مجله دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد
سال ۶۸، شماره ۴
مهر-آبان ۱۴۰۴ ، صفحه ۱۱۹۳-۱۱۸۴

www.mums.ac.ir
Medical Journal of Mashhad
University of Medical Sciences
Vol 68 No.4, P: 1184-1193
May- Jul 2025

مقاله اصلی

تأثیر تمرینات تعادلی بر استراتژی‌های حرکتی پاسچر ورزشکاران با بی ثباتی مزمن مچ پا در برابر دستکاری اطلاعات بینایی، دهلیزی و حس عمقی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰

هادی میری*[۱]
کیوان مرادیان[۲]
سمانه سلطانی نجیب پور[۳]

[۱] دانشیار گروه علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه صنعتی امیر کبیر
[۲] دکتری تربیت بدنی گروه علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه صنعتی امیر کبیر
[۳] دانشجوی دکتری حرکات اصلاحی و آسیب شناسی ورزشی دانشگاه تهران

Email: hd.miri@aut.ac.ir

خلاصه

مقدمه: مفصل مچ پا، نقش اساسی در تعادل و کنترل پاسچر بر عهده دارد و صدمه به سیستم کنترل حسی-حرکتی مچ پا به عنوان علت اصلی بی ثباتی مکرر مچ پا شناخته شده است. کاهش در حس عمقی و آگاهی از حس حرکت، عامل مهمی‌در کاهش تعادل و در نتیجه آسیب مجدد است که غالبا منجر به دور ماندن ورزشکار از فعالیت ورزشی می‌شود. بررسی اثر تمرین تعادلی بر استراتژی‌های حرکتی پاسچر ورزشکاران مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا در برابر دستکاری اطلاعات بینایی، دهلیزی و حس عمقی بود.

روش کار: ۳۰ ورزشکار مرد مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا در این مطالعه نیمه تجربی به طور تصادفی به دو گروه تجربی(n=۱۵) و کنترل (n=۱۵) که به صورت پیش‌آزمون و پس‌آزمون اندازه‌گیری‌ها انجام شد و برنامه تمرینی گروه تجربی شش هفته تمرینات تعادلی در برابر اغتشاش بود. جهت ارزیابی استراتژی‌های حرکتی پاسچر آزمودنی‌ها از آزمون سازماندهی حسی دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری استفاده شد. این دستگاه تحلیل استراتژیحرکتی را در ۶ وضعیت که در وضعیت اول (وجود هر ۳ حس بینایی، شنوایی و حس عمقی)، دوم (حذف بینایی)، سوم (دستکاری شنوایی)، چهارم (دستکاری حس عمقی)، پنجم (حذف بینایی و دستکاری حس عمقی) و ششم (دستکاری حس شنوایی و حس عمقی) ارزیابی نمود. یافته‌های تحقیق با استفاده از آزمون تحلیل کوواریانس یک طرفه انجام گرفتند. تمامی عملیات آماری توسط نرم افزارSPSS نسخه ۲۲ در سطح معنی داری α =۰/۵ انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد میانگین نمره کاربرد استراتژیحرکتی در افراد گروه آزمون در وضعیت‌های اول بیشتر از وضعیت‌های دیگر است و افراد بیشتر از استراتژی مچ پا استفاده می کنند و نمره کاربرد استراتژی در وضعیت ششم که حس شنوایی و عمقی دستکاری می شوند، کمتر از وضعیت‌های دیگر است و بیشتر از استراتژی ران استفاده کردند. میانگین نمره کاربرد استراتژی‌ها در افراد گروه آزمون در پس آزمون در هر شش وضعیت بهتر از افراد گروه کنترل است.

نتیجه گیری: با توجه به یافته‌های این تحقیق تمرین تعادلی می تواند کنترل پاسچر را بهبود بخشد چرا که انجام تمرینات تعادلی یا تمرین روی سطوح ناپایدار احتمالاً باعث می شود عضلات به طور فعال‌تری درگیر شوند و سیستم عصبی مرکزی تحریکات مناسب تر و مؤثرتری از اعصاب آوران گیرنده‌های حسی مختلف دریافت نمایند و باعث تغییر در الگوی کنترل حرکتی و احتمالاً بهبود در یکپارچگی ورودی‌های حسی و سریعتر شدن زمان ارسال اطُلاعات حسی و شروع فعالیت عضلات شده، که در نهایت منجر به استفاده بیشتر از استراتژی حرکتی با ثبات تر برای کنترل پاسچر و همچنین افزایش پایداری می گردد.

کلمات کلیدی

تمرین تعادلی، استراتژی‌های حرکتی پاسچر ، بی ثباتی مزمن مچ پا، دستکاری اطلاعات حسی

پی نوشت: این مطالعه فاقد تضاد منافع می‌باشد.

مقدمه

پیچ خوردگی مچ پا شایع‌ترین آسیب ورزشی تروماتیک اندام تحتانی است. طبق گزارشات، ۲۵ درصد از کل زمان تلف شده در رقابت‌ها نیز مربوط به آسیب‌های مچ پا بوده است. ناپایداری مزمن مچ پا[1] با تغییرات عصبی عضلانی مچ پای درگیر همراه است، همچنین مفاصل بالاتر سمت درگیر و نیز مفاصل سمت مقابل بدن را درگیر می‌کند چرا که لیگامان‌ها، پایداری ایستا و عضلات، پایداری پویای مفصل را فراهم می‌کنند(۱). ورزشکارانی که سابقهٔ کشیدگی لیگامانی مچ پا دارند، در حس عمقی و آگاهی از حس حرکت کاهش نشان می‌دهند. کاهش در حس عمقی و آگاهی از حس حرکت، عامل مهمی‌در کاهش تعادل و در نتیجه آسیب مجدد است(۳و۲). شدت آسیب مجدد بعد از آسیب اولیه، ممکن است بیش از ۸۰ درصد در بین افراد فعال باشد(۳) . تحقیقات حاکی از آن است که افراد با بی‌ثباتی مچ برای بازیابی تعادل بدنبال 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 وگام برداشتن به کار می‌رود(۴, ۵). قربانی(۱۳۹۳) با بررسی پاسخ عصبی عضلانی بیماران مبتلا به ناپایداری مچ پا در بازیابی تعادل بر روی زنان بزرگسال با پیچ خوردگی مچ پا در مقایسه با افراد سالم به این نتیجه رسید که بی ثباتی مچ پا با تأثیر بر دستگاه عصبی عضلانی اسکلتی، مکانیسم کنترل تعادلی فرد را کاهش می دهد(۶). استراتژی مفصل ران از کارایی بسیار اندکی برخوردار است و نشان از ضعف تعادلی دارد که در افراد با بی ثباتی مچ پا مشاهده می‌شود، افراد مبتلا به پیچ خوردگی مچ پا[2] برخلاف افراد سالم برای کنترل وضعیتی بیشتر بر راهبرد حرکتی ران[3] تکیه می‌کنند و علت آن نیز این است که این بیماران به منظور جبران بی ثباتی نیازمند سطوح بالاتری از هم انقباضی[4] در عضلات مچ پا به منظور حفظ راستای ایده ال پا می‌باشند که برای بیمار خسته کننده و منجر به تکیه بیشتر فرد بر روی راهبرد حرکتی ران به منظور اصلاح حرکت می‌گردد(۶).

حفظ تعادل و کنترل پاسچر پایه و اساس تمام مهارت‌های حرکتی ارادی، عملکردی پیچیده و فرآیندهای ادارکی است که به هماهنگی یکپارچه پیام‌های حسی ناشی از سیستم‌های وستیبولار، بینایی و اطلاعات حسی پیکری، بستگی دارد. گیرنده‌های حسی موجود در عضلات، مفاصل، رباط و پوست اطلاعاتی راجع به حس وضعیت و حرکت به سمت سیستم اعصاب مرکزی ارسال می‌کنند. اطلاعات حسی با هدف تعیین راستا و حرکت، پردازش شده و در نهایت پاسخ‌های حرکتی مناسب، جهت حفظ تعادل صادر می‌گردد. اختلال عملکرد در هر قسمت از این سیستم‌ها سبب اختلال تعادل شده و کنترل پاسچر را با مشکل مواجه می‌سازد(۷-۹). حفظ تعادل در زنجیرهٔ حرکتی بسته، به راهبردهای حرکتی و بازخورد هماهنگ بین ران، زانو و مچ پا بستگی دارد که کاهش بازخوردهای آوران یا کاهش قدرت و ثبات مکانیکی هر مفصل به تنهایی یا کل ساختار در زنجیرهٔ حرکتی اندام تحتانی، می‌تواند تعادل را بر هم بزند (۱۰). توانایی کنترل تعادل با درون داده‌های 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 این رو استفاده موثر از استراتژی مچ پا به دقت احساس درون دادهای حس‌های پیکری، بستگی پیدا می‌کند(۱۱). یکی از دلایل اصلی برای

1. Chronic ankle instability
2. Lateral Ankle sprains
3. Hip strategy
4. Coactivation

وضعیت بدنی صحیح و با ثبات و تعادل (استاتیک و دینامیک) نیاز به ساماندهی دقیقی از هماهنگی فرآیندهای کنترل حسی – حرکتی وعصبی می‌باشد. بروز مشکل در هریک از این سیستم‌ها سبب اختلال در واکنش طبیعی بدن شده که نتیجه‌ی آن هماهنگی ضعیف بین سیستم‌ها، بی‌ثباتی در کنترل جسمانی، تأخیر در پاسخگویی و افزایش خطر آسیب در برابر اغتشاشات غیرمنتظره ی بیرونی در افراد می‌باشد(۱۲, ۱۳). سیستم عصبی با دو مکانیسم پس خوراند و پیش خوراند کنترل حرکات بدن، وضعیت بدن و تعادل را عهده دار است. در مکانیسم‌های پس خوراند، سیستم عصبی با پایش سیگنال‌های حسی اندام و بکار بردن چنین اطلاعاتی به طور مستقیم بر عملکرد اندام اثر می‌گذارد(۱۴). در مکانیسم‌های پیش خوراند، سیستم عصبی با بکارگیری حس‌های مختلف مثل: بینایی، شنوایی و لمس با توجه به تجربیات قبلی و مدل‌های درونی، حرکت و وضعیت بدنی را کنترل می‌کند(۱۵). مکانیسم‌های کنترل عصبی- عضلانی، سفتی مفصل را افزایش داده باعث تامین ثبات، کنترل گشتاور مفصل و تعادل گردیده و از بهم خوردن تعادل و ثبات سیستم جلوگیری می‌کند(۱۵-۱۷). یکی از اجزای مهم سیستم حسی پیکری، حس عمقی است که شامل اطلاعات آوران از گیرنده‌های درون مفصل، عضلات و تاندون‌ها است که با ورزش خصوصاً تمرینات تعادلی، تقویت شده و تعادل را افزایش می‌دهد. لذا وجود تمرینات تعادلی و تخصصی در برنامه تمرینی احتمالاً می‌تواند عامل افزایش تعادل و استراتژی‌های حرکتی با ثبات‌تر باشد و فعالیت بدنی عاملی است که موجب ارتقاء توانایی تعادل ایستا و پویا و کنترل پاسچر می شود(۱۸).

با این وجود، تاکنون مطالعه‌ای که تأثیر مداخلات تمرینی بر استراتژی‌های حرکتی کنترل پاسچر در ورزشکاران با بی ثباتی مزمن مچ پا را بررسی کند صورت نگرفته است. اکثر تحقیقاتی که تا کنون انجام گرفته، پیرامون اثر بی‌ثباتی یک طرفه مچ پا روی کنترل وضعیتی ایستا (۱۹) و کارایی عملکردی اندام تحتانی(۲۰) و خستگی(۱) بوده است که بعضاً با نتایج متناقض همراه بوده است. تمرینات تعادلی یکی از روش‌های رایج و عملکردی در باز توانی بی ثباتی مزمن مچ پا است که برای کمک به باز آموزی سیستم حس عمقی از طریق بهبود عملکرد گیرنده‌های مکانیکی مفصل و بازگرداندن حلقه بازخورد عصبی – عضلانی نرمال، طراحی شده‌اند(۲۱). بنابراین لزوم توجه به تمرینات تعادلی و نقش آن در هماهنگی حس‌های مختلف در تعادل و استفاده از استراتژی‌های حرکتی موثر ضروری می‌باشد(۲۲). بی‌شک بررسی استراتژی‌های حرکتی کنترل پاسچر در برابر اغتشاشات بیرونی در پاسخ به تمرینات تعادلی می‌تواند اطلاعات لازم جهت طراحی استراتژی‌های حرکتی و تمرینی مؤثر برای بازتوانی، برنامه تمرینی مناسب‌تر جهت استفاده در تمرینات ورزشی و جلوگیری از وقوع مجدد بی‌ثباتی مزمن مچ پا و همچنین جلوگیری از تبدیل شدن آسیب پیچ خوردگی حاد مچ پا به بی ثباتی مزمن را فراهم سازد. لذا هدف از تحقیق حاضر تأثیر شش هفته تمرین تعادلی بر استراتژی‌های حرکتی منترل پاسچر ورزشکارن مرد با بی‌ثباتی مزمن مچ پا با دستکاری اطلاعات حس عمقی، بینایی و دهلیزی می‌باشد.

روش کار

مطالعه حاضر از نوع نیمه‌تجربی بوده و ۳۰ ورزشکار مبتلا به پیچ‌خوردگی مزمن مچ پا(۲۰ تا ۳۰ سال) در دو گروه تجربی(۱۵ نفر) جهت اجرای تمرینات تعادلی وگروه کنترل(۱۵نفر) به صورت هدفمند در دسترس انتخاب شدند. آزمودنی‌ها در بدو ورود باید بیشتر یا مساوی ۹۰ درصد نمره پرسشنامه شاخص‌های ناتوانی پا (FADI)[1] و بیشتر یا مساوی ۷۵ درصد نمره شاخص ورزشی ناتوانی پا (FADI sport)[2] را کسب نمایند همچنین در شش ماه گذشته دارای حداقل دو بار احساس بی‌ثباتی مچ پا یا احساس خالی شدن مفصل در حین انجام فعالیت روزمره یا ورزشی باشند و هنگام

1. Foot and ankle disability index

2. Foot and ankle disability index sport

اجرای تحقیق باید بتواند به طور کامل تحمل وزن کند، راه رفتن طبیعی داشته باشد و دامنه حرکتی مفصل مچ پا کامل باشد(۲۳-۲۵). آزمودنی‌هایی که سابقه شکستگی یا جراحی مفاصل اندام تحتانی، اختلالات وضعیتی اندام تحتانی، ستون فقرات، سابقه اختلالات عصبی یا سیستم دهلیزی، دارا بودن نشانه‌های پیچ خوردگی حاد، سابقه آسیب لیگامانی یا مینیسک زانو و ضربه سر، مصرف هرگونه داروی آرام بخش مخدر و الکل در طی ۴۸ ساعت قبل از آزمون بودند از مطالعه خارج شدند(۲۶).

جهت ارزیابی استراتژی‌های حرکتی پاسچر آزمودنی‌ها از دستگاه پاسچروگرافی پویای کامپیوتری استفاده شد. این سیستم یک روش کمی‌برای ارزیابی عملکرد استراتژی‌های حرکتی پاسچر و تعادل در حالت ایستاده است و یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های بررسی و دستکاری سیستم‌های حسی موثر بر کنترل پاسچر می‌باشد(۲۷) این سیستم دارای دو صفحه نیرو برای بررسی متغیرهای موثر بر کنترل پاسچر است. این آزمون عملکرد هر یک از سیستم‌های حس عمقی، دهلیزی و بینایی را در استراتژی‌های حرکتی پاسچر مورد ارزیابی قرار می‌دهد و 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 مداخله بصری انجام می شود. در نهایت ۶ وضعیت از ترکیب عوامل فوق استخراج گردید که به ترتیب زیر می‌باشد: وضعیت اول (چشم باز، محیط بصری وپلت فرم ثابت)، وضعیت دوم (چشم بسته، پلت فرم ثابت)، وضعیت سوم (چشم باز،محیط بصری در حال حرکت،پلت فرم ثابت)، وضعیت چهارم (چشمان باز، محیط بصری ثابت، پلت فرم متحرک)، وضعیت پنجم (چشمان بسته، پلت فرم متحرک)، وضعیت ششم (چشمان باز،محیط بصری متحرک،پلت فرم متحرک). هر آزمودنی باید به مدت ۲۰ ثانیه در وضعیت‌های فوق تعادل خود را حفظ کند. و هر وضعیت نیز ۳بار تکرار می‌شود. در هر یک از وضعیت‌های این آزمون، نمره صفر تا ۱۰۰ به عنوان شاخص استراتژی‌های حرکتی پاسچر فرد ارائه می‌شود و میانگین ۳ بار آزمون به عنوان نمره کاربرد استراتژی حرکتی پاسچر فرد منظور می‌شود.

در این مطالعه با کد کارازمایی بالینی: UMIN000044974 ابتدا ورزشکاران مبتلا به بی ثباتی مزمن مچ پا با مراجعه به هیات 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 رضایت نامه و اطلاع رسانی در زمینه چگونگی مشارکت آنها در طرح، نهایتاً وارد مطالعه شدند. سپس هر یک از آزمودنی‌ها با پای برهنه روی صفحه نیروهای سیستم پاسچروگرافی قرار گرفتند . سپس به ۱۵ نفر حاضر در گروه تمرین، پروتکل تمرینات تعادلی طی یک جلسه آموزش داده شد. گروه آزمون تمرینات تعادلی را به مدت شش هفته، سه جلسه در هفته و بصورت یک روز در میان، هر جلسه حدود ۶۰ دقیقه که در سه بخش، ده 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 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 می کرد(۲۸). در نهایت بعد از اتمام شش هفته برنامه تمرینی، در پس آزمون تمام متغیرها در دو گروه مجددا اندازه گیری شد. از شاخص‌های آمار توصیفی(میانگین و انحراف معیار) برای توصیف داده‌ها و همچنین از شاخص‌های آمار استنباطی نظیر آزمون تحلیل واریانس یک راهه برای تحلیل داده‌ها در سطح$\alpha \leq ۰/۰۵$ استفاده شد.

نتایج

جدول۱ میانگین و انحراف استاندارد ($\overline{X} \pm SD$) ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها را در دو گروه کنترل و تجربی نشان می‌دهد نتیجه حاصل از آزمون آماری اختلاف معنی داری را نشان نداد که این امر بیانگر همگن بودن آزمودنی‌ها بود.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد ($\overline{X} \pm SD$) ویژگی‌های فردی

متغیر	گروه تجربی(n=۱۵)	گروه کنترل (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

جدول ۲ میانگین و انحراف معیار استراتژی‌های حرکتی پاسچر در شش وضعیت دستکاری اطلاعات حسی با استفاده از آزمون سازماندهی حسی در ورزشکاران با بی ثباتی مزمن مچ پا را در دو گروه تجربی و کنترل نشان می دهد.

جدول ۲. اطلاعات مربوط به میانگین و انحراف استاندارد ($\overline{X} \pm SD$)استراتژی حرکتی پاسچر

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

یافته‌های ارائه شده در جدول ۳ نشان می دهد میانگین نمره تحلیل استراتژی در گروه تجربی در هر ۶ وضعیت بالاتر از گروه کنترل است. همچنین مقایسه استراتژی‌ها حرکتی پاسچر آزمودنی‌های دو گروه تجربی و کنترل در پیش آزمون و پس آزمون نشان داد که بین دو گروه تجربی و کنترل در پیش آزمون‌ها اختلاف معنی داری وجود ندارد اما در پس آزمون، گروه تجربی عملکرد بهتری نسبت به گروه کنترل داشت. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس نشان داد که شش هفته تمرین تعادلی بر استراتژی‌ها حرکتی

پاسچر در برابر دستکاری اطلاعات حسی در ورزشکاران مرد با بی ثباتی مزمن مچ پا تاثیر دارد(جدول۳).

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس استراتژی‌های حرکتی پاسچر در وضعیت‌های حسی مختلف

وضعیت‌ها	منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
وضعیت حسی اول(C1)	پیش آزمون	۹۸/۰۵	۱	۹۸/۰۵	۱۶/۷۱	۰/۰۰۰
	گروه	۵/۳۶	۱	۵/۳۶	۵/۱۱	۰/۰۳۴
وضعیت حسی دوم(C2)	پیش آزمون	۱۰/۴۴	۱	۱۰/۴۴	۵/۳۹	۰/۰۲۸
	گروه	۹/۳۶	۱	۹/۳۶	۴/۸۴	۰/۰۳۷
وضعیت حسی سوم(C3)	پیش آزمون	۷۴/۴۹	۱	۹/۳۶	۲۱/۰۶	۰/۰۰۰
	گروه	۲۰/۱۶	۱	۲۰/۱۶	۵/۷۰	۰/۰۲۴
وضعیت حسی چهارم(C4)	پیش آزمون	۸۷۰/۹۲	۱	۸۷۰/۹۲	۲۱/۲۳	۰/۰۰۰
	گروه	۱۶۹۴/۰۵	۱	۱۶۹۴/۰۵	۴۱/۳۱	۰/۰۰۰
وضعیت حسی پنجم(C5)	پیش آزمون	۸۹۴/۵۴	۱	۸۹۴/۵۴	۱۲/۳۶	۰/۰۰۲
	گروه	۱۶۴۴/۰۴	۱	۱۶۴۴/۰۴	۲۲/۷۲	۰/۰۰۰
وضعیت حسی ششم(C6)	پیش آزمون	۲۱۳۶/۵۵	۱	۲۱۳۶/۵۵	۲۰/۷۵	۰/۰۰۰
	گروه	۷۳۴/۰۶	۱	۷۳۴/۰۶	۷/۱۲	۰/۰۱۳
وضعیت حسی کلی(M)	پیش آزمون	۴۰۰/۶۷	۱	۲۳۹/۵۳	۵۳/۵۵	۰/۰۰۰
	گروه	۳۶۲/۸۵	۱	۶۱۴/۸۲	۴۸/۴۹	۰/۰۰۰

بحث و نتیجه گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد وزشکاران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا در گروه تمرین از میزان پایداری بیشتر و استراتژی‌های حرکتی با ثبات‌تری در برابر دستکاری اطلاعات حسی، نسبت به گروه کنترل برخوردار بودند. میانگین درصد امتیاز تحلیل استراتژی‌های حرکتی در افراد در وضعیت اول تا سوم بیشتر از وضعیت‌های چهارم تا ششم است و در وضعیت ششم که حس شنوایی و عمقی دستکاری می‌شوند کمتر از وضعیت‌های دیگر است. این نشان دهنده این است که در وضعیت اول (ارزیابی با استفاده از هر ۳ حس)، وضعیت دوم (حذف بینایی و وجود ۲ حس شنوایی و عمقی) وضعیت سوم (دستکاری حس شنوایی و وجود ۲ حس بینایی و عمقی) افراد بیشتر از استراتژی مچ پا جهت تعادل و کنترل پاسچر 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 نمره پایداری کمتر، سخت‌تر شدن شرایط حسی و جابجایی بیشتر مرکز ثقل، افراد بیشتر از استراتژی ران جهت حفظ تعادل و کنترل وضعیت استفاده کردند. محققان بیان کردند که کاهش در یکپارچگی حسی، افت عملکرد گیرنده‌های عمقی، بینایی و شنوایی منجر به کاهش تعادل و استفاده بیشتر از استراتژی ران می شوند(۲۹, ۳۰). بولگر و همکاران(۲۰۱۴) 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(۳۱). که نتایج این تحقیق هم راستا با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. در توجیه یافته‌های تحقیق باید اذعان داشت که انجام تمرینات تعادلی یا تمرین روی سطوح ناپایدار 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(۳۲). اساس تمرینات تعادلی، ایجاد تطابق در گیرنده‌های حس عمقی است که تحریکات را در موقعیت پرخطر دریافت می کنند(۳۳) 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 افراد حاصل می شود(۳۲). تحقیقاتی که بر روی افراد دارای بی ثباتی مچ پا انجام شده است حاکی از آن است که این افراد برای بازیابی تعادل بدنبال اغتشاشات جزئی، از استراتژی مچ پا استفاده می کنند بدین معنی که بدن حول مفصل مچ پا نوسان دارد. وضعیت قائم فرد حفظ شده و تغییری در سطح اتکا داده نمی شود. در اغتشاشات بزرگ و در آزمون شتاب ناگهانی استراتژی‌های دیگری که با سرعت بالا همراه است مانند استراتژی مفصل ران وگام برداشتن به کار می رود(۴, ۵). استراتژی مچ پا بیشتر در وضعیت‌هایی استفاده می‌شود که عامل بر هم زننده تعادل ضعیف و سطح اتکا به اندازه کافی بزرگ است. لازمه استفاده از این استراتژی دامنه حرکتی کامل مفصل و قدرت کافی در عضلات اطراف مچ می‌باشد(۳۴). با توجه به مطالب بیان شده و نتایج تحقیق، تمرینات تعادلی، گیرنده‌های حس عمقی که مسئول تشخیص جهت و موقعیت مفصل بوده، را بهبود می بخشند و موجب افزایش حساسیت مسیرهای فیدبکی، کوتاه کردن زمان شروع انقباض عضلات و بهبود حساسیت حس وضعیت می شوند به این ترتیب قدرت و استقامت افزایش می یابد(۲) در نتیجه اطلاعات آوران بیشتر و استفاده موثرتر از استراتژی مورد نظر، ثبات و پایداری افزایش می یابد(۳۵). انافارالدو و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود استفاده بیشتر از استراتژی مچ پا ، و استفاده کمتر از استراتژی ران در شرایط با اغتشاش پایین را متذکر شدند(۳۷) هنگامی که گروه‌ها را بر اساس سن انها آنالیز می کردند تفاوت‌هایی را در وضعیت ۳ و ۴ متوجه شدند که با افزایش سن درصد ثبات کاهش می یابد و افراد بیشتر از استراتژی ران استفاده می‌کنند دلیل این هم ممکن است به خاطر کاهش انعطاف پذیری و قدرت مفصل مچ پا متناسب با سن باشد(۳۸-۴۰)که در مقایسه کلی نتایج این تحقیقات با تحقیق حاضر همخوانی دارد. با توجه به مقایسه وضعیتی میزان پایداری تحقیق انافارالدو و همکاران (۲۰۱۶) که پایین‌ترین نتایج درصد پایداری (کاهش اتکا بر استراتژی مچ پا و افزایش اتکا بر استراتژی ران) برای شرایط ۵ مشاهده شد(چشم بسته و پلت فرم متحرک) و در حالی که در تحقیق حاضر، پایین ترین درصد پایداری برای وضعیت ۶ بود از این جهت با تحقیق حاضرهمخوانی ندارد.که احتمالاً علت تفاوت این موضوع با تحقیق حاضر،مقایسه گروه‌ها سنی مختلف و آزمودنی‌های گوناگون در مطالعه آنان بوده است(۳۷). همچنین موقعیت خم تر مچ در بیماران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌تواند ابزاری برای جبران کمبود ورودی حسی از رباط جانبی آسیب دیده توسط کشش عضله سولئوس و افزایش حساسیت دوکی عضله شود. با افزایش حساسیت در دوک عضله سولئوس افراد دارای بی ثباتی مزمن مچ پا می‌توانند انحرافات تعادلی را بهتر تنظیم کنند. تمرین تعادلی ممکن است در سیستم حسی حرکتی، به وسیله حساس‌تر شدن حرکت سر عضله سولئوس -که باعث کمتر کشیده شدن آن عضله می‌شود- تغییر ایجاد کرده باشند(۴۱). مرکز فشار عقب‌تر می‌تواند برای فرد مفید باشد زیرا زمان و فضای بیشتری برای تنظیمات پاسچری (در مقابله با آشفتگی‌های جلوتر پا) برای حفظ تعادل به فرد می دهد (۴۲) و تمرین تعادلی – همانطور که در تغییر محل مرکز فشار دیده می شد- 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 شرکت کنندگان اجازه می‌دهد تا محدودیت‌های تعادلی خود را کشف کنند –توسط انجام پشت سرهم و با تغییرات آن – باعث افزایش زاویه آزادی حرکت آن‌ها می‌شود. این برای فرد به خاطر دادن امکان‌های بیشتر به مچ در واکنش یا سازگاری نسبت به تغییرات یا مشکلات محیط می تواند مفید باشد. همچنین مهم است بدانید که با افزایش درجه آزادی (مچ) بهبود در تعادل مشاهده می‌شود(۴۳).

References

1. Gribble P, Hertel J, Denegar C, Buckley W. The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. J Athl Train. 2004;39:8.
2. Joel Mason, Christoph Kniewasser, Karsten Hollander & Astrid Zech (2022), Intrinsic Risk Factors for Ankle Sprain Differ Between Male and Female Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis, Volume 8, article number 139, .
3. Chan K.W DBC, Mroczek K. J. Acute and chronic lateral ankle instability in the athlete. Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases. 2011;69(1):9.
4. Mansfield A, Peters A, Liu B, Maki B. A perturbation-based balance training program for older adults: study protocol for a randomized controlled trial. BMC Geriatr. 2007;7(12).
5. Mansfield A, Peters A, Liu B, Maki B. Effect of a Perturbation-Based Balance Training Program on Compensatory Stepping and Grasping Reactions in Older Adults: A Randomized Controlled Trial. Phys There. 2010;90:15.
6. Qorbani, M. The neuromuscular response of patients with acute ankle instability in balance recovery. *Journal of Paramedical Sciences & Rehabilitation*, 2014; 3(2): 69-77.
7. Mettler A, Chinn L, Saliba SA, McKeon PO. Balance Training and Center-of-Pressure Location in Participants With Chronic Ankle Instability. J Athl Train. 2015;50(4):6.
8. Jacobs J, Horak F. Cortical control of postural responses. J Neural Transm. 2007;114(10):9.
9. Redfern M, Jennings J, Martin C, Furman J. Attention influences sensory integration for postural control in older adults. Gait Posture. 2001;14(3):5.
10. Sell TC. An examination, correlation, and comparison of static and dynamic measures of postural stability in healthy, physically active adults. J PTS. 2012;13(.۶:(۲
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(8):47.
12. Rogers M, Roger N, Takeshima N, Mohammod M. Methodstoassess and improve the physical parameters associated with fall risk in older adults. Prev Med. 2003;36:11.
13. Melzer I, Benjuya N, Kaplanski J. Postural stability in the elderly: a comparison between fallers and non-fallers. Age & Ageing. 2004;33:5.
14. R Kandel E, James H, MJThomas. Principles of neural science. McGraw-Hill New York. 2000;4.
15. JM Medina, McLeod TV, Howell SK, Kingma J. Timing of neuromuscular activation of the quadriceps and hamstrings prior to landing in high school male athletes, female athletes, and female non-athletes. J Electromyogr Kinesiol. 2008;18(4):7.
16. Riemann B, Lephart S. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. J Athl Train. 2002;37(1):9.
17. Riemann B, Lephart S. The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. J Athl Train. 2002;37(1):4.
18. Gautier G, Thouvarecq R, Larue J. Influence of experience on postural control: effect of expertise in gymnastics. Journal of Motor Behavior. 20.۸:(۵)۴۰;۰۸
19. Munn J BD, Refshauge KM, Lee RW. . Do functional performance tests detect impairment in subjects with ankle instability? . J Sport Rehabil. 2002;11(1):10.
20. Demeritt KM SS, Docherty CL, Gansneder BM, Perrin DH. Chronic ankle instability does not affect lower extremity functional performance. J Athl Train. 2002;37(4):5.
21. J. H. Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability. Clin Sports Med. 2008;27(3):17.
22. Chong RK, A. Ambrose, J. Carzoli, L. Hardison, and B. Jacobson,. Source of improvement in balance control after a training program for ankle proprioception. Percept Mot Skills. 2001;92(1):7.
23. Suda EY, C. F. Amorim, and C. Sacco Ide. Influence of ankle functional instability on the ankle electromyography during landing after volleyball blocking. J Electromyogr Kinesiol,. 2009;19(2):9.
24. Akhbari B, Ismail Ebrahimi Takamjani, Mahyar Salavati, and Mohammad Ali Sanjari. A 4-week biodex stability exercise program improved ankle musculature onset, peak latency and balance measures in functionally unstable ankles. Physical Therapy in Sport. 2007;8(3):12.
25. Delahunt E, Garrett F Coughlan, Brian Caulfield, Elizabeth J Nightingale, CW Lin, and Claire E Hiller,.2010:. 42(11): PP: 2106-2121. Inclusion criteria when investigating insufficiencies in chronic ankle instability. J Med and SSE 2010;42(11):15.
26. Rnaldi NM1 PP, Barela JA. . Age-related changes in postural control sensory reweighting. Neurosci Lett. 2009;46(3):4.

27. Ferber-Viart C, Ionescu E, Morlet T ,Froehlich P, Dubreuil C. Balance in healthy individuals assessed with Equitest: Maturation and normative data for chil-dren and young adults. Int J Pediatr Otorhi 2007;71(6):1041.
28. Cruz-Diaz D L-VR, Osuna-Pérez MC, Contreras FH, Martínez-Amat A. Effects of 6 Weeks of Balance Training on Chronic Ankle Instability in Athletes: A Randomized Controlled Trial. Int J Sports Med. 2015Aug;36(9):6.
29. MH. W. Systems contributing to balance disorders in older adults. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2000;55(8):.۶
30. Benjuya N MI, 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):5.
31. Bolger D TL, Sawers A. Individuals with transtibial limb loss use interlimb force asymmetries to maintain multi-directional reactive balance control. . Clin Biomech. 2014;29(9):8.
32. Behm D AK, Curnew R. Muscle force and activation under stable and unstable conditions. J Strength Cond Res. 2002;16(3):6.
33. Borghuis J HA, Lemmink K. The Importance of Sensory-Motor Control in Providing Core Stability, Implications for Measurement and Training. Sports Med. 2008;38(11):23.
34. Nashner L. Practical biomechanics and physiology of balance. Jacobson GP NC, Kartush JM, editor. San Diego: singular Publishing Group; 1997. 261-79 p.
35. Cug M OA, Korkusuz F, Behm D. The effect of instability training on knee joint proprioception and core strength. . J Sport Sci Med. 2012;11:6.
36. Leassoe U VM. Aanticipatory postural control strategies related to predictive perturbations. Gait posture. 2008 Jul;28(1):6.
37. Ana Faraldo-Garcı´ SaS-Pra, b, Rosa Crujeiras c, Andre´ s Soto-Varela a,b. Postural changes associated with ageing on the sensory organization test and the limits of stability in healthy subjects. 2016;43(2):5.
38. Karlsson A LH. Analysis of postural sway strategies using an inverted pendulum model and force plate data. Gait Posture 1997;5:5.
39. Baydal-Bertomeu JM BiGR, Soler-Gracia C, Peydro de Moya MF, Prat JM, Barona de Guzman R. Determinacio´n de los patrones de comporta-miento postural en poblacio´n sana espan˜ ola. Acta Otorrinolaringol Esp 2004;55:9.
40. Amaridis IG HV, Arabatzi F. Age-induced modification of static postural control in humans. Neurosci Lett 2003;3(50):3.
41. Thompson C BM, Fung J. Effects of plantar cutaneo-muscular and tendon vibration on posture and balance during quiet and perturbed stance. Hum Mov Sci 2011;30(2):18.
42. Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. J Athl Train. 2019;54(6):603–10.
43. McKeon PO, C.D .Ingersoll, D.C. Kerrigan, E. Saliba, B.C. Bennett, and J. Hertel. Balance training improves function and postural control in those with chronic ankle instability. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2008;40(10):9.

Original Article

The effect of balance training on postural motor strategies of athletes with chronic ankle instability against manipulation of visual, vestibular, and proprioceptive information

Received: 09/06/2025 - Accepted: 21/07/2025

Hadi Miri[1*]
Keyvan Moradian[2]
Samaneh Soltaninajibpour[3]

[1] Associate Professor, Department of Sport and Health Sciences, Amirkabir University of Technology

[2] PhD in Physical Education, Department of Sport and Health Sciences, Amirkabir University of Technology

3 PhD student in corrective exercise and sports pathology, University of Tehran

Email: hd.miri@aut.ac.ir

Abstract

Introduction: The ankle joint plays a critical role in maintaining balance and postural control. Damage to the sensorimotor control system of the ankle has been identified as the primary cause of recurrent ankle instability. Impairments in proprioception and kinesthetic awareness are major contributors to decreased balance, increasing the likelihood of reinjury and often leading to prolonged absence of athletes from sports participation. This study aimed to examine the effect of balance training on postural motor strategies in athletes with chronic ankle instability when exposed to manipulated visual, vestibular, and proprioceptive inputs.

Methods: In this quasi-experimental study, 30 male athletes with chronic ankle instability were randomly assigned to an experimental group (n = 15) or a control group (n = 15). Assessments were conducted using a pretest–posttest design. The experimental group completed a six-week perturbation-based balance training program. Postural motor strategies were evaluated using the Sensory Organization Test (SOT) of a computerized dynamic posturography system. The system analyzed motor strategy use across six conditions: 1. all sensory inputs (visual, vestibular, and proprioceptive) available; 2. visual input removed; 3. vestibular input manipulated; 4. proprioceptive input manipulated; 5. combination of visual removal and proprioceptive manipulation; and 6. manipulation of both vestibular and proprioceptive inputs. Data were analyzed using one-way ANCOVA. Statistical analyses were performed in SPSS version 22 at a significance level of $\alpha = 0.05$.

Results: Results indicated that participants in the experimental group demonstrated the highest motor strategy scores in condition one, relying primarily on the ankle strategy. Conversely, the lowest scores were observed in condition six, where both vestibular and proprioceptive inputs were manipulated, resulting in greater use of the hip strategy. Overall, posttest scores in all six conditions were superior in the experimental group compared with the control group.

Conclusion: The findings suggest that balance training can effectively enhance postural control. Training on unstable surfaces likely increases muscle activation and enables the central nervous system to receive more effective sensory input from various afferent receptors. These adaptations may lead to altered motor control patterns, improved sensory integration, faster sensory processing, and earlier muscle activation. Ultimately, such improvements promote the use of more stable motor strategies for postural control and contribute to greater overall stability.

Keywords: balance training, postural motor strategies, chronic ankle instability, sensory manipulation

Acknowledgement: There is no conflict of interest