

Effect of Open and Closed Kinetic Chain Exercises on the Staheli Index of the Foot in Adolescent Boys

Kord Firuzjaei Ali Akbar¹, Ghaffari Cherati Raheleh²

- 1- MSc in Sports Injuries and Corrective Exercises, Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Shomal Non-Governmental University, Amol, Iran
- 2- Assistant Professor of Sports Injuries and Corrective Exercises, Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Shomal Non-Governmental University, Amol, Iran

Abstract

Received: 2025.05.24 Accepted: 2025.09.23

Purpose: Flexible flat foot is common in children. The present study aimed to investigate the effect of four weeks of open and closed kinetic chain exercises on Staheli index (SI) of 13-17-year-old students in the City of Babol.

Methods: This semi-experimental study utilized a pre-test/post-test design. The statistical population of the present study comprised all male students aged 13–17 years with flatfoot in the city of Babol, who were selected from three schools under the supervision of the Ministry of Education (N = 235). From this population, 30 eligible participants were selected using G*Power software and randomly assigned to two groups via simple random sampling. Both groups performed their respective kinetic chain exercises for four weeks (three sessions per week, 60 minutes per session) according to their specific program. For statistical analysis, covariance analysis (for between-group comparisons) and paired t-test (for within-group comparisons) were employed. All analyses were performed using SPSS version 26 at a significance level of $\alpha = 0.05$.

Results: The statistical results of the present study showed that after four weeks of closed and open kinetic chain exercises, the SI decreased, indicating an improvement in foot posture (closed chain group: $P = 0.001$; open chain group: $P = 0.002$). Furthermore, in the between-group comparison, the closed kinetic chain exercise group demonstrated a better performance ($F=4.24$, $P=0.049$) with a medium effect size (0.13) compared to the open kinetic chain exercise group.

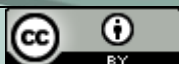
Conclusion: Overall, the findings indicate that both OKC and CKC exercises effectively improved SI in students with this condition. However, CKC exercises demonstrated superior performance compared to OKC exercises and are recommended for corrective trainers to enhance foot structure and function.

Keywords: Kinetic chain, Flat feet, Staheli index, Boys student

Corresponding Author: Raheleh Ghaffari Cherati

Email: rh.ghaffari@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0760-3117



Copyright © 2026 Mashhad University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

► Please cite this article as: Kord Firuzjaei AA, Ghaffari Cherati R. Effect of Open and Closed Kinetic Chain Exercises on the Staheli Index of the Foot in Adolescent Boys. *JPSR* 2026; 15(1):7-17. DOI: 10.22038/jpsr.2026.88446.2706

تأثیر تمرینات زنجیره حرکتی باز و بسته بر شاخص استاهلی کف پا در پسران نوجوان

علی اکبر کرد فیروزجایی^۱، راحله غفاری چراتی^۲

هدف: کف پای صاف منعطف در کودکان شایع می باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر چهار هفته تمرینات زنجیره حرکتی باز و بسته بر شاخص استاهلی دانش آموزان ۱۷-۱۳ سال شهرستان بابل انجام شد.

روش بررسی: مطالعه حاضر به صورت پیش آزمون و پس آزمون و از نوع نیمه تجربی بود. جامعه آماری تحقیق حاضر، دانش آموزان پسر ۱۳ تا ۱۷ سال مبتلا به کف پای صاف در شهر بابل بودند که از سه مدرسه زیر نظر آموزش و پرورش (جمعاً ۲۳۵ نفر) تشکیل می شدند. از بین این افراد، ۳۰ نفر که واجد شرایط بودند که با استفاده از نرم افزار G-power این تعداد تعیین و به صورت تصادفی ساده به دو گروه تقسیم شدند. هر دو گروه زنجیره حرکتی بسته و باز را به مدت چهار هفته (سه جلسه در هفته و ۶۰ دقیقه در هر جلسه) مطابق با برنامه مختص خود انجام دادند. جهت تجزیه و تحلیل آماری، از روش های ANCOVA؛ کوواریانس (برای مقایسه بین گروهی) و Paired sample T test؛ تی زوجی (برای مقایسه درون گروهی) استفاده گردید. تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ و در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته ها: نتایج آماری پژوهش حاضر نشان داد که پس از چهار هفته تمرینات زنجیره حرکتی بسته و باز میزان شاخص استاهلی کاهش یافت که نشان دهنده بهبود کف پا بود (گروه بسته: $p=0/001$ ؛ گروه باز: $p=0/002$)، همچنین در مقایسه بین گروهی نیز گروه تمرینی زنجیره حرکتی بسته نسبت به گروه تمرینی زنجیره حرکتی باز عملکرد بهتری ($F=4/24, p=0/049$) با اندازه اثر متوسط ۰/۱۳ داشت.

نتیجه گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که گروه تمرینات زنجیره حرکتی باز و بسته بر میزان شاخص استاهلی دانش آموزان مبتلا به کف پای صاف منعطف موثر بوده است. تمرینات زنجیره بسته نسبت به زنجیره باز عملکرد بهتری داشتند و برای بهبود ساختار و عملکرد پا به مربیان اصلاحی پیشنهاد می شوند.

کلمات کلیدی: زنجیره حرکتی، کف پای صاف، شاخص استاهلی، پسران دانش آموز.

ORCID: 0000-0002-0760-3117

نویسنده مسئول: راحله غفاری چراتی، rh.gaffari@gmail.com

آدرس: دانشگاه شمال، مازندران، آمل

۱- کارشناس ارشد آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه غیرانتفاعی شمال، آمل، ایران

۲- استادیار آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه غیرانتفاعی شمال، آمل، ایران.

مقدمه

کف پای صاف منعطف (Flexible Flatfoot; FF) حالتی است که در آن قوس پا در حالت بدون تحمل وزن (زنجیره حرکتی باز) طبیعی است، اما در حالت تحمل وزن (زنجیره حرکتی بسته) کاهش می یابد یا ناپدید می شود (۱). این عارضه می تواند ناشی از عوامل ارثی مانند ساختار ژنتیکی استخوان ها یا لیگامان ها یا عوامل اکتسابی نظیر ضعف عضلانی، اضافه وزن، یا آسیب های مکرر باشد. علل ایجاد کف پای صاف منعطف در کودکان شامل ضعف عضلات ذاتی و برون ذاتی پا، ناپایداری لیگامانی، فشارهای غیرطبیعی ناشی از اضافه وزن، الگوهای حرکتی نادرست، عدم تحریک کافی

عضلات کف پا در رشد، استفاده بیش از حد از کفش های نامناسب، و عوامل محیطی است که می توانند قوس طولی داخلی (Medial Longitudinal Arch; MLA) را تحت تأثیر قرار دهند (۲، ۳). این عوامل به طور مستقیم بر ساختارهای غضروفی و استخوانی پا تأثیر گذاشته و در صورت عدم مداخله، می توانند منجر به تغییرات دائمی در قوس پا شوند.

این عارضه در کودکان و نوجوانان منجر به کاهش عملکرد حرکتی، افزایش خطر آسیب، و محدودیت در فعالیت های ورزشی می شود، که ضرورت مداخلات اصلاحی را برجسته می کند (۴). شیوع کف پای صاف منعطف در نوجوانان ۱۷-

برشی را کاهش می دهد در حالی که نیروهای فشاری به مفاصل اضافه می کند و در نتیجه ثبات مفصل را بهبود می بخشد (۱۲، ۱۱). به عنوان مثال، تمرینات CKC با تأکید بر تحمل وزن، انقباض غیرعادی و همزمان عضلات را تسهیل می کنند که نیروهای برشی را کاهش داده و ثبات مفصلی را افزایش می دهد (۱۲). Kwon و همکاران (۱۳)، نشان دادند که تمرینات CKC نسبت به تمرینات OKC در بهبود کنترل وضعیت پویا در بزرگسالان سالم مؤثرتر است (۱۳). مطالعات الکترومیوگرافی (Electromyography) همچنین استفاده از تمرینات CKC و OKC برای درمان آسیب های اندام تحتانی توصیه کرده اند (۱۴، ۱۵). Bellew و همکاران (۱۴)، افزایش فعالیت نازک نی طویل را با تمرینات بلند کردن پاشنه در مقایسه با تمرینات مرسوم اورژن مچ پا با استفاده از کش مقاومتی گزارش کردند (۱۴). مطالعات نشان داده اند که تغییرات اولیه در قوس پا و عملکرد عضلانی پس از چهار هفته تمرین اصلاحی قابل مشاهده است ۱۶/۶/۲۰۲۶. برای مثال، مطالعه ای گزارش کرد که تمرینات پای کوتاه پس از چهار هفته بهبود قابل توجهی در قوس پا ایجاد کرد، اما افزایش مدت زمان به شش یا هشت هفته تأثیر بیشتری نداشت و ممکن بود پایبندی بیماران را کاهش دهد یا هزینه های مداخله را افزایش دهد (۱۲). دوره های طولانی تر معمولاً برای تثبیت نتایج یا ایجاد تغییرات ساختاری پایدار مناسب اند، اما چهار هفته برای ارزیابی اثربخشی اولیه و امکان سنجی مداخله در این گروه سنی بهینه است. با این حال، تحقیقات قبلی عمدتاً بر بزرگسالان یا کودکان کوچک تر تمرکز داشته و مقایسه مستقیم OKC و CKC در گروه سنی ۱۳ تا ۱۷ سال کمتر بررسی شده است (۱۷، ۱۸). این مطالعه با پر کردن این شکاف، به ویژه در جمعیت ایرانی، شواهد عملی برای طراحی برنامه های اصلاحی ارائه می دهد. ما فرض کردیم که تمرینات CKC به دلیل ماهیت عملکردی و تقویت حس عمقی، نسبت به OKC اثربخشی بیشتری در بهبود قوس پا خواهند داشت.

روش بررسی

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی (دو گروه تجربی و به صورت پیش آزمون - پس آزمون) می باشد. طراحی نیمه تجربی بدون گروه کنترل به دلیل محدودیت های لجستیکی، از جمله همکاری محدود مدارس و عدم امکان

۱۳ سال به دلیل تکامل ناقص عضلات پایدارکننده قوس و تأثیرپذیری بالا از عوامل محیطی (مانند کفش نامناسب و چاقی) قابل توجه است. چالش اصلی تحقیق حاضر، کمبود شواهد در مورد اثربخشی مقایسه ای تمرینات زنجیره حرکتی باز (Open Kinetic Chain; OKC) و بسته (Close Kinetic Chain; CKC) در بهبود قوس پا در این گروه سنی است. این گروه سنی به دلیل رشد فعال ساختارهای پا، به ویژه انعطاف پذیری بافت های نرم، به تمرینات اصلاحی پاسخ می دهند، زیرا قوس طولی داخلی تا پایان دهه اول زندگی تشکیل می شود و در نوجوانی با تقویت عضلات درون مفصلی (مانند دورکننده شست پا) و برون مفصلی (مانند ساقی خلفی) قابل بهبود است (۷-۵). کف پای صاف منعطف در این دامنه سنی به تمرینات پاسخ می دهد، زیرا عضلات و لیگامان ها هنوز در حال تکامل هستند و می توانند با مداخلات هدفمند تقویت شوند، که به کاهش پرونیشن بیش از حد و بهبود ساختار قوس کمک می کند (۶، ۷). این مطالعه با مقایسه تمرینات OKC (حرکات تک مفصلی بدون تحمل وزن) و CKC (حرکات چندمفصلی با تحمل وزن) در جمعیت ایرانی، به دنبال ارائه شواهد عملی برای مربیان اصلاحی است تا از عوارض ثانویه مانند درد مفاصل یا کاهش عملکرد ورزشی پیشگیری کند.

تمرینات متعددی جهت درمان کف پای صاف معرفی شده است که به دو دسته کلی تقسیم می شوند: (۱) روش های سنتی مبتنی بر زنجیره حرکتی باز و بسته (OKC/CKC) و (۲) رویکردهای نوین مانند تمرینات "پای کوتاه" (Short Foot Exercise) و پروتکل های عصبی-عضلانی (Neuromuscular Training). تحقیقات اخیر نشان داده اند تمرینات پای کوتاه با فعال سازی اختصاصی عضلات کف پا (مانند عضله دورکننده شست پا)، بهبود قابل توجهی در قوس طولی داخلی ایجاد می کنند (۸). همچنین پروتکل های عصبی-عضلانی با تمرکز بر بهبود هماهنگی و حس عمقی، نتایج امیدوارکننده ای در کنترل پرونیشن بیش از حد گزارش کرده اند (۹). با این حال، در مطالعه حاضر از پروتکل سنتی Kim & Yoo (۱۰)، استفاده شد که شامل ترکیبی از تمرینات OKC و CKC است (۱۰)، که با توجه به محدودیت های زمانی و فضایی مدارس، این پروتکل با تمرینات گروهی و کوتاه مدت سازگارتر است. علاوه بر این، تمرینات CKC برای ایجاد انقباض غیرعادی و انقباض همزمان عضلات پیشنهاد شده اند که نیروهای

غیبت در جلسات تمرینی بود (۲۲). علت کف پای صاف در آزمودنی‌ها یکسان نبود و شامل عوامل اکتسابی مانند ضعف عضلات درون مفصلی و برون مفصلی پا (مانند عضله دورکننده شست پا و ساقی خلفی) یا الگوهای حرکتی نادرست بود که توسط متخصصین مورد تأیید وزارت بهداشت، درمان در غربالگری اولیه شناسایی شد و همچنین، راستای مفاصل اندام تحتانی (زانو و لگن) توسط متخصص ارتوپدی بررسی شد و تنها افرادی که انحراف شدید در زانو (مانند زانوی پرانتری یا ضربدری) یا میچ پا نداشتند، وارد مطالعه شدند. این معیارها نسبتاً گسترده بودند و ممکن است ناهمگنی نمونه را افزایش داده باشند، اما برای افزایش امکان پذیری مطالعه در محیط آموزشی انتخاب شدند. ابتدا از آزمودنی‌ها پیش آزمون گرفته شد. ارزیابی کف پای صاف توسط یک محقق آموزش دیده و با روش شاخص استاهلی (Stahli Index; SI) انجام شد. پیش از شروع تمرینات توضیحاتی به آزمودنی‌ها بابت انجام تمرینات داده شد. آزمودنی‌ها در قالب دو گروه تمرینی زنجیره باز (۱۵ نفر) و بسته (۱۵ نفر) تمرینات را به مدت چهار هفته انجام دادند، پس آزمون همانند شرایط پیش آزمون میزان کف پای صاف دانش آموزان با استفاده از روش استاهلی ارزیابی شد.

روش ارزیابی کف پای صاف

برای اندازه‌گیری شاخص استاهلی، از پودر تالک برای ثبت اثر کف پا استفاده شد. آزمودنی پای خود را در پودر تالک آغشته کرده و سپس روی صفحه مشکی قرار داد تا اثر پا ثبت شود. بنابراین با توجه به محاسبه شاخص قوس کف پا به روش استاهلی، ابتدا قسمت باریک قوس و در گام بعدی پهن ترین قسمت پاشنه تا نزدیک یک میلیمتر با کولیس سه بار به طور مجزا و پشت سر هم توسط محقق اندازه‌گیری شد و میانگین سه بار ثبت گردید. براساس این شاخص مقادیر $0.89 < SI < 0.53$ به عنوان کف پای طبیعی و $SI \leq 0.89$ به عنوان کف پای صاف بررسی و ارزیابی کمی می‌شود. این روش دارای روایی و پایایی (۰/۹۹ - $ICC = 0.98$) بوده (۲۳) و اجازه مقایسه یافته‌ها را به محقق می‌دهد (۲۴) (تصویر ۱).

افزودن گروه کنترل به دلیل تعداد کم شرکت کنندگان، انتخاب شد که یک ضعف طراحی است و ممکن است بر قدرت استنباط نتایج تأثیر بگذارد. جامعه آماری شامل دانش آموزان پسر ۱۳ تا ۱۷ سال مبتلا به کف پای صاف در شهرستان بابل بود که از سه مدرسه (۲۳۵ نفر) زیر نظر آموزش و پرورش انتخاب شدند. از میان افراد واجد شرایط ۳۰ دانش آموز با استفاده از نرم افزار G^*power (توان آماری: ۰/۸، سطح معنی‌داری: ۰/۰۵، اندازه اثر: ۰/۵۴) بر اساس مطالعه قبلی (۱۹) انتخاب شدند. به افراد واجد شرایطی که مایل به شرکت در مطالعه بودند، اطلاعات شفاهی در مورد مطالعه و یک برگه اطلاعات کتبی به والدین ارائه شد و قبل از انجام ارزیابی پایه و تخصیص به دو گروه، آزمودنی‌ها رضایت آگاهانه را مطابق با اعلامیه هلسینکی ارائه دهند. تصادفی سازی با استفاده از نرم‌افزار Random Number Generator انجام شد (۲۰) و تخصیص به دو گروه (۱۵ نفر در هر گروه) در پاکت‌های مهر و موم شده پنهان شد تا از سوگیری تخصیص جلوگیری شود. معیارهای ورود به مطالعه عبارت اند از: ۱) سن بین ۱۳ تا ۱۷ سال باشد ۲) شاخص قوس کف پای استاهلی برای پای برتر آزمودنی بزرگتر مساوی از ۰/۸۹ باشد ۳) توجه به توان انجام تمرینات و ۴) ارائه رضایت‌نامه آگاهانه از والدین (۲۱)، ۵) فقدان درد فعال یا مزمن در ناحیه پا یا میچ پا در زمان غربالگری، و ۶) عدم وجود انحرافات شدید مفصلی در زانو یا مفصل ران (مانند زانوی ضربدری یا زانوی عقب رفته شدید) بود که با معاینه بالینی توسط متخصصین وزارت بهداشت تأیید شد (این متخصصین شامل تیم های غربالگری وزارت بهداشت هستند که از پزشک عمومی (برای ارزیابی اولیه)، متخصص ارتوپدی (برای تأیید ناهنجاری های اسکلتی) تشکیل می‌شوند. این تیم‌ها به صورت دوره ای به مدارس اعزام می‌شوند و غربالگری را مطابق پروتکل های استاندارد وزارت بهداشت انجام می‌دهند). معیارهای خروج از مطالعه عبارت اند از: ۱) هرگونه ناهنجاری مادرزادی اندام تحتانی ۲) سابقه اختلالات عصبی و اسکلتی - عضلانی یا دهلیزی ۳) جراحی های قبلی اندام تحتانی ۴) ضربه به اندام تحتانی حداقل ۳ ماه قبل از مطالعه ۵) فیزیوتراپی در ۳ ماه گذشته یا مشارکت فعلی در توانبخشی فیزیکی تحت نظارت ۶) هیچ استثنایی به دلیل وزن انجام نشد و ۷)



تصویر ۱: روش محاسبه کف پای صاف از طریق شاخص استاهلی

پروتکل تمرینی زنجیره باز و بسته

پروتکل تمرینی پژوهش حاضر برگرفته از مطالعه Kim & Yoo (۱۰) بود. برنامه تمرینی به مدت ۴ هفته، ۳ جلسه در هفته مدت زمان هر جلسه با مرحله گرم و سرد کردن برابر با ۶۰ دقیقه بود (۱۰ دقیقه گرم کردن، ۱۰ دقیقه سرد کردن، ۴۰ دقیقه تمرین). شدت تمرینات در هفته‌های ۱ و ۲ متوسط (RPE; Rate of Perceived Exertion) (۱۲-۱۴) و در هفته‌های ۳ و ۴ متوسط تا بالا (RPE) (۱۴-۱۶) بود. برای کاهش همپوشانی، تمرینات زنجیره باز و بسته به گونه‌ای طراحی شدند که حرکات تک‌مفصلی (OKC) و چندمفصلی (CKC) به‌وضوح متمایز باشند (۲۵). (جدول ۱)، همچنین آزمودنی‌ها بین ست‌ها یک دقیقه استراحت داشتند تا دچار خستگی نشوند (۱۰).

در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. پس از بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک (جدول ۲) از آزمون‌های طبیعی استفاده شد. شاخص استاهلی پیش آزمون به عنوان کووریت اصلی و سن به عنوان کووریت ثانویه در تحلیل کوواریانس (ANCOVA; Covariance) کنترل شدند تا اثر آن‌ها بر نتایج حذف شود و متغیرهای پایه (سن، قد، وزن، BMI) به دلیل ریسک هم‌خطی و حجم نمونه محدود ($N=30$) حذف گردیدند. به منظور آزمون فرضیات تحقیق از آزمون تحلیل کوواریانس (مقایسه زنجیره حرکتی باز و بسته) و تی زوجی ((درون گروهی) استفاده شد. همچنین از نسخه ۲۶ نرم افزار SPSS (Statistics 26.0.1 IF026 Win/Mac) استفاده شد. سطح معنی‌داری در پژوهش حاضر $p < 0.05$ می باشد.

یافته‌ها

نتایج حاصل از مقایسه داده‌های توصیفی دو گروه تمرینی با استفاده از آزمون تی-مستقل (جدول ۳) بیانگر عدم تفاوت معنادار بین گروه‌ها در مرحله پایه بود که نشان دهنده همگن بودن گروه‌ها از این نظر است. همچنین، بر اساس یافته‌های آزمون شاپیرو-ویلک، توزیع داده‌های پژوهش نرمال ارزیابی شد؛ بنابراین از روش‌های پارامتریک شامل آزمون تی-زوجی (جدول ۴) و تحلیل کوواریانس برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. مطابق نتایج آزمون تی-زوجی، پس از ۴ هفته مداخله تمرینی، تغییرات معناداری در میزان قوس طولی داخلی کف پا در هر دو گروه تمرینات زنجیره حرکتی باز ($p=0.002$) و بسته ($p=0.001$) مشاهده شد، فاصله اطمینان برای گروه بسته ($[0.159, 0.501]$) و گروه باز ($[0.358, 0.102]$) نشان می‌دهد که هر دو گروه بهبود معنی‌داری داشته‌اند، اما فاصله اطمینان گروه بسته گسترده‌تر است که نشان دهنده اثرگذاری بیشتر این تمرینات است، این یافته‌ها تأثیرگذاری مداخلات تمرینی را بر متغیر مورد مطالعه تأیید می‌کند. همچنین بین دو گروه تمرینی تفاوت قابل توجهی وجود دارد، نتایج آزمون کوواریانس ($F=4/24, p=0.049$) نیز به اندازه اثر متوسط در ($\text{Eta Squared}=0.13$). مقادیر اتای سهمی به عنوان اندازه اثر (Effect Size) محاسبه شد که بر اساس مطالعه Keselman و همکاران (۲۶) $\text{اثر کوچک}=0.01$ ، $\text{اثر متوسط}=0.06$ و $\text{اثر بزرگ}=0.14$ در نظر گرفته شد (۲۶).

تحلیل تکمیلی بالینی: با توجه به این که میانگین SI گروه‌ها پس از مداخله هنوز حول آستانه 0.89 است، بررسی شد که در گروه تمرینات زنجیره بسته، ۱۰ نفر از ۱۵ نفر (67%) و در گروه تمرینات زنجیره باز، ۷ نفر از ۱۵ نفر (47%) از محدوده کف پای صاف ($0.89 \leq SI$) خارج.



جدول ۱: پروتکل تمرینی زنجیره حرکتی باز و بسته

برنامه تمرینی زنجیره بسته	برنامه تمرینی زنجیره باز (تک مفصلی، غیر تحمل وزن)
گرم کردن (کشش مچ پا به مدت ۱۰ دقیقه)	
هفته ۱ تا ۲ (۲۰ تکرار، ۵ ست)	هفته ۱ تا ۲ (۲۰ تکرار، ۵ ست)
لانچ (Lunge)	دورسی فلکشن و اینورژن پا
	
حوله را با انگشتان اکستند شده غلت دهید	پلاتنار فلکشن و اینورژن پا
	
غلطاندن توپ پلاستیکی با اینورژن پا	پلاتنار فلکشن (با Thera-Band)
	
هفته ۳ تا ۴	
(۲۰ تکرار، ۷ ست)	
لانچ	دورسی فلکشن و اینورژن پا
حوله را با انگشتان اکستند شده غلت دهید	پلاتنار فلکشن و اینورژن پا
غلطاندن توپ پلاستیکی با اینورژن پا	پلاتنار فلکشن

جدول ۲: نتایج آزمون شاپیرو-ویلک

متغیر	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	p-مقدار
میزان قوس کف پای صاف (SI)	گروه تمرینات بسته	۰/۳۶	۰/۲۴	۰/۰۹
	گروه تمرینات باز	۰/۶۳	۰/۰۹	

جدول ۳: ویژگی های دموگرافیک آزمودنی ها

شاخص	گروه	انحراف معیار $\pm$ میانگین	آماره آزمون	p-مقدار
سن (سال)	گروه تمرینات بسته	$15/06 \pm 1/33$	۱/۷۱	۰/۰۹
	گروه تمرینات باز	$14/26 \pm 1/22$		
قد (متر)	گروه تمرینات بسته	$1/59 \pm 0/09$	۰/۰۸	۰/۹۳
	گروه تمرینات باز	$1/61 \pm 0/10$		
وزن (کیلوگرم)	گروه تمرینات بسته	$54/26 \pm 1/61$	- ۰/۶۵	۰/۵۱
	گروه تمرینات باز	$54/43 \pm 1/30$		
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	گروه تمرینات بسته	$21/56 \pm 3/87$	۰/۲۸	۰/۷۷
	گروه تمرینات باز	$21/07 \pm 5/55$		

Body Mass Index; BMI

جدول ۴: نتایج آزمون تی زوجی

متغیر	گروه	انحراف معیار $\pm$ میانگین	پیش آزمون	پس آزمون	p-مقدار
میزان قوس کف پای صاف (SI)	تمرینات زنجیره بسته	$1/22 \pm 0/22$	۰/۸۹ $\pm$ ۰/۱۸	۴/۱۴	۰/۰۰۱**
	تمرینات زنجیره باز	$1/29 \pm 0/30$			

* سطح معنی داری $p < 0/05$

بحث و نتیجه گیری

مطالعه حاضر تأثیر چهار هفته تمرینات زنجیره حرکتی باز (OKC) و بسته (CKC) را بر کف پای صاف منعطف در پسران ۱۳ تا ۱۷ سال بررسی کرد. نتایج نشان داد که هر دو نوع تمرین باعث کاهش شاخص استاهلی و بهبود قوس کف پا شدند، اما تمرینات CKC عملکرد بهتری داشتند (با اندازه اثر متوسط ۰/۱۳)، که با فرضیه اولیه مطالعه همخوانی دارد. این نتایج با مطالعات Sukprasert و همکاران (۲۷)، Brijwasi و Borkar (۱)، Hara و همکاران (۸)، مومنی و همکاران (۲۹)، و Kim و Yoo (۱۰) همراستا است، که همگی بر اثربخشی تمرینات اصلاحی در بهبود قوس پا تأکید دارند. برای مثال، Brijwasi و Borkar (۱)، در یک کارآزمایی تصادفی نشان دادند که برنامه تمرینی جامع پس از شش هفته، ارتفاع ناویکولار را ۰/۴ سانتی متر افزایش داد، که مشابه بهبود مشاهده شده در گروه CKC مطالعه حاضر است.

تحلیل بیومکانیکی و عصبی-عضلانی نتایج حاکی از آن است که تمرینات CKC به دلیل درگیری همزمان چندین گروه عضلانی، افزایش ثبات مفصلی از طریق انقباض های هم انقباضی (Co-contraction)، و تقویت بازخورد حس عمقی، تأثیر بیشتری بر بهبود قوس طولی داخلی (MLA) دارند. این تمرینات با ایجاد نیروهای فشاری به جای برشی، فشار کمتری بر ساختارهای غیرفعال مانند لیگامان ها وارد می کنند و ثبات مفصلی را تقویت می نمایند (۱۰). به طور خاص، تمریناتی مانند لانج، غلتاندن توپ پلاستیکی با اینورژن پا، و غلت دادن حوله، عضلات درون مفصلی (مانند دورکننده شست پا و خم کننده کوتاه انگشتان) و برون-مفصلی (مانند ساقی خلفی) را فعال می کنند، که نقش کلیدی در حمایت از MLA و کنترل پرونیشن بیش از حد ایفا می کنند (۳۲). این مکانیسم ها می توانند توضیح دهنده بهبود بیشتر در گروه CKC باشند، زیرا با شبیه سازی الگوهای حرکتی عملکردی، هماهنگی عصبی-عضلانی را

علت اثربخشی بیشتر تمرینات زنجیره بسته در این مطالعه می تواند به چند عامل نسبت داده شود. اولاً، تمرینات زنجیره بسته به دلیل تحمل وزن، فعال سازی بهتری از عضلات عمقی و پایدارکننده پا ایجاد می کنند که مستقیماً در حمایت از قوس طولی داخلی نقش دارند. ثانیاً، این تمرینات با ایجاد انقباض همزمان عضلات، ثبات مفصلی را بهبود بخشیده و فشار نامناسب بر روی لیگامان ها و تاندون ها را کاهش می دهند. ثالثاً، تمرینات زنجیره بسته بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی و حس عمقی را تسهیل می کنند که برای کنترل پویای قوس پا در فعالیت های روزمره و ورزشی ضروری است. در نهایت، این تمرینات با شبیه سازی الگوهای حرکتی طبیعی، انتقال مهارت های بهبودیافته به فعالیت های عملکردی را آسان تر می کنند.

مطالعه حاضر با محدودیت هایی مواجه بود که بر دامنه و دقت نتایج تأثیر می گذارند. نخست، نبود گروه کنترل به عنوان محدودیت اصلی این پژوهش برجسته است، زیرا فقدان گروه کنترل می تواند تأثیر عوامل خارجی مانند اثرات یادگیری یا تغییرات طبیعی قوس پا را نادیده بگیرد و توانایی استنباط علی را محدود کند. با این حال، مطالعات مشابهی مانند Gorji و همکاران (۳۲)، و Samakosh و همکاران (۲۰) نشان داده اند که مقایسه دو گروه مداخله ای (مانند تمرینات زنجیره باز و بسته) بدون گروه کنترل نیز می تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد اثربخشی نسبی مداخلات ارائه دهد، به ویژه در شرایطی که محدودیت های لجستیکی مانع از تشکیل گروه کنترل می شوند (۳۲، ۲۰). این محدودیت به دلیل چالش های لجستیکی، از جمله کمبود منابع انسانی و تجهیزات در محیط آموزشی و محدودیت های زمانی برنامه درسی، عدم همراهی مدیران و خانواده دانش آموزان اجتنابناپذیر بود، اما همچنان بر تعمیم پذیری نتایج تأثیر می گذارد. دوم، عدم انجام ارزیابی پیگیری (Follow-up) پایداری تغییرات ایجادشده توسط تمرینات را تأیید نکرد. سوم، عدم ثبت مطالعه در سامانه کارآزمایی بالینی یکی از محدودیت های این پژوهش بود. با وجود تلاش برای ثبت مطالعه، به دلیل مشکلات اداری و تأخیر در تأییدیه اخلاقی، امکان ثبت در سامانه کارآزمایی بالینی فراهم نشد. این موضوع ممکن است بر قابلیت تعمیم پذیری و شفافیت نتایج تأثیر بگذارد. چهارم، کمبود امکانات آزمایشگاهی استاندارد در محیط های آموزشی، مانند نبود اسکرین های سه بعدی یا سیستم های تحلیل حرکت، دقت اندازه گیری پارامترهای

ارتقا می دهند و مکانیسم بادگیر (Windlass) را در مرحله جدا شدن انگشت شست پا حین راه رفتن بهبود می بخشند (۳۳). در مقابل، تمرینات OKC با تمرکز بر حرکات تک-مفصلی و استفاده از تراباند با مقاومت تدریجی (مانند دورسی فلکشن و پلانتر فلکشن)، به تقویت عضلات خاص کمک می کنند، اما به دلیل عدم درگیری کامل زنجیره عضلانی، تأثیر کمتری بر هماهنگی حرکتی دارند (۳۷، ۱۶). مطالعات Kim و Yoo (۱۰)، نشان دادند که هر دو نوع تمرین OKC و CKC کف پای صاف را بهبود می بخشند، اما CKC در دوره های تمرینی کوتاه مدت (چهار هفته) مؤثرتر است، زیرا انقباض مشترک عضلات را برای تثبیت و کنترل حرکات مفاصل تقویت می کند و هماهنگی بین گروه های عضلانی متعدد را افزایش می دهد، که برای افراد مبتلا به کف پای صاف حیاتی است (۱۰).

در خصوص مدت زمان مداخله، مطالعه حاضر با چهار هفته تمرین، بهبود اولیه قابل توجهی در قوس پا نشان داد، که با یافته های Lynn و همکاران (۲۸)، و Kim و Yoo (۱۰)، همخوانی دارد. این مطالعات گزارش کردند که تمرینات پای کوتاه برای چهار تا پنج هفته، ارتفاع نایکولار و عملکرد پا را در بیماران با کف پای صاف منعطف بهبود می بخشد. با این حال، برای دستیابی به تغییرات پایدارتر و اثرات بلند مدت، دوره های طولانی تر مانند هشت هفته توصیه می شود، همچنین، هشت هفته تمرینات سیستماتیک اصلاحی، وضعیت بدن را در افراد با پرونیشن دیستال افزایش می دهد (۲۹). مطالعات با شش هفته مداخله، مانند برنامه های توانبخشی یا ترکیب پای کوتاه با تمرینات اندام تحتانی، بهبود موقعیت پا و عملکرد دینامیک در راه رفتن را گزارش کرده اند (۳۰، ۹). بنابراین، در حالی که چهار هفته برای تغییرات اولیه کافی است، مطالعات آینده می توانند با دوره های هشت هفته ای، پایداری نتایج را بررسی کنند تا اثرات بلند مدت را تأیید کنند. فواید این مطالعه شامل ارائه پروتکل های تمرینی ساده و قابل اجرا برای پیشگیری از عوارض ثانویه مانند درد کمر یا زانو، و بهبود عملکرد ورزشی در نوجوانان است. این یافته ها می توانند در برنامه های ورزشی مدارس گنجانده شوند تا به پر کردن شکاف موجود در تحقیقات قبلی کمک کنند. Goldmann و همکاران (۳۱)، نیز تأثیر تمرینات پلانتر فلکشن را در بهبود راه رفتن و دویدن تأیید کردند، که با تمرکز مطالعه حاضر بر تقویت عضلات پا همخوانی دارد.

منابع مالی

مطالعه حاضر تحت هیچ حمایت مالی قرار نگرفت.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ تعارض منافی در ارتباط با این مقاله وجود ندارد.

منابع

1. Brijwasi T, Borkar P. A comprehensive exercise program improves foot alignment in people with flexible flat foot: a randomised trial. J Physiother 2023; 69(1): 42-46.
2. Patel M, Shah P, Ravaliya S, Patel M. Relationship of anterior knee pain and flat foot: A cross-sectional study. International Journal of Health Sciences and Research 2021; 11(3): 86-92.
3. Shibuya N, Jupiter DC, Ciliberti LJ, VanBuren V, La Fontaine J. Characteristics of adult flatfoot in the United States. The Journal of foot and ankle surgery 2010; 49(4): 363-368.
4. Gheitasi M, Maleki M, Bayattork M. Corrective exercise for intrinsic foot muscles versus the extrinsic muscles to rehabilitate flat foot curving in adolescents: randomized-controlled trial. Sport Sci Health 2022; 18(2): 307-316.
5. Mortazavi SJ, Espandar R, Baghdadi T. Flatfoot in children: How to approach? 2007.
6. Halabchi F, Mazaheri R, Mirshahi M, Abbasian L. Pediatric flexible flatfoot: clinical aspects and algorithmic approach. Iran J Pediatr 2013;23(3):247.
7. Ripdianawati SS, Ramadhani AN. The effect of strengthening exercise on postural balance and functional ability in children with flatfoot. FISIO MU: Physiotherapy Evidences 2024; 5(1): 52-57.
8. Hara S, Kitano M, Kudo S. The effects of short foot exercises to treat flat foot deformity: A systematic review. Journal of back and musculoskeletal rehabilitation 2023; 36(1): 21-33.
9. Utsahachant N, Sakulsriprasert P, Sinsurin K, Jensen MP, Sungkue S. Effects of short foot exercise combined with lower extremity training on dynamic foot function in individuals with flexible flatfoot: A

کینماتیکی و بیومکانیکی مرتبط با ساختار کف پا را محدود کرد و پژوهش را به استفاده از روش SI وابسته ساخت. شاخص استاهلی به دلیل سادگی، پایداری بالا، مناسب بودن برای کودکان و نوجوانان، قابلیت مقایسه با مطالعات دیگر، هزینه کم، و کاربرد در ارزیابی کف پای صاف منعطف انتخاب شد و با توجه به محدودیت‌های محیطی و لجستیکی، تصمیمی منطقی و عملی بود (۳۳-۳۵).

نتایج نشان داد که هر دو تمرینات زنجیره حرکتی باز و بسته بر بهبود کف پای صاف منعطف مؤثر هستند، اما تمرینات زنجیره بسته به دلیل تأثیر بیشتر بر ثبات مفصلی و هماهنگی عضلانی، عملکرد بهتری داشتند. با توجه به محدودیت مطالعه در عدم وجود گروه کنترل، باید در تفسیر نتایج احتیاط کرد و نتیجه گیری را به عنوان شواهد اولیه در نظر گرفت. پیشنهاد می شود مریبان اصلاحی و متخصصان توانبخشی از پروتکل های تمرینی زنجیره بسته، مانند لانج، غلتاندن حوله با انگشتان اکستند شده و غلتاندن توپ پلاستیکی با اینورژن پا، به صورت منظم و در برنامه های تمرینی ۴ هفته ای یا بیشتر استفاده کنند تا بهبود پایداری در قوس کف پا حاصل شود. همچنین، توصیه می شود این تمرینات با نظارت متخصصان و با استفاده از ابزارهای مقاومتی مانند تراباند انجام شود تا اثربخشی آن ها افزایش یابد. برای پایداری نتایج، پیشنهاد می شود برنامه های تمرینی طولانی مدت تر (بیش از ۸ هفته) و جلسات پیگیری منظم طراحی شوند. علاوه بر این، استفاده از فناوری های پیشرفته مانند اسکنرهای سه بعدی برای ارزیابی دقیق تر ساختار پا و تحلیل بیومکانیکی در مطالعات آینده می تواند به بهبود کیفیت داده ها و تعمیم پذیری نتایج کمک کند.

سپاسگزاری

از همه شرکت کنندگان و مدیران مدارس که در این مطالعه مشارکت و همکاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می کنیم. کد اخلاق از پژوهشگاه تربیت بدنی با شناسه IR.SSRI.REC. 2025.17664.2888 اخذ شد.

نقش نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی مطالعه، جمع آوری داده ها، تحلیل نتایج و نوشتن مقاله مشارکت داشته اند و نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کرده اند.

- randomized controlled trial. *Gait Posture* 2023; 104: 109-115.
10. Kim M-K, Yoo K-T. The effects of open and closed kinetic chain exercises on the static and dynamic balance of the ankle joints in young healthy women. *J Phys Ther Sci* 2017; 29(5): 845-850.
11. Balci P, Tunay V, Baltaci G, Atay A. The effects of two different closed kinetic chain exercises on muscle strength and proprioception in patients with patellofemoral pain syndrome. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2009; 43(5): 419-425.
12. Iwasaki T, Shiba N, Matsuse H, Nago T, et al. Improvement in knee extension strength through training by means of combined electrical stimulation and voluntary muscle contraction. *Tohoku J Exp Med* 2006; 209(1): 33-40.
13. Kwon YJ, Park SJ, Jefferson J, Kim K. The effect of open and closed kinetic chain exercises on dynamic balance ability of normal healthy adults. *J Phys Ther Sci* 2013; 25(6): 671-674.
14. Bellew JW, Frilot CF, Busch SC, Lamothe TV, Ozane CJ. Facilitating activation of the peroneus longus: electromyographic analysis of exercises consistent with biomechanical function. *J Strength Cond Res* 2010; 24(2): 442-446.
15. Chen J, Jack R, Appelle J, Bushuk M, Smith C. Surface electromyographic study of peroneus longus activation during ankle eversion and heel lift. *Open J Ther Rehabil*. 2015; 3(3): 101-108.
16. Hyde TE, Gengenbach MS. Conservative management of sports injuries: Jones & Bartlett Learning; 2007.
17. Pamboris GM, Pavlou K, Paraskevopoulos E, Mohagheghi AA. Effect of open vs. closed kinetic chain exercises in ACL rehabilitation on knee joint pain, laxity, extensor muscles strength, and function: a systematic review with meta-analysis. *Front Sports Act Living* 2024; 6: 1416690.
18. Ferreira Reis CB, Lopes Teixeira G, Santos MJ, Araújo Vieira L, Rinaldi NM. Acute effect of open and closed kinetic chain training on lower limb muscle strength in young adults. *Fisioter Bras* 2023; 24(5).
19. Rezaei S, Mousavi Sadati SK, Daneshjoo AS. Comparison of the of Effect of Eight Weeks of Corrective Exercises with Delayed on the Movement Patterns of Women with the Lower Cross Syndrome. *J Paramed Sci Rehabil* 2023; 12(3): 22-36.
20. Samakosh HMN, Maktoubian M, Doost SPR, Oliveira R, et al. Active and sham transcranial direct-current stimulation (tDCS) plus core stability on the knee kinematic and performance of the lower limb of the soccer players with dynamic knee valgus; two-armed randomized clinical trial. *AIMS Neuroscience* 2025; 12(3): 312-331.
21. Fattahi A, Koreili Z, Ameli M. Instantaneous Effect of Insole on the Balance of Adolescents with Flat Foot and Pes Cavus. *J Sport Biomech* 2020; 6(1): 44-53.
22. Heydari M, Mousavi Sadati SK, Daneshjoo A. Short-term Effects of Using Arch Supporting Insoles on Balance and Symptoms of Flexible Flat Foot in Children. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine* 2022;10(6):1244-57.
23. Gutiérrez-Vilalú L, Masso-Ortigosa N, Costa-Tutusa L, Guerra-Balic M. Reliability and validity of the footprint assessment method using Photoshop CS5 Software. *J Am Podiatr Med Assoc* 2015; 105(3): 226-232.
24. Al-Kharaz AAI. 3D photogrammetric images to evaluate foot morphology and ankle kinematics during gait of Middle Eastern adults: University of Southern Queensland; 2021.
25. Mohammadi Nia Samakosh H, Oliveira R, Shahabi S, Sarvarifar B, Moddares Gorji S, Amirkhanloo A, et al. Effects of high-intensity training and electrical stimulation on pain, disability, knee kinematic and performance in patellofemoral pain: a randomized controlled trial. 2024.
26. Keselman HJ, Huberty CJ, Lix LM, Olejnik S, et al. Statistical practices of educational researchers: An analysis of their ANOVA, MANOVA, and ANCOVA analyses. *Rev Educ Res* 1998; 68(3): 350-386.
27. Sukprasert O, Boonyarom O, Somthavil S. Flexible flatfoot: effects of foot muscle exercises on dynamic

- balance, plantar pressure, and muscle strength. *J Health Res* 2024; 38(1): 11-19.
28. Lynn SK, Padilla RA, Tsang KK. Differences in static-and dynamic-balance task performance after 4 weeks of intrinsic-foot-muscle training: the short-foot exercise versus the towel-curl exercise. *J Sport Rehabil* 2012; 21(4): 327-333.
29. Rahmani M, Seyedahmadi M, Khalaghi K. The effect of 8-week corrective games on knee, ankle, and foot alignment in boys aged 9–11 years with pronation syndrome. *Sport Sci Health* 2024: 1-7.
30. Sadaqa M, Németh Z, Makai A, Prémusz V, Hock M. Effectiveness of exercise interventions on fall prevention in ambulatory community-dwelling older adults: a systematic review with narrative synthesis. *Front Public Health* 2023; 11: 1209319.
31. Goldmann J-P, Sanno M, Willwacher S, Heinrich K, Brüggemann G-P. The potential of toe flexor muscles to enhance performance. *J Sports Sci* 2013; 31(4): 424-433.
32. Gorji SM, Mohammadi Nia Samakosh H, Watt P, Henrique Marchetti P, Oliveira R. Pain neuroscience education and motor control exercises versus core stability exercises on pain, disability, and balance in women with chronic low back pain. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(5): 2694.
33. Tong JW, Kong PW. Medial longitudinal arch development of children aged 7 to 9 years: longitudinal investigation. *Phys Ther* 2016; 96(8): 1216-1224.
34. Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. The feet of overweight and obese young children: are they flat or fat? *Obesity* 2006; 14(11): 1949-1953.
35. Banwell HA, Paris ME, Mackintosh S, Williams CM. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J Foot Ankle Res* 2018; 11: 1-13.