‌دادهای حس‌های پیکری، بستگی پیدا می‌کند [۱۱].

سیستم عصبی با دو مکانیسم پس‌خوراند و پیش‌خوراند، کنترل حرکات بدن، وضعیت بدن و تعادل را عهده‌دار است. در مکانیسم‌های پس‌خوراند، سیستم عصبی با پایش سیگنال‌های حسی اندام و بکار بردن چنین اطلاعاتی به طور مستقیم بر عملکرد اندام اثر می‌گذارد و در مکانیسم‌های پیش‌خوراند، سیستم عصبی با بکارگیری حس‌های مختلف مثل: بینایی، شنوایی و حس عمقی با توجه به تجربیات قبلی و مدل‌های درونی، حرکت و پاسچر بدنی را کنترل می‌کند [۱۲].

مکانیسم‌های کنترل عصبی- عضلانی، سفتی مفصل را افزایش داده، باعث تأمین ثبات، کنترل گشتاور مفصل و تعادل گردیده و از بهم خوردن تعادل و ثبات سیستم جلوگیری می‌کند [۱۲].

از میان تکنیک‌های مختلف طراحی شده، آن‌هایی که بر اساس اصول یادگیری حرکتی (Motor learning) طراحی شده‌اند به صورت تمرینات مکرر فعالیت‌های عملکردی در شرایط مختلف و همراه با فیدبک کافی و مناسب اجرا می‌گردند [۱۳]. با این وجود، مطالعه‌ای که تأثیر مداخلات تمرینی بر وضعیت‌های حرکتی کنترل پاسچر در افراد با بی‌ثباتی مزمن مچ پا در برابر اغتشاشات بیرونی را بررسی کند، توسط محقق یافت نشد و اکثر تحقیقاتی که تاکنون انجام گرفته، پیرامون اثر بی‌ثباتی یک طرفه‌ی مچ پا روی کنترل وضعیتی ایستا و کارآیی عملکردی اندام تحتانی [۱۴] و خستگی بوده که بعضاً با نتایج متناقض همراه بوده است.

تمرینات تعادلی یکی از روش‌های رایج و عملکردی در بازتوانی بی‌ثباتی مزمن مچ پا است که برای کمک به بازآموزی سیستم حس عمقی از طریق بهبود عملکرد گیرنده‌های مکانیکی مفصل و بازگرداندن حلقه‌ی بازخورد عصبی- عضلانی، طراحی شده‌اند [۱۵]. بی‌شک بررسی کنترل پاسچر در برابر اغتشاشات بیرونی در پاسخ به تمرینات تعادلی می‌تواند اطلاعات لازم جهت طراحی استراتژی‌های حرکتی و تمرینی مؤثر برای بازتوانی، برنامه‌ی تمرینی مناسب‌تر جهت استفاده‌ی افراد و جلوگیری از وقوع مجدد بی‌ثباتی مزمن مچ پا و همچنین جلوگیری از تبدیل شدن آسیب پیچ‌خوردگی حاد مچ پا به بی‌ثباتی مزمن را فراهم سازد. لذا هدف از مطالعه‌ی حاضر، بررسی تأثیر شش هفته تمرین تعادلی بر کنترل پاسچر افراد با بی‌ثباتی مزمن مچ پا در برابر اغتشاشات بیرونی می‌باشد.

روش کار

مطالعه‌ی حاضر از نوع نیمه‌تجربی بوده و ۳۰ فرد مبتلا به پیچ‌خوردگی مزمن مچ پا [۲۰ تا ۳۰ سال] بر اساس نرم‌افزار G*Power و معیارهای ورود و خروج به صورت هدفمند انتخاب و به طور تصادفی در دو گروه تجربی (۱۵ نفر) و شاهد (۱۵ نفر) قرار گرفتند. آزمودنی‌ها در بدو ورود باید بیشتر یا مساوی ۹۰ درصد نمره‌ی پرسش‌نامه‌ی شاخص‌های ناتوانی پا (Foot and ankle disability index) و بیشتر یا مساوی ۷۵ درصد نمره‌ی شاخص ورزشی ناتوانی پا

(Foot and ankle disability index sport) را کسب نمایند. همچنین در شش ماه گذشته دارای حداقل دوبار احساس بی‌ثباتی مچ پا یا احساس خالی شدن مفصل در حین انجام فعالیت روزمره یا ورزشی باشند و هنگام اجرای تحقیق باید بتواند به طور کامل تحمل وزن و راه رفتن طبیعی را داشته باشند و دامنه‌ی حرکتی مفصل مچ پا کامل باشد [۱۶، ۱۷]. آزمودنی‌هایی که سابقه‌ی شکستگی یا جراحی مفاصل اندام تحتانی، اختلالات وضعیتی اندام تحتانی، ستون فقرات، سابقه‌ی اختلالات عصبی یا سیستم دهلیزی، دارا بودن نشانه‌های پیچ‌خوردگی حاد، سابقه‌ی آسیب لیگامانی یا مینیسک زانو و ضربه‌ی سر، مصرف هرگونه داروی آرام‌بخش مخدر و الکل در طی ۴۸ ساعت قبل از آزمون داشتند، از مطالعه خارج شدند [۱۸].

جهت ارزیابی وضعیت‌های پاسچرال، آزمودنی‌ها از دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری استفاده شد که یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های بررسی و دستکاری سیستم‌های حسی مؤثر بر کنترل پاسچر می‌باشد [۱۲]. این سیستم دارای دو صفحه نیرو برای بررسی متغیرهای مؤثر بر کنترل پاسچر است.

در مطالعه‌ی حاضر، از آزمون سازماندهی حسی استفاده شد. این آزمون عملکرد هر یک از سیستم‌های حس عمقی، دهلیزی و بینایی را در کنترل پاسچر مورد ارزیابی قرار می‌دهد که دارای ۶ وضعیت است، در سه وضعیت اول، صفحه‌های نیرو ثابت و در سه وضعیت دیگر در جهت‌های قدامی و خلفی حرکت می‌کنند. سه وضعیت با چشم باز و سه وضعیت با چشم بسته و سه وضعیت با ثبات بصری و سه وضعیت دیگر با مداخله‌ی بصری انجام می‌شود. در نهایت، ۶ وضعیت از ترکیب عوامل فوق استخراج گردید که به ترتیب زیر می‌باشد: وضعیت اول (چشم باز، محیط بصری و پلت‌فرم ثابت)، وضعیت دوم (چشم بسته، پلت‌فرم ثابت)، وضعیت سوم (چشم باز، محیط بصری در حال حرکت، پلت‌فرم ثابت)، وضعیت چهارم (چشمان باز، محیط بصری ثابت، پلت‌فرم متحرک)، وضعیت پنجم (چشمان بسته، پلت‌فرم متحرک)، وضعیت ششم (چشمان باز، محیط بصری متحرک، پلت‌فرم متحرک). هر آزمودنی باید به مدت ۲۰ ثانیه در وضعیت‌های فوق، کنترل پاسچر خود را حفظ کند. هر وضعیت نیز ۳ بار تکرار شد. در هر یک از وضعیت‌های این آزمون، نمره‌ی صفر تا ۱۰۰ به عنوان شاخص کنترل پاسچر فرد ارائه می‌گردد و میانگین ۳بار آزمون به عنوان نمره‌ی شاخص کنترل پاسچر فرد منظور می‌شود.

جهت اجرای مطالعه پس از دریافت کد کارآزمایی (UMIN000044974)، ابتدا افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا با مراجعه به هیأت پزشکی ورزشی و پر کردن پرسش‌نامه و توسط پزشک متخصص به منظور بررسی شرایط ورود و خروج آن‌ها به تحقیق، مورد ارزیابی قرار گرفتند که ۳۰ نفر انتخاب و پس از اخذ رضایت‌نامه و اطلاع‌رسانی در زمینه‌ی چگونگی مشارکت آن‌ها در طرح، نهایتاً وارد مطالعه شدند. سپس هر یک از آزمودنی‌ها با پای برهنه روی صفحه‌ی نیروهای سیستم پاسچروگرافی قرار گرفتند و به ۱۵ نفر حاضر در گروه آزمون، پروتکل تمرینات تعادلی طی یک جلسه آموزش داده شد. گروه آزمون، تمرینات تعادلی را به مدت شش هفته، سه جلسه در هفته و به صورت یک روز در میان، هر جلسه حدود ۶۰ دقیقه که در سه بخش، ۱۰ دقیقه گرم کردن، ۴۵ دقیقه تمرینات اصلی مربوط به هر جلسه که در سه ست و هر ست شامل دوبار متوالی انجام تمرین (پنج سطح پروتکل) با ۲ دقیقه استراحت بین هر دوره، که مدت زمان انجام هر سطح تمرین، ۴۵ ثانیه و استراحت بعد از هر تمرین ۳۰ ثانیه بود و در پایان پنج دقیقه سرد کردن انجام شد. شدت و حجم تمرین با تغییر در نوع تمرین و شکل ساده به پیچیده، نوع ابزار، تغییر در ضخامت تشک و فوم، سفتی و سختی آن و انجام حرکات عملکردی تغییر می‌کرد [۱۷]. در نهایت بعد از اتمام شش هفته برنامه‌ی تمرینی، در پس‌آزمون، تمام متغیرها در دو گروه مجدداً اندازه‌گیری شدند. جهت بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون Kolmogorov–Smirnov استفاده شد. برای بررسی تفاوت کنترل پاسچر در بین دو گروه، از آزمون آماری تحلیل کوواریانس و جهت بررسی تغییرات درون‌گروهی از آزمون t همبسته در سطح $\alpha \leq ۰/۰۵$ استفاده شد.

یافته‌ها

جدول ۱ میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها را در دو گروه نشان می‌دهد. نتیجه‌ی حاصل از آزمون آماری، اختلاف معنی‌داری را نشان نداد که این امر بیانگر همگن بودن آزمودنی‌ها بود. جدول ۲، میانگین و انحراف معیار کنترل پاسچر با دستکاری اطلاعات حسی و جدول ۳، تحلیل کوواریانس کنترل پاسچر در شش وضعیت با استفاده از آزمون سازماندهی حسی در افراد با بی‌ثباتی مزمن مچ پا را در دو گروه آزمون و شاهد نشان می‌دهد.

جدول ۱: میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های فردی

متغیر	گروه تجربی (n = ۱۵)	گروه شاهد (n = ۱۵)	P
سن (سال)	۲۴/۴۰ ± ۲/۱۳	۲۴/۲۶ ± ۱/۸۶	۰/۸۵
وزن (کیلوگرم)	۷۲/۲۰ ± ۹/۷۶	۶۹/۸۰ ± ۸/۸۹	۰/۴۸
قد (سانتی‌متر)	۱۷۹/۴۶ ± ۶/۴۱	۱۷۷/۴۶ ± ۸/۵۶	۰/۴۷

بحث

مطالعه‌ی حاضر نشان داد، افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در گروه آزمون، از میزان پایداری بیشتر و وضعیت پاسچرال با ثبات‌تری در برابر دستکاری اطلاعات حسی، نسبت به گروه شاهد برخوردار بودند. میانگین درصد امتیاز کنترل پاسچر در افراد در وضعیت اول تا سوم بیشتر از وضعیت‌های چهارم تا ششم بود و در وضعیت ششم که حس شنوایی و عمقی، دستکاری می‌شوند کمتر از وضعیت‌های دیگر بود.

جدول ۲: میانگین و انحراف معیار کنترل پاسچر با دستکاری اطلاعات حسی (آزمون SOT)

وضعیت پاسچرال	مرحله	گروه تجربی (n = ۱۵)	گروه شاهد (n = ۱۵)
چشم باز، محیط بصری و پلت‌فرم ثابت	پیش‌آزمون	۹۶/۲۸ ± ۴/۲۶	۹۳/۷۴ ± ۵/۹۲
	پس‌آزمون	۹۸/۰۷ ± ۱/۶۱	۹۶/۲۸ ± ۳/۹۶
چشم بسته، پلت‌فرم ثابت	پیش‌آزمون	۹۶/۹۲ ± ۱/۹۵	۹۴/۴۹ ± ۵/۴۳
	پس‌آزمون	۹۸/۳۶ ± ۱/۱۰	۹۶/۸۳ ± ۱/۸۰
چشم باز، محیط بصری در حال حرکت، پلت‌فرم ثابت	پیش‌آزمون	۹۵/۵۸ ± ۳/۱۰	۹۳/۵۸ ± ۵/۵۳
	پس‌آزمون	۹۷/۶۲ ± ۱/۴۴	۹۵/۲۴ ± ۳/۱۷
چشمان باز، محیط بصری ثابت، پلت‌فرم متحرک	پیش‌آزمون	۶۶/۶۴ ± ۱۱/۲۶	۶۴/۹۴ ± ۸/۵۰
	پس‌آزمون	۸۲/۳۲ ± ۸/۶۵	۶۶/۲۸ ± ۸/۱۵
چشمان بسته، پلت فرم متحرک	پیش‌آزمون	۵۳/۳۸ ± ۸/۲۵	۵۱/۵۹ ± ۸/۲۶
	پس‌آزمون	۶۸/۴۸ ± ۱۱/۳۵	۵۳/۱۱ ± ۸/۶۲
چشم باز، محیط بصری متحرک، پلت‌فرم متحرک	پیش‌آزمون	۴۷/۶۶ ± ۱۰/۷۴	۴۶/۰۶ ± ۹/۹۷
	پس‌آزمون	۵۸/۵۱ ± ۱۶/۰۹	۴۷/۲۴ ± ۹/۶۰
میانگین کلی	پیش‌آزمون	۷۵/۹۱ ± ۴/۰۲	۷۴/۰۷ ± ۱/۸۶
	پس‌آزمون	۸۳/۸۹ ± ۶/۳۰	۷۵/۸۳ ± ۳/۲۹

این نشان می‌دهد که در وضعیت اول (ارزیابی با استفاده از هر ۳ حس)، وضعیت دوم (حذف بینایی و وجود ۲ حس شنوایی و عمقی) و وضعیت سوم (دستکاری حس شنوایی و وجود ۲ حس بینایی و عمقی) افراد بیشتر از استراتژی مچ پا جهت کنترل پاسچر و تعادل خود استفاده کردند. ولی در وضعیت‌های چهارم (دستکاری حس عمقی)، پنجم (حذف بینایی و دستکاری حس عمقی) و ششم (دستکاری حس شنوایی و عمقی) بر اساس درصد نمره‌ی پایداری کمتر، سخت‌تر شدن شرایط حسی و جابجایی بیشتر مرکز ثقل، افراد بیشتر از استراتژی ران جهت حفظ تعادل و کنترل پاسچر استفاده کردند. محققان بیان کردند که کاهش در یکپارچگی حسی، افت عملکرد گیرنده‌های عمقی، بینایی و شنوایی منجر به کاهش تعادل و کنترل پاسچر و همچنین استفاده‌ی بیشتر از استراتژی ران می‌شوند [۲۰].

Bolger و همکاران بیان داشتند، با توجه به وابستگی سیستم تعادلی به درون‌دادهای حسی، در صورت کاهش و یا اختلال یکی از درون‌دادهای حسی، نوسان بدن افزایش و در نتیجه برای حفظ تعادل فعالیت‌های عضلانی نیز افزایش می‌یابد [۱۹] که نتایج این مطالعه هم‌راستا با نتایج مطالعه‌ی حاضر می‌باشد. باید بیان داشت که انجام تمرینات تعادلی یا تمرین روی سطوح ناپایدارT احتمالاً باعث می‌شود عضلات به طور فعال‌تری درگیر شوند و سیستم عصبی مرکزی تحریکات مناسب‌تر و مؤثرتری از اعصاب آوران گیرنده‌های حس عمقی این عضلات دریافت نمایند [۲۱].

جدول ۳: نتایج آزمون تحلیل کوواریانس کنترل پاسچر در وضعیت‌های حسی مختلف

وضعیت‌ها	منبع	مجموع مربعات	درجه‌ی آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
وضعیت حسی اول (C1)	پیش‌آزمون	۹۸/۰۵	۱	۹۸/۰۵	۱۶/۷۱	۰/۰۰۱
	گروه	۵/۳۶	۱	۵/۳۶	۵/۱۱	۰/۰۳۴
وضعیت حسی دوم (C2)	پیش‌آزمون	۱۰/۴۴	۱	۱۰/۴۴	۵/۳۹	۰/۰۲۸
	گروه	۹/۳۶	۱	۹/۳۶	۴/۸۴	۰/۰۳۷
وضعیت حسی سوم (C3)	پیش‌آزمون	۷۴/۴۹	۱	۹/۳۶	۲۱/۰۶	۰/۰۰۱
	گروه	۲۰/۱۶	۱	۲۰/۱۶	۵/۷۰	۰/۰۲۴
وضعیت حسی چهارم (C4)	پیش‌آزمون	۸۷۰/۹۲	۱	۸۷۰/۹۲	۲۱/۲۳	۰/۰۰۱
	گروه	۱۶۹۴/۰۵	۱	۱۶۹۴/۰۵	۴۱/۳۱	۰/۰۰۱
وضعیت حسی پنجم (C5)	پیش‌آزمون	۸۹۴/۵۴	۱	۸۹۴/۵۴	۱۲/۳۶	۰/۰۰۲
	گروه	۱۶۴۴/۰۴	۱	۱۶۴۴/۰۴	۲۲/۷۲	۰/۰۰۱
وضعیت حسی ششم (C6)	پیش‌آزمون	۲۱۳۶/۵۵	۱	۲۱۳۶/۵۵	۲۰/۷۵	۰/۰۰۱
	گروه	۷۳۴/۰۶	۱	۷۳۴/۰۶	۷/۱۲	۰/۰۱۳
وضعیت حسی کلی (M)	پیش‌آزمون	۴۰۰/۶۷	۱	۲۳۹/۵۳	۵۳/۵۵	۰/۰۰۱
	گروه	۳۶۲/۸۵	۱	۶۱۴/۸۲	۴۸/۴۹	۰/۰۰۱

Han و همکاران در تحقیقی نشان دادند، افراد با بی‌ثباتی مچ پا، بیشتر به بازخورد بصری در طول کنترل پاسچرال پویا نسبت به سایر افراد متکی هستند. با این حال، آن‌ها ممکن است قادر به جبران بازخورد بصری مختل در طول یک کار پویا نباشند [۲۲]. اساس تمرینات تعادلی، ایجاد تطابق در گیرنده‌های حس عمقی است که تحریکات را در موقعیت پرخطر دریافت می‌کنند [۲۱] بنابراین با توجه به مواردی که گفته شد، تمرینات تعادلی به بهبود حس عمقی افراد منجر می‌شود. همچنین احتمالاً متعاقب استفاده از تمرینات تعادلی و حسی- حرکتی، تغییری در استراتژی‌های حرکتی و کنترل پاسچر افراد حاصل می‌شود [۲۱]. افراد با بی‌ثباتی مچ پا برای بازیابی کنترل پاسچر و تعادل، به دنبال اغتشاشات جزئی، از استراتژی مچ پا استفاده می‌کنند بدین معنی که بدن حول مفصل مچ پا نوسان دارد. وضعیت قائم فرد حفظ شده و تغییری در سطح اتکا داده نمی‌شود. در اغتشاشات بزرگ و در آزمون شتاب ناگهانی استراتژی‌های دیگری که با سرعت بالا همراه است مانند استراتژی مفصل ران و گام برداشتن به کار می‌رود [۳]. استراتژی مچ پا بیشتر در وضعیت‌هایی استفاده می‌شود که عامل برهم زننده‌ی تعادل ضعیف و سطح اتکا به اندازه‌ی کافی بزرگ است. لازمه‌ی استفاده از این استراتژی، دامنه‌ی حرکتی کامل مفصل و قدرت کافی در عضلات اطراف مچ می‌باشد [۳].

با توجه به مطالب بیان شده و نتایج مطالعه‌ی حاضر، تمرینات تعادلی، گیرنده‌های حس عمقی که مسؤول تشخیص جهت و موقعیت مفصل بوده، را بهبود می‌بخشند و موجب افزایش حساسیت مسیرهای فیدبکی، کوتاه کردن زمان شروع انقباض عضلات و بهبود حساسیت حس وضعیت می‌شوند به این ترتیب کنترل پاسچر بهتر می‌شود [۲۳] در نتیجه اطلاعات آوران بیشتر و استفاده‌ی مؤثرتر از استراتژی مورد نظر، ثبات و پایداری پاسچر افزایش می‌یابد [۲۴].

جاودانه و همکاران، تأثیر شش هفته تمرینات ثبات مرکزی بر نوسان وضعیت و تعادل پویای ورزشکاران مرد بسکتبالیست دارای بی‌ثباتی عملکردی مچ پا را بررسی کردند. نتایج به دست آمده بر روی ۲۴ ورزشکار مبتلا به عارضه‌ی بی‌ثباتی مچ پا در دو گروه تجربی و شاهد نشان داد که برنامه‌های ثبات مرکزی برای افراد دچار این عارضه، باعث تسهیل محدودیت ناشی از این آسیب همانند اختلال در تعادل و نوسان پاسچر می‌شود [۲۵].

Zech و همکاران، طی تحقیقی چنین اعلام کردند که سازگاری‌های مکانیسم عصبی- عضلانی همچون حس عمقی و فعالیت رفلکس نخاعی به عنوان عامل اصلی در تعادل پویا نقش دارند که تمرینات تعادلی با بکارگیری از متغیرهای عصبی- عضلانی و هماهنگی در زمان‌بندی تحریک شدن عضلات مختلف، موجب بهبود تعادل می‌شود [۲۶].

فرقانی و توکلی اسکویی، اثر فعالیت شناختی بر تعادل راه رفتن در افراد مبتلا به بی‌ثباتی عملکردی مچ پا را بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که افراد مبتلا به بی‌ثباتی مچ پا در فعالیت دوگانه، زمان بیشتری را در فاز سوئینگ می‌گذرانند و در هر دو وضعیت فعالیت یگانه و دوگانه نسبت به افراد سالم، ثبات دینامیکی کمتری دارند. این موضوع خطر پیچ‌خوردگی مچ پا را در افراد مبتلا به این عارضه، افزایش می‌دهد [۲۷].

Faraldo-García A و همکاران، در پژوهش خود استفاده‌ی بیشتر از استراتژی مچ پا و استفاده‌ی کمتر از استراتژی ران در شرایط با اغتشاش پایین را متذکر شدند. هنگامی که گروه‌ها را بر اساس سن آن‌ها آنالیز می‌کردند، تفاوت‌هایی را در وضعیت ۳ و ۴ متوجه شدند که با افزایش سن، درصد ثبات و پایداری پاسچر کاهش می‌یابد و افراد، بیشتر از استراتژی ران استفاده می‌کنند. دلیل این هم ممکن است به خاطر کاهش انعطاف‌پذیری و قدرت مفصل مچ پا متناسب با سن باشد [۲۸] که نتایج آن در بیشتر وضعیت‌ها، با مطالعه‌ی حاضر همخوانی داشت.

با توجه به مقایسه‌ی وضعیتی میزان پایداری مطالعه‌ی Faraldo-García A و همکاران که پایین‌ترین نتایج درصد پایداری پاسچر (کاهش اتکا بر استراتژی مچ پا و افزایش اتکا بر استراتژی ران) برای وضعیت ۵ مشاهده شد (چشم بسته و پلت‌فرم متحرک) و در حالی که در مطالعه‌ی حاضر، پایین‌ترین درصد پایداری کنترل پاسچر برای وضعیت ۶ بود از این جهت با تحقیق حاضر همخوانی نداشت که احتمالاً علت تفاوت در مقایسه‌ی گروه‌های سنی مختلف و آزمودنی‌های گوناگون در مطالعه‌ی آنان بوده است [۲۸].

همچنین موقعیت خم‌تر مچ در بیماران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌تواند ابزاری برای جبران کمبود ورودی حسی از رباط جانبی آسیب دیده توسط کشش عضله‌ی سولئوس و افزایش حساسیت دوکی عضله شود. با افزایش حساسیت در دوک عضله‌ی سولئوس، افراد دارای بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌توانند انحرافات تعادلی را بهتر تنظیم کنند. تمرین تعادلی ممکن است در سیستم حسی- حرکتی، به وسیله‌ی حساس‌تر شدن حرکت سر عضله‌ی سولئوس که باعث کمتر کشیده شدن آن عضله می‌شود تغییر ایجاد کرده باشند. مرکز فشار عقب‌تر، می‌تواند برای فرد مفید باشد زیرا زمان و فضای بیشتری برای تنظیمات پاسچرال (در مقابله با آشفتگی‌های جلوتر پا) برای حفظ تعادل و کنترل پاسچر به فرد می‌دهد [۲۹] و تمرین تعادلی، همانطور که در تغییر محل مرکز فشار دیده می‌شد، مقدار بالایی از کنترل عصبی- عضلانی برای خنثی کردن آشفتگی‌های تعادلی (هنگام ایستادن روی یک پا) را به آن‌ها باز می‌گرداند. انجام دادن تمرین تعادلی به شرکت‌کنندگان اجازه می‌دهد تا محدودیت‌های تعادلی خود را کشف کنند، توسط انجام پشت سرهم و با تغییرات آن، باعث افزایش زاویه‌ی آزادی حرکت آن‌ها می‌شود. این برای افراد به خاطر دادن امکان‌های بیشتر به مچ در واکنش یا سازگاری نسبت به تغییرات یا مشکلات محیط می‌تواند مفید باشد. همچنین مهم است بدانید که با افزایش درجه‌ی آزادی (مچ) بهبود در تعادل مشاهده می‌شود [۲۳، ۳۰].

نتیجه‌گیری

با توجه به وابستگی سیستم پاسچرال به درون‌دادهای حسی، در

صورت کاهش و یا اختلال یکی از درون‌دادهای حسی، کاهش در یکپارچگی حسی، افت عملکرد گیرنده‌های عمقی، بینایی و شنوایی منجر به افزایش نوسان بدن، کاهش تعادل و کنترل پاسچر می‌شود و انجام تمرینات تعادلی همراه با اغتشاش، احتمالاً موجب افزایش حساسیت مسیرهای فیدبکی و بهبود حساسیت حس وضعیت شده که باعث می‌شود عضلات به طور فعال‌تری درگیر و سیستم عصبی مرکزی تحریکات مناسب‌تر و مؤثرتری از اعصاب آوران گیرنده‌های حسی مختلف دریافت نمایند.

تشکر و قدردانی

این مطالعه مستخرج از رساله‌ی دکتری با کد کارآزمایی UMIN000044974 می‌باشد همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مرکز جامع توانبخشی جمعیت هلال احمر، پزشکان، دست‌اندرکاران و نیز افراد شرکت‌کننده در این پژوهش که با وجود مشغله‌ی بسیار در این مطالعه همکاری لازم را داشتند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

تضاد منافع

بین نویسندگان هیچگونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

سهم نویسندگان

ندارد.

ملاحظات اخلاقی

ندارد.

حمایت مالی

تألیف این مقاله بدون حمایت مالی بوده است.

REFERENCES

1. Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, Caulfield B, Docherty CL, Fourchet F, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: A position statement of the International Ankle Consortium. J Orthop Sports Phys Ther. 2013;43(8):585-91. [DOI: 10.2519/jospt.2013.0303] [PMID]
2. Chan KW, Ding BC, Mroczek KJ. Acute and chronic lateral ankle instability in the athlete. Bull NYU Hosp Jt Dis. 2011;69(1):17-26. [PMID]
3. Terada M, Bowker S, Thomas AC, Pietrosimone B, Hiller CE, Rice MS, et al. Alterations in stride-to-stride variability during walking in individuals with chronic ankle instability. Hum Mov Sci. 2015;40:154-62. [DOI: 10.1016/j.humov.2014.12.004] [PMID]
4. Day BL, Steiger MJ, Thompson PD, Marsden CD. Effect of vision and stance width on human body motion when standing: implications for afferent control of lateral sway. The Journal of physiology. 2013; 469(1):479-99. [DOI: 10.1113/JPHYSIOL.1993.SP019824]
5. Helly KL, Bain KA, Hoch MC, Heebner NR, Gribble PA, Terada M, et al. The effect of attending physical rehabilitation after the first acute lateral ankle sprain on static postural control in patients with chronic ankle instability. J Sport Rehabil. 2021;30(7):1000-7. [DOI: 10.1123/jsr.2020-0346] [PMID]
6. Moradi k, Minoonejad H, Rajabi R. The immediate effect of core stability exercises on postural sway in athletes with functional ankle instability [In Persian]. J Rehab Med. 2015;4(3):101-10. [DOI: 10.22037/jrm.2015.1100154]
7. Rankin BL, Buffo SK, Dean JC. A neuromechanical strategy for mediolateral foot placement in walking humans. J Neurophysiol. 2014;112(2):374-383. [DOI: 10.1152/JN.00138.2014] [PMID]
8. Kunugi S, Masunari A, Yoshida N, Miyakawa S. Postural stability and lower leg muscle activity during a diagonal single-leg landing differs in male collegiate soccer players with and without functional ankle instability. J Phys Fitness Sports Med. 2017;6(4):257-65. [DOI: 10.7600/JPFSM.6.257]
9. Wanner P, Schmautz T, Kluge F, Eskofier B, Pfeifer K, Steib S. Ankle angle variability during running in athletes with chronic ankle instability and copers. Gait Posture 2019;68:329-34. [DOI: 10.1080/14763141.2021.1977378] [PMID]
10. Wu X, Song W, Zheng C, Zhou S, Bai S. Morphological study of mechanoreceptors in collateral ligaments of the ankle joint. J Orthop Surg Res. 2015;10:92. [DOI: 10.1186/s13018-015-0215-7] [PMID]
11. A Punakallio. Balance abilities of workers in physically demanding jobs: with special reference to firefighters of different ages. J Spor Scien and Med. 2005;4(Suppl 8):47.
12. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. J Athl Train. 2002;37(1):80-4. [PMID]
13. de Bruin ED, . Schoene D, Pichierri G, Smith ST. Use of virtual reality technique for training of motor control in the elderly. Z Gerontol Geriat. 2010;43:229-34. [DOI: 10.1007/s00391-010-0124-7]
14. Demeritt KM, Shultz SJ, Docherty CL, Gansneder BM, Perrin DH. Chronic ankle instability does not affect lower extremity functional performance. J Athl Train. 2002;37(4):507-11. [PMID]
15. Hertel J. Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability. Clin Sports Med. 2008;27(3):353-70, [DOI: 10.1016/j.csm.2008.03.006] [PMID]
16. Suda EY, Amorim CF, de Camargo Neves Sacco I. Influence of ankle functional instability on the ankle electromyography during landing after volleyball blocking. J Electromyogr Kinesiol. 2009;19(2):e84-93. [DOI: 10.1016/J.JELEKIN.2007.10.007] [PMID]
17. Delahunt E, Coughlan GF, Caulfield B, Nightingale EJ, Lin CWC, Hiller CE. Inclusion criteria when investigating insufficiencies in chronic ankle instability. Med Sci Sports Exerc. 2010;42(11):2106-21. [DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181de7a8a] [PMID]
18. Rnaldi NM, Polastri PF, Barela JA. Age-related changes in postural control sensory reweighting. Neurosci Lett. 2009;46(3):225-9. [DOI: 10.1016/J.NEULET.2009.10.042] [PMID]
19. Bolger D, Ting LH, Sawers A. Individuals with transtibial limb loss use interlimb force asymmetries to maintain multi-directional reactive balance control. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2014;29(9):1039-47. [DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2014.08.007] [PMID]
20. Benjuya N, Melzer I, Kaplanski J. Aging-induced shift from a reliance on sensory input to muscle cocontraction during balanced standing. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2004;59(2):166-71. [DOI: 10.1093/gerona/59.2.m166] [PMID]
21. Borghuis J, Hof A, Lemmink KAPM. The importance of sensory-motor control in providing core stability, implications for measurement and training. Sports Med. 2008;38(11):893-916. [DOI: 10.2165/00007256-200838110-00002] [PMID]
22. Han S, Lee H, Son S, Hopkins JT. The effects of visual feedback disruption on postural control with chronic ankle instability. J Sci Med Sport. 2022;25(1):53-7. [DOI: 10.1016/J.JSAMS.2021.07.014] [PMID]
23. Jiang C, Huang D, Li XM, Guo JH, Guo MM, Yu S, et al.

Effects of balance training on dynamic postural stability in patients with chronic ankle instability: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. J Sports Med Phys Fitness. 2022. [DOI: 10.23736/S0022-4707.22.13566-8] [PMID]
24. Cug M OA, Korkusuz F, Behm D. The effect of instability training on knee joint proprioception and core strength. J Sport Sci Med. 2012;11(3):468–74. [PMID]
25. Javadaneh N, Javadaneh N, Ghasemi B, Moradi MR. The effect of six weeks of central stability training on postural fluctuations and dynamic balance of male basketball athletes with functional ankle instability [in Persian]. Research in Sports Rehabilitation. 1398;7(14):1-12. [DOI: 10.22084/rsr.2018.17012.1395]
26. Zech A, Hübscher M, Vogt L, Banzer W, Hänsel F, Pfeifer K. Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review. J Athl Train. 2010;45(4):392-403. [DOI: 10.4085/1062-6050-45.4.392] [PMID].
27. Forghany S, Tavakoli Oskoei S. Effect of cognitive task on gait balance in people with functional ankle instability [in Persian]. Arch Rehabil. 2017;18(3):220-29. [DOI: 10.21859/jrehab-1803220]
28. Faraldo-García A, Santos-Pérez S, Crujeiras R, Soto-Varela A. Postural changes associated with ageing on the sensory organization test and the limits of stability in healthy subjects. Auris Nasus Larynx. 2016;43(2):149-54. [DOI: 10.1016/j.anl.2015.07.001] [PMID]
29. Pope M, Chinn L, Mullineaux D, McKeon PO, Drewes L, Hertel J. Spatial postural control alterations with chronic ankle instability. Gait Posture. 2011;34(2):4. [DOI: 10.1016/J.GAITPOST.2011.04.012] [PMID]
30. 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. Med Sci Sports Exerc. 2008;40(10):1810-9. [DOI: 10.1249/MSS.0b013e31817e0f92] [PMID]