DOI: 10.48305/jrrs.2026.46267.1140 Published by Vesnu Publications

مقایسه الگوی توزیع فشار کف پایی حین راه رفتن در دانش‌آموزان دختر ۱۲ تا ۱۴ ساله دارای کف پای صاف و نرمال: یک مطالعه مقطعی– مقایسه‌ای

حامد فدایی[۱]، رغد معمار[۲]، سید صدرالدین شجاع‌الدین[۳]، سینا نجف‌پور[۴]، حسین شریفی[۵]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: کف پای صاف منعطف، یکی از شایع‌ترین ناهنجاری‌های اسکلتی- عضلانی در دوران نوجوانی است که می‌تواند با تغییر الگوی توزیع فشار کف پا، عملکرد بیومکانیکی اندام تحتانی را تحت تأثیر قرار دهد و منجر به افزایش بروز آسیب‌های اسکلتی- عضلانی شود. پژوهش حاضر با هدف مقایسه توزیع فشار کف پا هنگام راه رفتن در دختران نوجوان دارای کف پای صاف منعطف و همتایان دارای قوس طبیعی کف پا انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مقطعی، ۳۲ دانش‌آموز دختر ۱۲ تا ۱۴ ساله بر اساس شاخص قوس کف پا به دو گروه کف پای صاف منعطف (۱۶ نفر) و قوس طبیعی (۱۶ نفر) تقسیم شدند. فشار بیشینه و سطح تماس کف پا در ۱۰ ناحیه آناتومیکی با استفاده از سامانه فشارسنج emed® C50 اندازه‌گیری گردید. داده‌ها با استفاده از مدل‌های خطی آمیخته (Linear mixed-effects models یا LMM) تحلیل شد و به منظور کنترل خطای ناشی از مقایسه‌های چند گانه، تصحیح Bonferroni به کار رفت.

یافته‌ها: گروه کف پای صاف در ناحیه میانی داخلی کف پا (M3) سطح تماس به طور معنی‌داری بیشتری نسبت به گروه دارای قوس طبیعی داشتند ($P < ۰/۰۰۱$، اندازه اثر Cohen = ۱/۹۷۷، $P > ۰/۰۰۵$ تعدیل شده). اگرچه فشار بیشینه در ناحیه سوم تا پنجم متاتارس (M7) در گروه کف پای صاف کمتر از گروه نرمال بود، اما این اختلاف پس از اعمال تصحیح برای مقایسه‌های چند گانه معنی‌دار باقی نماند ($P = ۰/۰۰۹$، $P = ۰/۰۹۹$ تعدیل شده) . در سایر نواحی کف پا تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: افزایش سطح تماس در ناحیه میانی داخلی کف پا می‌تواند به عنوان یک نشانگر بیومکانیکی جهت شناسایی زودهنگام نوجوانان مبتلا به کف پای صاف مورد استفاده قرار گیرد. این یافته‌ها می‌تواند در ارزیابی بالینی، طراحی مداخلات اصلاحی، ساخت کفی‌های طبی و تدوین برنامه‌های توانبخشی مبتنی بر شواهد برای این گروه از افراد کاربرد داشته باشد.

کلید واژه‌ها: الگوی توزیع فشار؛ کف پای صاف؛ دانش‌آموزان دختر؛ راه رفتن

ارجاع: فدایی حامد، معمار رغد، شجاع‌الدین سید صدرالدین، نجف‌پور سینا، شریفی حسین. **مقایسه الگوی توزیع فشار کف پایی حین راه رفتن در دانش‌آموزان دختر ۱۲ تا ۱٤ ساله دارای کف پای صاف و نرمال: یک مطالعه مقطعی- مقایسه‌ای.** پژوهش در علوم توانبخشی ۱۴۰۳؛ ۲۰.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱/۱۵

مقدمه

راه رفتن یکی از پیچیده‌ترین فعالیت‌های حرکتی انسان است که شامل هماهنگی متناوب بخش‌های مختلف سیستم اسکلتی- عضلانی می‌شود (۱). از آن‌جایی که بیشترین فشار در حین راه رفتن به قسمت کف پایی وارد می‌شود، کف پا نقش بسیار مهمی در تحمل وزن و جذب ضربه در طی آن ایفا می‌کند (۲). در واقع، کف پا تنها عضوی است که در حین راه رفتن با زمین در تماس

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۳- استاد، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۴- کارشناس ارشد، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۵- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
نویسنده مسؤول: رغد معمار؛ دانشیار، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
Email: m_raghad@yahoo.com

است و قوس‌های آن نقش بسیار مهمی در جذب شوک، حمایت عملکردی و تحمل بخش وسیعی از وزن بدن در حین راه رفتن دارد (۳). با این توصیف، درک دقیق نقش بیومکانیکی کف پا و قوس‌های آن برای تحلیل راه رفتن طبیعی و آسیب‌شناسی حرکتی ضروری به نظر می‌رسد (۴).

قوس‌های کف پا (Plantar arch) شامل قوس‌های طولی- داخلی (Longitudinal-internal arch)، طولی- خارجی و عرضی می‌باشند. این قوس‌ها یک سازه معماری هستند که قابلیت ارتجاع و تغییر انحنای موجود در آن، امکان تطابق پا با ناهمواری‌های سطح زمین را فراهم می‌نماید و نیروهای حاصل شده از وزن بدن را به زمین منتقل می‌کند (۴). در پژوهش حاضر، ساختار قوس طولی- داخلی مورد بررسی قرار گرفت. این قوس ضربات وارد آمده به پا را جذب می‌کند و برای انعطاف‌پذیری در راه رفتن الزامی است (۵). هرگونه تغییر پاتولوژیک در قوس پا به شدت بر روی نحوه ایستادن، دویدن، راه رفتن و وضعیت طبیعی مطلوب بدن تأثیر سوء می‌گذارد. تغییرات غیر نرمال قوس طولی پا و پرونیشن بیش از حد می‌تواند علاوه بر تغییر فشار کف پا، الگوی حرکت زانو و لگن را تحت تأثیر قرار دهد که این امر در درازمدت منجر به افزایش بارگذاری مفاصل و خطر آسیب بافت نرم می‌شود (۷، ۶).

طبق مطالعات انجام شده، عوامل مختلفی مانند جنسیت می‌تواند بر ساختار کف پا و توزیع فشار تأثیر بگذارد (۸). به عنوان نمونه، تحقیقات نشان داده‌اند که دختران نسبت به پسران، فشار بیشتر و زمان تماس سریع‌تری را با فشار در قسمت شست پا تجربه می‌کنند. این تفاوت‌ها ممکن است به دلیل تفاوت‌های بیولوژیکی و فیزیولوژیکی بین جنسیت‌ها باشد (۹، ۸). از عوامل دیگری که می‌تواند بر ساختار کف پا و توزیع فشار تأثیرگذار باشد، عدم تعادل نیروها، ضعف عضلانی، لیگامانی و ساختار استخوانی حمایت‌کننده قوس‌های کف پا می‌باشد (۱۰) که می‌تواند باعث کاهش یا افزایش قوس‌ها و منجر به ناهنجاری‌های کف پای صاف (Pes planus) یا گود (Pes cavus) شود (۱۱). صافی کف پا اغلب به دلیل عواملی مانند شلی لیگامنت‌ها، اضافه وزن، عدم تحرک بدنی، مشاغل سرپایی، وراثت، ضعف و کوتاهی عضلات ناحیه ساق و کف پا و پوشیدن کفش‌های نامناسب رخ می‌دهد (۱۲).

بر اساس پژوهش‌های انجام شده بر روی افراد مبتلا به کف پای صاف، مشخص شده است که این حالت می‌تواند تغییراتی در عملکرد پا و توزیع نیرو نسبت به افراد با پای نرمال ایجاد کند. این مطالعات به ناحیه کف پا در اختلالات موجود در دانش‌آموزان توجه ویژه‌ای داشته‌اند (۱۳). کف پای صاف یکی از شایع‌ترین ناهنجاری‌ها در این گروه سنی محسوب می‌شود؛ به طوری که بیش از نیمی از آن‌ها را شامل می‌گردد. این ناهنجاری می‌تواند با تحمیل الگوهای جبرانی منفی، تغییرات نامطلوبی در ساختار کف پا ایجاد نماید و در نهایت، با افزایش هزینه فعالیت، کارایی حرکتی را کاهش دهد (۷).

شواهد نشان می‌دهد که افراد دارای کف پای صاف، الگوی فعالیت عضلانی متفاوتی نسبت به افراد با کف پای نرمال دارند. این تغییرات شامل انحراف در بخش‌های اسکلتی نیز می‌شود که به افزایش مصرف انرژی و فشارهای مکانیکی منجر می‌گردد (۱۴). در بلندمدت، این تغییرات می‌تواند مکانیزم‌های جبرانی منفی ایجاد نماید و مشکلات ساختاری در بدن به وجود آورد (۱۵). علاوه بر این، دردهای عضلانی- اسکلتی یکی از عوامل اصلی در شکل‌گیری این مکانیزم‌های جبرانی به شمار می‌رود. در برخی بررسی‌ها، حدود ۲۳ درصد افراد با کف پای صاف از چنین دردهایی شکایت داشته‌اند (۱۶). همچنین، نتایج تحقیق دیگری نشان داد که افراد مبتلا به کف پای صاف در تعادل پویا عملکرد ضعیف‌تری نسبت به افراد با کف پای طبیعی دارند (۱۷). با این حال، یافته‌های پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که رابطه بین ارتفاع قوس کف پا و خطر آسیب اندام تحتانی در نوجوانان دختر ممکن است تحت تأثیر شاخص توده بدنی (Body mass index یا BMI) قرار گیرد (۱۸).

امروزه با استفاده از تکنولوژی و حسگرهای پیشرفته، امکان اندازه‌گیری غیر تهاجمی فشار کف پایی در وضعیت‌های مختلف راه رفتن وجود دارد (۱۹). این پیشرفت‌ها به ما اجازه می‌دهد تا الگوی توزیع فشار کف پایی در افراد بزرگسال و گروه‌های سنی مختلف بررسی گردد. با توجه به شیوع بالای ناهنجاری کف پای صاف در جوانان و نوجوانان و اثرات منفی آن بر تعادل و ایجاد درد به دنبال انجام فعالیت‌های روزمره و ایستادن طولانی، و همچنین، تغییر در الگوی فشار کف پا، نیاز به انجام مطالعات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود (۷، ۵).

با وجود اهمیت موضوع، تاکنون تحقیقی که الگوی توزیع فشار کف پایی را به طور اختصاصی در دختران ۱۲ تا ۱۴ ساله دارای کف پای صاف در مقایسه با همتایان نرمال بررسی کرده باشد، در جمعیت ایرانی انجام نشده است. این گروه سنی در دوره حساس رشد و تکامل قرار دارد و در فعالیت‌های روزمره خود به ویژه راه رفتن، استفاده بالایی از کف پا دارند. از این‌رو، نوآوری پژوهش حاضر در دو جنبه خلاصه می‌شود: نخست، تمرکز بر گروه سنی خاص دختران ۱۲ تا ۱۴ ساله ایرانی که پیش از این کمتر مورد توجه قرار گرفته است و دوم، استفاده از تحلیل‌های آماری پیشرفته [مدل خطی آمیخته (LMM یا Linear mixed-effects models) با اصلاح Holm-Bonferroni و محاسبه اندازه اثر با Hedges' g] به منظور کنترل هم‌زمان متغیرهای مداخله‌گر مانند سرعت راه رفتن و سطح فعالیت بدنی.

بر این اساس، فرضیه‌های مطالعه حاضر عبارت بود از: ۱- دانش‌آموزان دختر دارای کف پای صاف در مقایسه با گروه نرمال، سطح تماس بیشتری در ناحیه میانی کف پا (M3) نشان می‌دهند. ۲- اوج فشار در نواحی جلوی پایی به ویژه متاتارسال ۳، ۴ و ۵ (M7) در گروه کف پای صاف به طور معنی‌داری متفاوت است. هدف از انجام تحقیق حاضر، مقایسه الگوی توزیع فشار کف پایی (شامل اوج فشار و سطح تماس در ۱۰ ناحیه تشریحی) حین راه رفتن در دانش‌آموزان دختر ۱۲ تا ۱۴ ساله دارای کف پای صاف در مقایسه با گروه نرمال بود. یافته‌های پژوهش می‌تواند در تشخیص بهتر مشکلات مرتبط با کف پا، طراحی کفی‌های اصلاحی و ارایه راهکارهای توان‌بخشی برای این گروه سنی مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع مقطعی- مقایسه‌ای (Cross-sectional comparative) بود که در مهر ماه سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه آنالیز حرکت دانشگاه خوارزمی انجام شد. جامعه آماری تحقیق را دانش‌آموزان دختر مقطع راهنمایی ۱۲ تا ۱۴ ساله شهر قدس تهران تشکیل دادند. ارزیابی اولیه جهت مشخص کردن ساختار کف پای دانش‌آموز با استفاده از شاخص سنجش افت ناوی (Navicular Drop Test یا NDT) با پایایی ۰/۹۲ و همچنین، پلتفرم emed c50 (شرکت Novel GmbH، آلمان) بررسی شد. پژوهش‌های پیشین اعتبار، قابلیت اطمینان و دقت اندازه‌گیری‌های این پلتفرم را نشان داده‌اند (۲۰، ۱۹). حجم نمونه از جامعه مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار G*power

http://jrrs.mui.ac.ir

G-Power 3.1.5 freeware, University of Düsseldorf, Düsseldorf,) German) برای آزمون Independent t با در نظر گرفتن توان ۰/۸، سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و اندازه اثر ۰/۹، ۳۲ نفر (۱۶ نفر کف پای صاف و ۱۶ نفر کف پای نرمال) برآورد گردید (۲۱). تحلیل توان پس‌آزمونی (Post-hoc power analysis) نشان داد که توان ۰/۸۲ برای تفاوت M03 وجود دارد. نمونه‌گیری در مطالعه حاضر به صورت در دسترس و هدفمند انجام گرفت.

معیارهای ورود دانش‌آموزان به تحقیق شامل سن ۱۲ تا ۱۴ سال، جنسیت دختر، سلامت عمومی، تفاوت طول پا کمتر از ۱ سانتی‌متر، نداشتن اختلال اسکلتی- عضلانی یا سابقه آسیب و جراحی در اندام تحتانی و عدم استفاده از کفی طبی بود. نوع کف پای صاف به کمک آزمون Jack جهت تأیید انعطاف‌پذیری بررسی گردید و تنها افراد با کف پای صاف انعطاف‌پذیر (Flexible flatfoot) وارد پژوهش شدند؛ چرا که این نوع در نوجوانان شایع است (۲۲). به منظور اطمینان از طبقه‌بندی، شاخص وضعیت پا (FPI یا Foot posture index) و NDT نیز اندازه‌گیری گردید و میانگین FPI در گروه کف پای صاف بیشتر از ۶ بود (۲۳). بلوغ با استفاده از مقیاس Tanner (میانگین مرحله ۳-۲) کنترل شد تا تغییرپذیری کاهش یابد (۲۴). علاوه بر این، فعالیت بدنی با استفاده از پرسش‌نامه International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) و عادت پوشیدن کفش (کفش استاندارد مدرسه‌ای) ثبت شد (۲۵). این اطلاعات از طریق مصاحبه با بهیار مدرسه و بررسی پرونده پزشکی دانش‌آموزان جمع‌آوری گردید. افراد مبتلا به صافی کف پای سفت (Rigid flatfoot) در غربالگری اولیه به ندرت مشاهده شدند، اما برای جلوگیری از هرگونه تأثیر منفی احتمالی، از مطالعه آن‌ها صرف‌نظر شد. هیچ یک از آزمودنی‌ها دارای اختلاف طول پا، اختلال اسکلتی- عضلانی، سابقه آسیب یا جراحی اندام تحتانی، شکستگی در استخوان‌های ساق پا، مچ پا و پا، مشکلات ارتوپدی جدی یا سابقه استفاده از کفی طبی نبودند. پژوهش حاضر مطابق با اصول اعلامیه Helsinki انجام شد و توسط کمیته اخلاق پژوهشی پژوهشگاه تربیت بدنی وعلوم ورزشی تأیید گردید (کد اخلاق: IR.SSRC.REC.1402.316).

ابتدا، روند اجرای آزمون و جزییات طرح مطالعه به شرکت‌کنندگان و والدین به طور کامل توضیح داده شد و از آن‌ها درخواست گردید که قبل از اجرای آزمون، فرم رضایت‌نامه و اطلاعات فردی خود را تکمیل و امضا نمایند. همچنین، به آن‌ها تضمین داده شد که اطلاعات آن‌ها به صورت محرمانه باقی خواهد ماند و هر زمانی که بخواهند، می‌توانند از روند پژوهش خارج شوند. سپس کالیبراسیون سیستم emed مطابق با راهنمای سازنده انجام شد و فشار اوج نسبت به وزن بدن نرمال‌سازی گردید (kPa/kg)؛ چرا که حتی در افراد غیر چاق، اختلاف وزن تأثیرگذار است. پس از آن، قد و وزن آزمودنی توسط آزمونگر با استفاده از ترازو و قدسنج دیجیتال اندازه‌گیری و در فرم اطلاعات فردی ثبت شد.

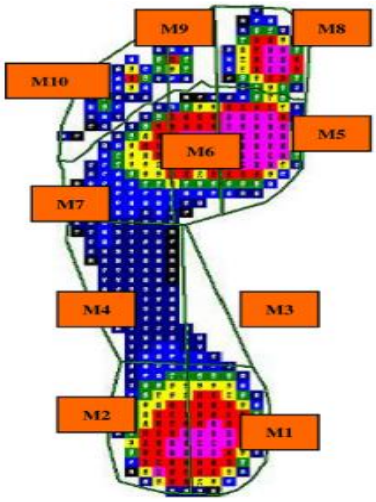
نحوه اندازه‌گیری با استفاده از پلت‌فرم emed C50 بدین شکل بود که سکو در مرکز یک مسیر ۱۰ متری قرار گرفت و سطح مسیر برای به حداقل رساندن هرگونه تغییر پله تنظیم شد. به شرکت‌کنندگان یک دوره سازگاری ۵ دقیقه‌ای داده شد. برای انجام تست اصلی، شرکت‌کنندگان دو قدم عقب‌تر رو به سکو ایستادند. سپس از آن‌ها درخواست شد تا با پای برهنه با سرعت دلخواه راه بروند. در حالی که اطلاعات آن‌ها ثبت شده بود، از مترونوم برای حفظ سرعت ثابت در طول آزمایش استفاده گردید (۲۶). سرعت راه رفتن بر حسب متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد (میانگین: ۰/۱۵ ± ۱/۰۵ متر بر ثانیه، بدون تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها: P = ۰/۶۸). گیت‌های زمان‌بندی به عنوان کوواریت جهت کنترل و تنظیم آماری استفاده گردید. BMI به عنوان کوواریت وارد مدل نشد؛ چرا که بین دو گروه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و شواهدی مبنی بر نقش آن به عنوان یک عامل مخدوش‌کننده در این نمونه وجود نداشت. بنابراین، به منظور حفظ سادگی و پارسیمونی مدل، از ورود آن به تحلیل خودداری شد.

موقعیت شروع آزمودنی‌ها به گونه‌ای تعیین شد که گام اول با پای غیر غالب و به دنبال آن، گام دوم با پای غالب برداشته شد و روی دستگاه قرار گرفت و سپس سوژه دو قدم دیگر را ادامه داد (۲۷). برای تحلیل اصلی، پای غالب برای هر شرکت‌کننده انتخاب و با استفاده از آزمون پای ترجیحی برای ضربه زدن به توپ تعیین گردید (۲۸). تکرارهای موفقیت‌آمیز زمانی ثبت شد که یک شرکت‌کننده پای خود را به طور طبیعی روی مرکز سکو قرار داد؛ بدون این که الگوی راه رفتن خود را تغییر دهد. یک دوره استراحت ۳۰ ثانیه‌ای بین هر تکرار مجاز بود و میانگین پنج تکرار موفق برای هر اندام تحتانی ثبت گردید (۲۹). به منظور بررسی قابلیت اطمینان، ضریب همبستگی درون طبقه‌ای (Intraclass correlation coefficient یا ICC) برای نواحی کلیدی محاسبه شد که مقادیر آن بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ بود و نشان دهنده تکرارپذیری بالا بود. هیچ داده پرت با روش ۳ انحراف استاندارد حذف نشد، اما داده‌ها از نظر نرمال بودن و همواری واریانس بررسی شدند. همه نواحی دارای توزیع نرمال بودند، به جزء M08 که با آزمون غیر پارامتریک Mann-Whitney نتایج مشابهی را نشان داد. از آن‌جا که تحلیل اصلی بر پای غالب متمرکز بود، اندازه‌گیری‌های دو طرفه به عنوان عامل درون موضوعی تکرار شونده در مدل لحاظ نشد.

پس از اجرای تست، دانش‌آموزان با استفاده از متغیر شاخص قوس (Arch index) به دو گروه کف پای صاف و نرمال دسته‌بندی شدند. نحوه دسته‌بندی از طریق هوش مصنوعی بدین صورت بود که محور پا تعیین می‌شود (خطی از مرکز پاشنه به مرکز پایین‌ترین برجستگی انگشت دوم) و خط دیگری بین مرکز پاشنه و بیشترین بخش قدامی در جلوی سر استخوان کف پا رسم می‌شود که این خط بیانگر طول پا بدون انگشتان است. ترتیب نقش پا به سه قسمت جلوی پا (A)، وسط پا (B) و پشت پا (C) تقسیم می‌شود. شاخص قوس (AI) از نسبت B به کل پا غیر از انگشتان (A+B+C) محاسبه می‌شود. با توجه به مطالعات، شاخص قوس بین ۰/۲۱ تا ۰/۲۸ نشان دهنده کف پای نرمال و شاخص قوس بیشتر از ۰/۲۸ نشان دهنده کف پای صاف دسته‌بندی می‌باشد (آستانه‌ها بر اساس هنجارهای اطفال تنظیم شد و تحلیل حساسیت نشان داد نتایج پایدار است). در مورد محاسبه شاخص قوس از روش Rodgers و Cavanagh استفاده گردید (۳۰). با توجه به این که شاخص قوس کف پا یک نسبت بدون بعد است و نه یک اندازه‌گیری خطی بر حسب سانتی‌متر، محاسبات شاخص قوس با استفاده از ماژول Geometry در نرم‌افزار Novel انجام شد و فقط شرکت‌کنندگان با کف پای صاف منعطف متوسط در گروه کف پای صاف وارد شدند.

برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های توزیع فشار در مطالعه، از نرم‌افزار Multi-Mask (Novel GmbH, Munich, Germany) استفاده شد. ابتدا داده‌های پنج گام غالب توسط این نرم‌افزار میانگین‌گیری شدند. سپس ناحیه کف پا با استفاده از روش ماسک PRC در نرم‌افزار emed Auto mask، به ۱۰ ناحیه تشریحی تقسیم شد (شکل ۱). این ۱۰ ناحیه شامل قسمت لبه داخلی پاشنه، لبه خارجی پاشنه، قسمت داخلی- میانه پا، قسمت خارجی- میانه پا، متاتارسال ۱، متاتارسال ۲، متاتارسال ۳، متاتارسال ۴ و ۵، انگشت بزرگ، انگشت

دوم، انگشتان ۳، ۴ و ۵ بود (۳۱). برای هر یک از ۱۰ ناحیه، میانگین اوج فشار (کیلوپاسکال) و سطح تماس (سانتی‌متر مربع) محاسبه شد.



شکل ۱. قسمت‌های مختلف کف پا بر اساس روش ماسک PRC

M1: لبه داخلی پاشنه، M2: لبه خارجی پاشنه،
M3: داخل- میانه پا، M4: خارج- میانه پا، M5: متاتارسال ۱،
M6: متاتارسال ۲، M7: متاتارسال ۳، ۴ و ۵، M8: انگشت بزرگ،
M9: انگشت دوم، M10: انگشتان ۳، ۴ و ۵

برای توصیف داده‌ها از شاخص‌های میانگین و انحراف معیار استفاده شد. طبیعی بودن توزیع متغیرها با آزمون Shapiro-Wilk بررسی گردید. تمامی نواحی دارای توزیع نرمال بودند، به جزء M8 که با آزمون غیر پارامتریک Mann-Whitney نتایج مشابهی را نشان داد. مقایسه‌های بین‌گروهی با استفاده از LMM انجام شد؛ به طوری که ناحیه کف پا به عنوان عامل درون موضوعی، گروه به عنوان عامل بین‌موضوعی و سرعت راه رفتن، سطح فعالیت بدنی و نوع کفش به عنوان کوواریت در مدل وارد شدند. به منظور کنترل خطای نوع اول ناشی از انجام مقایسه‌های متعدد (۲۰ مقایسه شامل ۱۰ ناحیه × ۲ شاخص)، اصلاح Holm-Bonferroni به صورت مشترک و بر اساس رتبه‌بندی مقادیر P اعمال گردید. همچنین، اندازه اثر برای تفاوت‌های کلیدی با استفاده از Hedges' g (Cohen's d و) به منظور کاهش بایاس ناشی از حجم نمونه کوچک محاسبه گردید. فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای تفاوت میانگین‌ها گزارش شد. تمامی داده‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ (version 26, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان در جدول ۱ ارایه شده است. بین گروه‌های کف پای صاف و نرمال از نظر سن، قد، وزن و BMI تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در مقابل، شاخص قوس کف پا بین دو گروه تفاوت معنی‌داری را نشان داد (P = ۰/۰۱۵) که بیانگر تمایز مناسب گروه‌ها بر اساس وضعیت قوس کف پا است. همچنین، میانگین شاخص وضعیت پا در گروه کف پای صاف به طور معنی‌داری بیشتر از گروه نرمال بود (۱/۱ ± ۷/۲ در برابر ۰/۹ ± ۳/۴) (P < ۰/۰۰۱). به همین ترتیب، افت ناویکولار نیز در گروه کف پای صاف به طور معنی‌داری بیشتر از گروه نرمال بود (۲/۳ ± ۹/۵ در برابر ۱/۲ ± ۴/۸ میلی‌متر) (P < ۰/۰۰۱).

متغیرهای اوج فشار (بر حسب کیلوپاسکال) و سطح تماس (سانتی‌متر مربع) در ده ناحیه کف پا (M1 تا M10) در دو گروه با کف پای طبیعی و صاف مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر میانگین هر متغیر به همراه نتایج حاصل از LMM برای مقایسه بین‌گروهی در جدول ۲ ارایه شده است.

یافته‌ها نشان داد که برای متغیر فشار بیشینه، اگرچه در ناحیه M7 تفاوت قابل توجهی بین دو گروه مشاهده شد (P = ۰/۰۰۹، Cohen's d = ۰/۹۸۸)، این تفاوت پس از اعمال تصحیح Holm-Bonferroni برای مقایسه‌های چند گانه از نظر آماری معنی‌دار باقی نماند (P تعدیل شده = ۰/۰۹۹). به طور مشخص، گروه کف پای صاف در ناحیه M7 (متاتارس‌های سوم تا پنجم) فشار بیشینه کمتری را نسبت به گروه نرمال نشان داد (اختلاف میانگین: ۳۵/۵ کیلوپاسکال). در سایر نواحی کف پا نیز تفاوت معنی‌داری در فشار بیشینه بین دو گروه مشاهده نشد (P > ۰/۰۵۰).

در متغیر سطح تماس، تنها در ناحیه M3 تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های با کف پای طبیعی و صاف مشاهده گردید (P< ۰/۰۰۱، Cohen's d = ۱/۹۷۷) و این تفاوت حتی پس از تعدیل سطح معنی‌داری برای مقایسه‌های متعدد نیز همچنان معنی‌دار باقی ماند (P < ۰/۰۵۰ تعدیل شده). فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای تفاوت میانگین‌ها در این ناحیه (۰/۴ تا ۲/۱۰) نیز عدم عبور از صفر را تأیید می‌کند. در سایر نواحی سطح تماس، تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد. اندازه اثر محاسبه شده برای ناحیه M3 در متغیر سطح تماس در محدوده بزرگ قرار داشت که نشان دهنده تأثیر بالای نوع کف پا بر این متغیر است.

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های دموگرافیک شرکت‌کنندگان

متغیر	گروه سالم	گروه کف پای صاف	مقدار P
سن (سال)	۱۳/۲ ± ۰/۸	۱۲/۹ ± ۰/۷	۰/۴۳۰
قد (متر)	۱/۶ ± ۰/۳	۱/۵ ± ۰/۱	۰/۱۸۰
وزن (کیلوگرم)	۴۷/۹ ± ۲/۳	۴۶/۶ ± ۳/۷	۰/۶۲۴
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۱۹/۹ ± ۲/۲	۲۰/۱ ± ۱/۶	۰/۸۴۱
شاخص قوس (سانتی‌متر)	۰/۲ ± ۰/۱	۰/۳ ± ۰/۲	*۰/۰۱۵
شاخص وضعیت پا	۳/۴ ± ۰/۹	۷/۲ ± ۱/۱	*< ۰/۰۰۱
افت ناوی (میلی‌متر)	۴/۸ ± ۱/۲	۹/۵ ± ۲/۳	*< ۰/۰۰۱

*وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

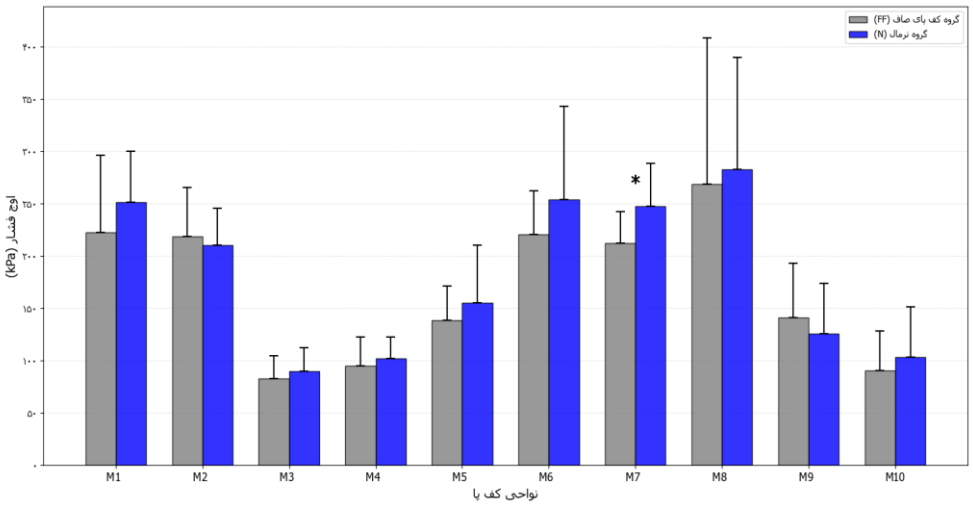
http://jrrs.mui.ac.ir

جدول ۲. مقادیر توصیفی و نتایج حاصل از Linear mixed-effects models برای مقایسه بین‌گروهی متغیرهای اوج فشار و سطح تماس در دو گروه افراد با کف پای طبیعی و صاف

ناحیه	گروه	اوج فشار (کیلوپاسکال)	اختلاف میانگین	t	مقدار P	Cohen's d	مقدار P تعدیل شده	Cohen's d (Hedges'g)	فاصله اطمینان ۹۵ درصد
					متغیر اوج فشار				
M1	پای صاف	۲۲۲/۱ ± ۷۴	۲۹/۱	۱/۳۱	۰/۲۰۰	۰/۴۶۴	> ۰/۹۹۹	۰/۴۶۴، ۰/۴۵۰	۷۳/۴، ۱۵/۲−
	نرمال	۲۵۱/۲ ± ۴۹							
M2	پای صاف	۲۱۸/۶ ± ۴۷	۸/۱−	۰/۶۳−	۰/۵۳۴	۰/۲۲۳−	> ۰/۹۹۹	۰/۲۲۳− ،۰/۲۲۰−	۱۸/۶، ۳۴/۸−
	نرمال	۲۱۰/۵ ± ۳۵							
M3	پای صاف	۸۲/۷ ± ۲۲	۶/۷	۰/۸۸	۰/۳۸۶	۰/۳۱۱	> ۰/۹۹۹	۰/۳۱۱ ،۰/۳۰۰	۲۱/۹، ۸/۵−
	نرمال	۸۹/۴ ± ۲۳							
M4	پای صاف	۹۵/۱ ± ۲۷	۶/۵	۰/۷۶	۰/۴۵۳	۰/۲۶۹	> ۰/۹۹۹	۰/۲۶۹ ،۰/۲۶۰	۲۳/۹، ۱۰/۹−
	نرمال	۱۰۱/۶ ± ۲۱							
M5	پای صاف	۱۳۸/۳ ± ۳۳	۱۶/۸	۱/۰۵	۰/۳۰۳	۰/۳۷۰	> ۰/۹۹۹	۰/۳۷۰ ،۰/۳۶۰	۵۰/۰، ۱۶/۴−
	نرمال	۱۵۵/۱ ± ۵۵							
M6	پای صاف	۲۲۰/۴ ± ۴۲	۳۳/۴	۱/۳۶	۰/۱۸۵	۰/۴۸۰	> ۰/۹۹۹	۰/۴۸۰ ،۰/۴۷۰	۷۵/۳، ۸/۵−
	نرمال	۲۵۳/۸ ± ۸۹							
M7	پای صاف	۲۱۲/۲ ± ۳۰	۳۵/۵	۲/۸۰	*۰/۰۰۹	۰/۹۸۸	۰/۰۹۹	۰/۹۸۸ ،۰/۹۶۰	۶۱/۸، ۹/۲
	نرمال	۲۴۷/۷ ± ۴۱							
M8	پای صاف	۲۶۸/۵ ± ۱۴۰	۱۴/۲	۰/۳۱	۰/۷۵۹	۰/۱۱۰	> ۰/۹۹۹	۰/۱۱۰ ،۰/۱۱۰	۷۶/۷، ۴۸/۳−
	نرمال	۲۸۲/۷ ± ۱۰۷							
M9	پای صاف	۱۴۱/۱ ± ۵۲	۱۵/۶−	۰/۹۰−	۰/۳۷۶	۰/۳۱۸−	> ۰/۹۹۹	۰/۳۱۸− ،۰/۳۱۰−	۱۸/۹، ۵۰/۲−
	نرمال	۱۲۵/۵ ± ۴۸							
M10	پای صاف	۹۰/۱ ± ۳۸	۱۳/۲	۰/۸۹	۰/۳۸۲	۰/۳۱۵	> ۰/۹۹۹	۰/۳۱۵ ،۰/۳۱۰	۴۲/۸، ۱۶/۴−
	نرمال	۱۰۳/۳ ± ۴۸							
					متغیر سطح تماس				
M1	پای صاف	۱۵/۶ ± ۰/۸	۰	۰	> ۰/۹۹۹	۰	> ۰/۹۹۹	۰/۰۰۰ ،۰/۰۰۰	۰/۶، ۰/۶−
	نرمال	۱۵/۶ ± ۱/۰							
M2	پای صاف	۱۵/۹ ± ۰/۶۵	۰/۵	۰/۴۹	۰/۶۲۹	۰/۱۷۳	> ۰/۹۹۹	۰/۱۷۳ ،۰/۱۷۰	۲/۵، ۱/۵−
	نرمال	۱۶/۴ ± ۳/۸							
M3	پای صاف	۸/۴ ± ۴/۸	۷/۱	۵/۶۵	*< ۰/۰۰۱	۱/۹۷۷	*< ۰/۰۰۵	۱/۹۵۰ ،۱/۹۹۷	۱۰/۲، ۴/۰
	نرمال	۱/۵ ± ۱/۳							
M4	پای صاف	۲۲/۱ ± ۲/۲	۱/۶	۱/۸۴	۰/۰۷۶	۰/۶۵۱	۰/۹۱۲	۰/۶۳۰ ،۰/۶۵۱	۳/۱، ۰/۱
	نرمال	۲۳/۷ ± ۲/۳							
M5	پای صاف	۱۲/۳ ± ۱/۷	۰/۶	۰/۸۲	۰/۴۱۹	۰/۲۹۰	> ۰/۹۹۹	۰/۲۸۰ ،۰/۲۹۰	۲/۱، ۰/۹−
	نرمال	۱۲/۹ ± ۲/۲							
M6	پای صاف	۱۰/۲ ± ۱/۰۴	۰/۹	۱/۵۲	۰/۱۳۹	۰/۵۳۸	۰/۹۷۳	۰/۵۲۰ ،۰/۵۳۸	۲/۱، ۰/۳−
	نرمال	۱۱/۱ ± ۱/۹							
M7	پای صاف	۲۳/۵ ± ۲/۶	۱/۰−	۱/۱۲−	۰/۲۷۳	۰/۳۹۵−	> ۰/۹۹۹	۰/۳۸۰− ،۰/۳۹۵−	۰/۸، ۲/۸−
	نرمال	۲۲/۵ ± ۲/۷							
M8	پای صاف	۱۰/۱ ± ۱/۸	۰/۳−	۰/۵۱−	۰/۶۱۵	۰/۱۸۰−	> ۰/۹۹۹	۰/۱۸۰− ،۰/۱۸۰−	۰/۸، ۱/۴−
	نرمال	۹/۸ ± ۱/۲							
M9	پای صاف	۴/۴ ± ۰/۸	۰/۵−	۱/۷۴−	۰/۰۹۲	۰/۶۱۵−	۰/۷۳۶	۰/۶۰۰− ،۰/۶۱۵−	۰/۱، ۱/۱−
	نرمال	۳/۹ ± ۰/۸							
M10	پای صاف	۷/۷۵ ± ۳/۲	۰/۵	۰/۴۰	۰/۶۹۲	۰/۱۴۱	> ۰/۹۹۹	۰/۱۴۰ ،۰/۱۴۱	۲/۷، ۱/۸−
	نرمال	۸/۲ ± ۳/۳							

*وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

http://jrrs.mui.ac.ir



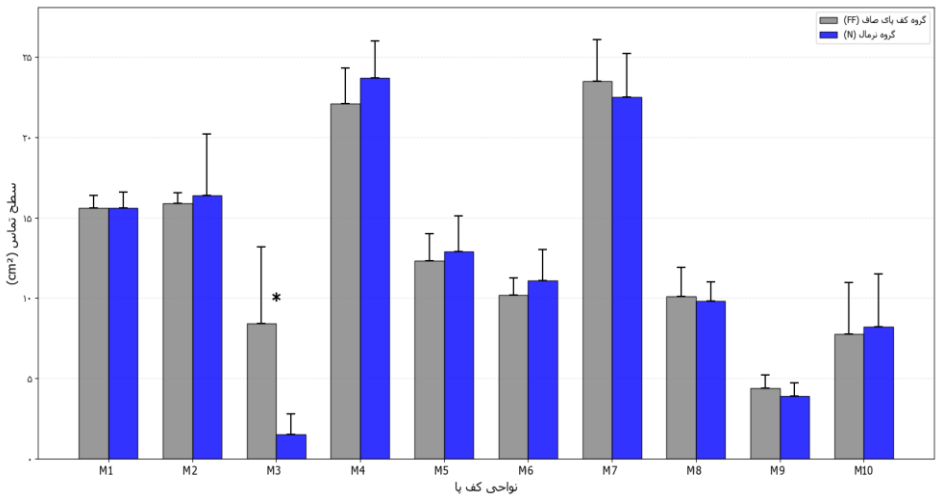
شکل ۲. اوج فشار در نواحی ده‌گانه کف پا در دانش آموزان با کف پای صاف و نرمال

محور افقی: نواحی M1 تا M10، محور عمودی: اوج فشار بر حسب کیلو پاسکال

*وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

توزیع میانگین اوج فشار در ده ناحیه کف پا در دانش‌آموزان دارای کف پای صاف و قوس طبیعی در شکل ۲ نشان داده شده است. محور افقی نواحی M1 تا M10 و محور عمودی فشار بیشینه (کیلوپاسکال) را نشان می‌دهد. الگوی کلی توزیع فشار در دو گروه مشابه بود؛ به طوری که بیشترین فشار بیشینه در هر دو گروه در ناحیه M8 (شست پا) و پس از آن در نواحی M6 (سر متاتارس دوم) و M1 (پاشنه داخلی) مشاهده شد؛ در حالی که کمترین مقادیر فشار بیشینه در نواحی M3 و M4 (میانی کف پا) قرار داشت. همچنین، فشار بیشینه در ناحیه M7 (متاتارس‌های سوم تا پنجم) در گروه کف پای صاف کمتر از گروه نرمال بود.

سطح تماس در ده ناحیه کف پا در دانش‌آموزان دارای کف پای صاف و قوس طبیعی در شکل ۳ ارایه شده است. محور افقی نواحی M1 تا M10 و محور عمودی سطح تماس (سانتی‌متر مربع) را نشان می‌دهد. در هر دو گروه، بیشترین سطح تماس در نواحی M4 و M7 مشاهده شد. بارزترین تفاوت بین دو گروه در ناحیه M3 (میانی داخلی کف پا) بود؛ به طوری که گروه کف پای صاف (حدود ۸/۴ سانتی‌متر مربع) سطح تماس بیشتری نسبت به گروه نرمال (حدود ۱/۵ سانتی‌متر مربع) نشان داد. در مقابل، مقادیر سطح تماس در سایر نواحی از جمله M1، M2 و نواحی جلوی پا (M8 تا M10)، بین دو گروه تفاوت اندکی داشت و الگوی کلی سطح تماس در بیشتر نواحی مشابه بود.



شکل ۲. سطح تماس در نواحی ده‌گانه کف پا در دانش‌آموزان با کف پای صاف و نرمال

محور افقی: نواحی M1 تا M10، محور عمودی: سطح تماس بر حسب سانتی‌متر مربع

*وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

http://jrrs.mui.ac.ir

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که نوجوانان با کف پای صاف دارای الگوی پیچیده‌ای از توزیع مجدد فشار کف پایی در مقایسه با همتایان دارای قوس طبیعی هستند. به طور خاص، اگرچه گروه کف پای صاف فشار بیشینه کمتری را در ناحیه M7 (سوم تا پنجمین متاتارس) با اندازه اثر بزرگ نشان داد (۰/۹۸۸ = Cohen's d)، این تفاوت پس از تصحیح برای مقایسه‌های چند گانه به سطح معنی‌داری آماری نرسید. با این حال، سطح تماس در ناحیه میانی داخلی کف پا (M3) به طور معنی‌داری افزایش یافت (P < ۰/۰۰۱، ۱/۹۷۷ = Cohen's d). این الگو منعکس‌کننده تغییرات ساختاری و عملکردی در قوس طولی داخلی است. کاهش ارتفاع قوس و پرونیشن بیش از حد نه تنها هندسه پا را تغییر می‌دهد و باعث افتادن استخوان ناویکولار می‌شود، بلکه بر انتقال نیرو از پاشنه به جلوی پا و هماهنگی اندام تحتانی نیز تأثیر می‌گذارد.

تغییرات مشاهده شده در فشار و سطح تماس ممکن است ناشی از توزیع مجدد بار به سمت بخش داخلی پا و مرکز فشار داخلی باشد که با تغییر بردار نیروی عکس‌العمل زمین، بر عملکرد زنجیره حرکتی اندام تحتانی تأثیر می‌گذارد. این یافته با مکانیسم‌های مطرح شده در مطالعات پیشین که نشان داده‌اند افراد با کف پای صاف الگوهای بارگذاری تغییر یافته‌ای در طی فاز استقرار پا دارند (۳۳، ۳۲)، همخوانی دارد که سازگاری کنترل شده نیرو و انتقال مؤثر بار را مختل می‌کند.

از دیدگاه بیومکانیکی، پرونیشن بیش از حد باعث افزایش چرخش داخلی ساق و زانو و تغییر زاویه مفصل مچ پا می‌شود که این تغییرات می‌تواند منجر به اختلال در هماهنگی زنجیره حرکتی بسته اندام تحتانی شود. این تغییرات می‌توانند تنش‌های اضافی در مفصل زانو، لگن و ستون فقرات کمری ایجاد کنند و احتمال آسیب بافت نرم و استخوانی را در طولانی‌مدت افزایش دهند (۲۲-۲۰). علاوه بر این، اختلال در هماهنگی زنجیره حرکتی بسته اندام تحتانی می‌تواند بر نحوه کنترل عضلات ساق و کف پا تأثیر بگذارد و احتمال بروز آسیب‌های زنجیره‌ای را افزایش دهد. بنابراین، ارزیابی فشار کف پا نه تنها به تشخیص زودهنگام ناهنجاری‌ها کمک می‌کند، بلکه پایه‌ای برای طراحی برنامه‌های تمرینی و اصلاحی هدفمند است.

نتایج تحقیقات پیشین نشان داده است که بیشترین فشار در نواحی پاشنه و سر متاتارس‌هاست (۱۶-۱۴) و یافته‌های به دست آمده از بررسی حاضر با این الگو مطابقت دارد. با این حال، تفاوت کلیدی در نوجوانان با کف پای صاف، افزایش معنی‌دار سطح تماس در ناحیه میانی داخلی (M3) است که نشان دهنده نیاز به ثبات و کنترل بیشتر در این ناحیه و پتانسیل اختلال عملکردی طولانی مدت می‌باشد. این تغییرات ممکن است نتیجه ترکیبی از عوامل ساختاری (ارتفاع قوس، موقعیت استخوان‌ها) و عوامل عملکردی (زمان‌بندی و فعالیت عضلات حامی قوس و مچ پا) باشد.

تفاوت‌های مشاهده شده با برخی پژوهش‌ها که تفاوت معنی‌داری گزارش نکرده‌اند (۱۸، ۱۷)، می‌تواند ناشی از روش‌های متفاوت تشخیص کف پای صاف، سن شرکت‌کنندگان، پروتکل راه رفتن، تجهیزات مورد استفاده و عدم تفکیک بین کف پای صاف انعطاف‌پذیر و سخت باشد. این نکته نشان می‌دهد که تحلیل دقیق‌تر و دسته‌بندی بر اساس ویژگی‌های ساختاری و عملکردی ضروری است.

تحلیل دقیق فشار و سطح تماس نشان می‌دهد که افزایش سطح تماس M3 می‌تواند به عنوان شاخص غربالگری برای شناسایی زودرس کف پای صاف مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، تغییر فشار اوج در متاتارسال‌ها (حدود ۵۰ کیلوپاسکال) نمایانگر حداقل تفاوت بالینی مهم است که می‌تواند در طراحی مداخلات اصلاحی و ارتوتیک در نوجوانان مورد توجه قرار گیرد (۲۶، ۲۵). این یافته‌ها با نتایج مطالعه Buldt و همکاران که رابطه بین وضعیت قوس پا و توزیع فشار حین راه رفتن را بررسی کردند (۳۳) و همچنین، با تحقیق مداخلات ارتوتیک در کودکان اوانس و روم (۳۴) هم‌راستا می‌باشد و نشان می‌دهد که تغییرات فشار و قوس داخلی کف پا در دوره رشد، قابل پایش و اصلاح است. نکته مهم دیگر، همخوانی این یافته‌ها با مدل‌های مکانیکی پا است. کاهش ارتفاع قوس طولی- داخلی و افزایش پرونیشن باعث می‌شود که محور حرکتی استخوان قاپ به سمت داخل تمایل داشته باشد و مرکز فشار به سمت مدیال حرکت کند که با افزایش فشار در قسمت داخلی پیشین کف پا هم‌زمان می‌شود. این تغییر می‌تواند توضیح دهنده تمایل صافی کف پا به افزایش فشار در نواحی متاتارسال و ایجاد بارگذاری غیر طبیعی در طولانی‌مدت باشد (۲۲، ۲۰).

افزایش مشاهده شده در سطح تماس ناحیه میانی داخلی کف پا و روند به سمت کاهش فشار در بخش خارجی جلوی پا ممکن است نشان دهنده اختلال در عملکرد انتقال نیرو و ثبات مفصل مچ پا باشد. این اختلال می‌تواند بر کنترل عضلات ساق و پا تأثیر بگذارد و احتمال آسیب‌های زنجیره‌ای در اندام تحتانی را افزایش دهد. بنابراین، ارزیابی فشار کف پا نه تنها به تشخیص زودهنگام کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به عنوان مبنایی برای طراحی برنامه‌های تمرینی و اصلاحی هدفمند عمل نماید.

در نهایت، یافته‌های حاضر نشان می‌دهد که کف پای صاف در نوجوانان نه تنها باعث تغییر فشار و سطح تماس می‌شود، بلکه بازتابی از تغییرات عملکردی و ساختاری پا و زنجیره حرکتی اندام تحتانی است. این نتایج اهمیت ارزیابی دقیق فشار کف پا، مکانیک حرکتی و طراحی مداخلات پیشگیرانه و اصلاحی را برجسته می‌کند و پایه‌ای برای مطالعات طولی و چند بعدی آینده را فراهم می‌آورد؛ به ویژه با هدف جلوگیری از آسیب‌های زنجیره‌ای اندام تحتانی، بهبود ثبات پا و ارتقای عملکرد حرکتی در دوره رشد.

محدودیت‌ها

پژوهش حاضر دارای محدودیت‌های متعددی بود. حجم نمونه نسبتاً کوچک (۱۶ نفر) باعث شد توان تشخیص تفاوت‌ها محدود شود و احتمال خطای نوع I افزایش یابد؛ هرچند با اصلاح چندگانه تا حدی کنترل شد. کف پای صاف تنها بر اساس فشار ایستا (شاخص قوس) طبقه‌بندی شد و وضعیت عملکردی پا در وظایف پویا به طور مستقل ارزیابی نشد. علاوه بر این، معیارهای اضافی مانند انتگرال فشار- زمان و مسیر COP ثبت نشده‌اند و تغییرات مرتبط با بلوغ در ساختار پا طی نوجوانی ممکن است الگوهای فشار کف پا را تحت تأثیر قرار دهد؛ اگرچه شاخص Tanner لحاظ گردید. نوع کفش و سطح فعالیت بدنی شرکت‌کنندگان نیز از دیگر محدودیت‌ها به شمار می‌رود. علاوه بر این، نمونه‌گیری در دسترس تعمیم‌پذیری نتایج را محدود می‌کند. برای بهبود مطالعات آینده، افزایش حجم نمونه و افزودن معیارهای زمانی مانند انتگرال فشار- زمان توصیه می‌شود. همچنین، استفاده از مدل‌های آماری چند متغیره و پیگیری طولی شرکت‌کنندگان می‌تواند در پیش‌بینی درد و تغییرات عملکردی پا مفید باشد.

http://jrrs.mui.ac.ir

پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، نمونه‌های بزرگ‌تری مورد بررسی قرار گیرد تا امکان تعمیم‌پذیری یافته‌ها به جمعیت وسیع‌تری فراهم گردد. همچنین، به کارگیری طراحی‌های طولی می‌تواند دیدگاه جامع‌تری نسبت به تغییرات توزیع فشار کف پا در طول زمان ارایه دهد و روندهای تکاملی این متغیرها را روشن‌تر سازد. علاوه بر این، ارزیابی رویکردهای مداخله‌ای همچون تمرینات تقویتی یا استفاده از کفی‌های اصلاحی و مقایسه اثربخشی آن‌ها در بهبود الگوی توزیع فشار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بررسی تفاوت‌های جنسیتی و لحاظ کردن گروه‌های سنی گسترده‌تر نیز می‌تواند منجر به درک عمیق‌تری از عوامل بیولوژیک مؤثر بر فشار کف پا شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، اگرچه بین دو مؤلفه سطح تماس و مقدار فشار کف پا رابطه‌ای معکوسی وجود دارد، اما یافته‌ها نشان می‌دهد که اختلال در ساختار کف پا به ویژه قوس طولی- داخلی، بیش از این که الگوی توزیع فشار کف پا را تحت تأثیر قرار دهد، موجب تغییرات معنی‌دار در مؤلفه سطح تماس می‌شود. به طور خاص، افزایش سطح تماس ناحیه میدفوت داخلی (M3) می‌تواند به عنوان یک نشانگر بیومکانیکی بالقوه برای غربالگری زودهنگام نوجوانان مبتلا به کف پای صاف در نظر گرفته شود. یافته‌های مطالعه می‌تواند در تشخیص بالینی، طراحی کفی‌های درمانی و تدوین پروتکل‌های تمرینی با هدف کنترل و درمان ناهنجاری‌های کف پای صاف مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، نتایج بر اهمیت غربالگری زودرس ناهنجاری‌های وضعیت کف پا در دوران نوجوانی تأکید دارد؛ امری که می‌تواند نقش مهمی در پیشگیری از بروز مشکلات اسکلتی- عضلانی بلندمدت و بهبود کیفیت زندگی ایفا کند.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع دکتری با کد اخلاق IR.SSRC.REC.1402.316 انجام شد. بدین وسیله از همه شرکت‌کنندگان و کارکنان آزمایشگاه بیومکانیک دانشکده علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی تهران که در اجرای این پژوهش همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی پروژه: سینا نجف‌پور، حامد فدایی
جذب منابع مالی برای انجام پروژه: حسین شریفی، سید صدرالدین شجاع‌الدین
خدمات پشتیبانی و اجرایی و علمی پروژه: حامد فدایی، سینا نجف‌پور
فراهم کردن تجهیزات و نمونه‌های مطالعه: رغد معمار، حامد فدایی
جمع‌آوری داده‌ها: سینا نجف‌پور، حسین شریفی
تحلیل و تفسیر نتایج: حامد فدایی، سینا نجف‌پور
خدمات تخصصی آمار: حامد فدایی، حسین شریفی
تنظیم دست‌نوشته : حامد فدایی، سینا نجف‌پور، حسین شریفی، رغد معمار، سید صدرالدین شجاع‌الدین
ارزیابی تخصصی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی: حامد فدایی، سینا نجف‌پور، حسین شریفی، رغد معمار، سید صدرالدین شجاع‌الدین
تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله: حامد فدایی، سینا نجف‌پور، حسین شریفی، رغد معمار، سید صدرالدین شجاع‌الدین
مسؤولیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از اغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظرات داوران: حامد فدایی، سینا نجف‌پور، حسین شریفی، رغد معمار، سید صدرالدین شجاع‌الدین

منابع مالی

هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان تأمین‌کننده مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیر انتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات جهت انجام مطالعه حاضر دریافت نشده است. ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه خوارزمی تهران در نظر گرفته شد و کد اخلاق به شماره IR.SSRC.REC.1402.316 دریافت گردیده است.

تعارض منافع

نویسندگان دارای تعارض منافع نمی‌باشند.

References

1. Queralt A, Valls-Solé J, Castellote JM. Speeding up gait initiation and gait-pattern with a startling stimulus. Gait Posture 2010; 31: 185–90.
2. Putti AB, Arnold GP, Abboud RJ. Foot pressure differences in men and women. Foot Ankle Surg. 2010; 16(1): 21–4.
3. Hsi WL, Chai HM, Lai JS. Comparison of pressure and time parameters in evaluating diabetic footwear. Am J Phys Med Rehabil. 2002; 81(11): 822–9.
4. Koreili Z, Fatahi A, Azarbaijany MA, Sharifnezhad A. Symmetry of Plantar Pressure Distribution and Center of Pressure Excursion Index in Active Female Adolescents with Foot Pronation: Cross-Sectional Study. J Res Rehabil Sci. 2021; 17: 53-61.
5. Heidari E, Tahmasbi T, Mojiri S. Investigating the Effect of Semi-Hard Medical Insoles Made with CAD-CAM Technology on Balance and Pressure Caused by Flexible Flatfoot in the Ages of 12 to 40 Years: Systematic Review. J Res Rehabil Sci. 2022; 18: 1-11.
6. Napolitano C, Walsh S, Mahoney L, McCrea J. Risk factors that may adversely modify the natural history of the pediatric pronated foot. Clin Podiatr Med Surg 2000; 17(3): 397-417.
7. Ghazaleh L, Behnampoor M. Observational Study of Weight Distribution on the Feet and Moment Arm of the Ground Reaction Force around the Ankle in Standing Position in Women with Flatfoot. J Res Rehabil Sci. 2018; 14(5): 257-65.
8. Patil M, Kulkarni MS, Sinha A, Ghorpade RR. Biomechanical variations in patients with flatfoot deformity: Impact of gender, age, and BMI on foot kinetics and kinematics. J Orthop. 2024; 57: 90-7.
9. Ferrari J, Watkinson D. Foot pressure measurement differences between boys and girls with reference to hallux valgus

deformity and hypermobility. Foot Ankle Int. 2005; 26(9): 739-47.
10. Jeon W, Jensen JL, Griffin L. Muscle activity and balance control during sit-to-stand across symmetric and asymmetric initial foot positions in healthy adults. Gait Posture. 2019; 71: 138-44.
11. Feyzioğlu Ö, Öztürk Ö, Muğrabi S. Is Morton's neuroma in a pes planus or pes cavus foot lead to differences in pressure distribution and gait parameters? Heliyon. 2023; 9(8): e19111.
12. Rai DV, Aggarwal LM, Bahadur R. Plantar pressure changes in normal and pathological foot during bipedal standing. Indian J Orthop 2006; 40(2): 119.
13. Chen KC, Tung LC, Tung CH, Yeh CJ, Yang JF, Wang CH. An investigation of the factors affecting flatfoot in children with delayed motor development. Res Dev Disabil 2014; 35(3): 639-45.
14. Farahpour N, Jafarnezhadgero A, Allard P, Majlesi M. Muscle activity and kinetics of lower limbs during walking in pronated feet individuals with and without low back pain. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2018; 39: 35-41.
15. Stolwijk NM, Duysens J, Louwerens JW, Keijsers NL. Plantar pressure changes after long-distance walking. Med Sci Sports Exerc. 2010; 42(12): 2264-72.
16. Razeghi M, Batt ME. Foot type classification: a critical review of current methods. Gait Posture. 2002; 15(3): 282-91.
17. Esmaeili H, Anbarian M, Hajiloo B, Sanjari MA. Short-term effect of medical insoles on electrical activity and co-contraction of leg muscles in people with flat feet. J Res Rehabil Sci. 2013; 9(2): 295-307.
18. Jankowicz-Szymańska A, Kołpa M, Mikołajczyk E. The influence of excessive body mass on the setting of the lower limbs in 9-11-year-old children. Health Promot Phys Act. 2016; (1): 37-46.
19. Putti AB, Arnold GP, Cochrane L, Abboud RJ. The Pedar in-shoe system: repeatability and normal pressure values. Gait Posture. 2007; 25(3): 401-5.
20. Ramanathan AK, Kiran P, Arnold GP, Wang W, Abboud RJ. Repeatability of the Pedar-X in-shoe pressure measuring system. Foot Ankle Surg. 2010; 16(2): 70-3.
21. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behav Res Methods. 2007; 39(2): 175–91.
22. Benedetti MG, Ceccarelli F, Berti L, Luciani D, Catani F, Boschi M, et al. Diagnosis of flexible flatfoot in children: A systematic clinical approach. Orthopedics. 2011; 34(2).
23. Onodera AN, Sacco IC, Morioka EH, Souza PS, de Sa MR, Amadio AC. What is the best method for child longitudinal plantar arch assessment and when does arch maturation occur? Foot (Edinb) 2008; 18(3): 142-9.
24. Hvidt JJ, Brix N, Ernst A, Lauridsen LLB, Ramlau-Hansen CH. Size at birth, infant growth, and age at pubertal development in boys and girls. Clin Epidemiol. 2019; 11: 873-83.
25. Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. Med Sci Sports Exerc. 2003; 35(8): 1381-95.
26. Monteiro RL, Ferreira JSSP, Silva ÉQ, Donini A, Cruvinel-Júnior RH, et al. Feasibility and Preliminary Efficacy of a Foot-Ankle Exercise Program Aiming to Improve Foot-Ankle Functionality and Gait Biomechanics in People with Diabetic Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. Sensors. 2020; 20(18): 5129.
27. Weon JH, Kim GS, Jung DY. Effect of Calcaneal Taping on Peak Plantar Pressure of Forefoot and Rearfoot during Gait. J Korean Phys Ther. 2015; 27(6): 434–8.
28. Jafarnezhadgero AA, Shad MM, Majlesi M. Effect of foot orthoses on the medial longitudinal arch in children with flexible flatfoot deformity: A three-dimensional moment analysis. Gait Posture. 2017; 55: 75–80.
29. Gurney JK, Kersting UG, Rosenbaum D. Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population. Gait Posture. 2008; 27(4): 706–9.
30. Rodgers MM, Cavanagh PR. Pressure distribution in Morton’s foot structure. Med Sci Sports Exerc. 1989; 21(1): 23–8.
31. Najafpour S, Fadaei H, Adiguzeli H. Biomechanical Evaluation of Morton's Toe Effects on Plantar Pressure Distribution during Gait: A Preliminary Cross-Sectional Study. Journal of Rehabilitation Research. 2025; 21(1).
32. Esmaili H, et al. Comparison of plantar pressure distribution in flat foot and normal foot during gait. Iran J Rehabil Sci. 2020; 15(2): 120-30.
33. Buldt AK, Forghany S, Landorf KB, Levinger P, Murley GS, Menz HB. Foot posture is associated with plantar pressure during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. Gait Posture. 2018; 62: 235-40.
34. Evans AM, Rome K. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. Eur J Phys Rehabil Med. 2011; 47(1): 69-89.

http://jrrs.mui.ac.ir

DOI: 10.48305/jrrs.2026.46267.1140 Published by Vesnu Publications

Comparison of Plantar Pressure Distribution Patterns during Walking in Female Students Aged 12–14 Years with Flat and Normal Feet: A Cross-Sectional Comparative Study

Hamed Fadaei[1], Raghad Mimar[2], Seyed Sadredin Shojaedin[3], Sina Najafpour[4], Hossein Sharifi[5]

Original Article

Abstract

Introduction: Flexible flatfoot is one of the most common musculoskeletal abnormalities during adolescence. It can affect the biomechanical function of the lower extremity by altering plantar pressure distribution, potentially increasing the risk of musculoskeletal injuries. Given these factors, the objective of this study was to compare the plantar pressure distribution during walking in adolescent girls with flexible flatfoot and their counterparts with normal foot arches.

Materials and Methods: In this cross-sectional study, 32 female students aged 12–14 years were divided into two equal groups of 16 (flexible flatfoot and normal foot). Peak plantar pressure and contact area were measured across 10 anatomical regions using the emed® C50 plantar pressure measurement system. The data were analyzed using linear mixed-effects models, and the Bonferroni correction was applied to control for errors arising from multiple comparisons.

Results: The flexible flatfoot group exhibited a significantly greater contact area in the medial midfoot region (M3) than the normal-arch group ($P < 0.001$, Cohen's $d = 1.997$). Although peak plantar pressure in the third to fifth metatarsal region (M7) was lower in the flexible flatfoot group than in the normal-arch group, this difference was no longer statistically significant after correction for multiple comparisons ($P = 0.009$, Cohen's $d = 0.988$). No statistically significant differences were observed between the two groups in the other plantar regions.

Conclusion: The increased contact area in the medial midfoot region may serve as a biomechanical indicator for the early identification of adolescents with flexible flatfoot. These results can inform preventive programs, orthotic designs, and rehabilitation protocols.

Keywords: Pressure distribution patterns; Flat foot; Female students; Walking

Citation: Fadaei H, Mimar R, Shojaedin SS, Najafpour S, Sharifi H. **Comparison of Plantar Pressure Distribution Patterns during Walking in Female Students Aged 12–14 Years with Flat and Normal Feet: A Cross-Sectional Comparative Study.** J Res Rehabil Sci 2024; 20.

Received date: 31.12.2023 Accept date: 04.02.2024 Published: 03.04.2024

1- PhD Student, Department of Biomechanics and Sports Pathology, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Biomechanics and Sports Pathology, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
3- Professor, Department of Biomechanics and Sports Pathology, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
4- Department of Biomechanics and Sports Pathology, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
5- MSc Student, Department of Biomechanics and Sports Pathology, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
Corresponding Author: Raghad Mimar; Associate Professor, Department of Biomechanics and Sports Pathology, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran; Email: m_raghad@yahoo.com