

مقایسه کینماتیک مجموعه پا و مچ پا و زانو در زنان مبتلا به کف پای صاف منعطف و ثابت حین راه رفتن

لیلا غزاله^۱، یاسین حسینی^۲، کیوان شریف مرادی^۳

۱. استادیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

۲. استادیار، گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۳. استادیار، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

تاریخ ارسال ۱۳۹۹/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۲/۰۷

چکیده

هدف تحقیق مقایسه کینماتیک مجموعه پا و مچ پا و زانو در زنان مبتلا به کف پای صاف منعطف و ثابت حین راه رفتن بود. ۲۹ زن جوان (۱۰ نفر سالم، ۱۰ نفر کف پای صاف منعطف و ۹ نفر کف پای صاف ثابت) در پژوهش حاضر شرکت داشتند. برای جمع آوری داده‌ها از دوربین‌های تحلیل حرکت و فورس پلیت استفاده شد. نتایج نشان دادند دورسی فلکشن مچ پا در گروه کف پای صاف ثابت از دو گروه دیگر کمتر بود. میزان اورژن مچ پا نیز در گروه کف پای صاف ثابت از گروه سالم بیشتر بود. گروه کف پای صاف منعطف، در مقایسه با دو گروه دیگر، میزان والگوس زانوی بیشتری داشت. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان گفت، افراد دارای کف پای صاف منعطف همانند افراد دارای کف پای صاف ثابت در معرض ابتلا به آسیب‌های زانو قرار دارند؛ بنابراین، انجام اقدامات درمانی در افراد دارای کف پای صاف منعطف ضروری به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: کف پای صاف، منعطف، ثابت، راه رفتن، مفصل

1. Email: L.ghazaleh@Alzahra.ac.ir

2. Email: yasin.hoseiny@gmail.com

3. Email: ksharifmoradi@gmail.com

مقدمه

در ناهنجاری کف پای صاف، ارتفاع قوس طولی کف پا کاهش می‌یابد یا به‌طور کامل از بین می‌رود. پزشکان و پژوهشگران معتقدند ناهنجاری کف پای صاف را می‌توان به دو دسته اصلی؛ یعنی منعطف و ثابت تقسیم کرد. اگر کاهش یا ناپدید شدن قوس طولی کف پا هم در زنجیره کینتیکی بسته (حین تحمل وزن روی پاها) و هم در زنجیره کینتیکی باز (زمانی که وزن روی پاها تحمل نمی‌شود) رخ دهد، فرد مبتلا به کف پای صاف ثابت است و اگر فقط در زنجیره کینتیکی بسته رخ دهد، فرد مبتلا به کف پای صاف منعطف است (۱).

پژوهش‌ها نشان می‌دهند شیوع کف پای صاف در بزرگسالان حدود ۲۵ درصد است و میزان ابتلا به این ناهنجاری در زنان بیشتر از مردان است (۲). همچنین از بین افراد مبتلا به کف پای صاف، حدود ۷۳ درصد مبتلا به صافی کف پا از نوع منعطف‌اند و درصد کمی کف پای صاف از نوع ثابت دارند (۳-۵). متخصصان معتقدند ناهنجاری کف پای صاف از نوع ثابت به درمان نیاز دارد (۶) و در مورد روش‌های درمانی آن اتفاق نظر دارند. اما در مورد درمان کف پای صاف منعطف نظرات متفاوت است (۷). بر اساس اظهارنظر برخی از پژوهشگران ناهنجاری کف پای صاف منعطف، بدون نشانه^۱ است و نیازی به درمان ندارد (۶). البته گروهی از پزشکان و پژوهشگران نیز عقیده دارند درمان کف پای صاف منعطف باید مبتنی بر مشاهده باشد تا روند تغییرات و پیشرفت آن بررسی شود (۸).

صرف‌نظر از نوع ناهنجاری (منعطف یا ثابت بودن)، کف پای صاف ترکیبی پیچیده از تغییرات آناتومیک است (۹). متداول‌ترین تغییرات آناتومیک و ساختاری در ناهنجاری کف پای صاف، واریوس بخش خلفی و پرونیشن بیش‌ازحد پا، افت استخوان نایوکولار و پهن شدن سطح مفصلی استخوان تالوس است. این تغییرات ساختاری در نهایت به از بین رفتن و کاهش ارتفاع قوس طولی داخلی کف پا منجر می‌شود (۲). مستندات نشان می‌دهند پرونیشن و هایپرپرونیشن پا موجب نامتناسب شدن راستا، نقص ساختاری و عملکردی در اندام تحتانی حین ایستادن و راه رفتن می‌شود (۱۰). بنابراین اگرچه متخصصان معتقدند بیشتر افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف مانند افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت به درمان نیاز ندارند، ممکن است در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف، کینماتیک و کینتیک طبیعی مفاصل اندام تحتانی حین انجام فعالیت‌هایی که با تحمل وزن همراه‌اند تحت تأثیر قرار گیرد، طوری که به‌تدریج و با افزایش سن این مفاصل دچار درد و نقص عملکردی شوند. نتایج بررسی جرمی^۲ و همکاران (۲۰۱۵) نیز حاکی از آن بود که افراد بزرگسال مبتلا به کف پای صاف منعطف در بیشتر موارد به درد مچ پا دچارند (۱۱). مطالعات دیگر هم نشان می‌دهند راه رفتن سریع،

1. Asymptomatic

2. Jeremy

راه رفتن روی سطوح ناصاف، دویدن و نگهداری تعادل برای این افراد بسیار سخت است و در اغلب موارد از درد پا شکایت می‌کنند (۱۲). از این رو تصمیم‌گیری در مورد اصلاح ساختار کف پا و به‌کارگیری روش‌های درمانی مناسب در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف نیازمند بررسی حرکات غیرطبیعی مفاصل اندام تحتانی و متعاقب آن نحوه تعامل گشتاورها و نیروهای وارد بر این مفاصل حین راه رفتن است.

در باره بیومکانیک راه رفتن در بزرگسالان مبتلا به کف پای صاف منعطف پژوهش‌های اندکی انجام شده است. پرگوسین^۱ و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی کینماتیک پا^۲ و نیروهای عکس‌العمل زمین نشان دادند در بزرگسالان مبتلا به کف پای صاف منعطف، علاوه بر اینکه اوج پلانترفلکشن و چرخش داخلی بخش خلفی و اوج آبداکشن بخش قدامی پا در بخش‌های مختلف فاز استقرار راه رفتن افزایش می‌یابد، نیروهای عکس‌العمل زمین نیز غیرطبیعی می‌شوند (۱۳). نتیجه مطالعه یاووزر^۳ و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد متغیرهای کینتیکی مفاصل اندام تحتانی و نیروی عکس‌العمل زمین حین راه رفتن در بزرگسالانی که از کودکی مبتلا به کف پای صاف بوده‌اند و هرگز اقدام به درمان نکرده‌اند با افراد سالم متفاوت است (۱۴، ۱۵). در مطالعه لوینجر^۴ و همکاران (۲۰۱۰) روی بزرگسالان مبتلا به کف پای صاف نشان داده شد، اوج پلانترفلکشن و آبداکشن بخش قدامی و چرخش داخلی بخش خلفی پا در فاز استقرار راه رفتن، در مقایسه با افراد سالم، افزایش می‌یابد (۱۶).

از آنجا که پژوهش‌های اندکی در حیطه تحلیل کینماتیکی راه رفتن در بزرگسالان مبتلا به کف پای صاف منعطف انجام شده است، به نظر می‌رسد انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه ضروری است. بالت^۵ و همکاران (۲۰۱۳) نیز در پژوهشی مروری اظهار داشتند شواهدی مبنی بر وجود رابطه بین ناهنجاری کف پای صاف و افزایش حرکت در اندام تحتانی حین راه رفتن وجود دارد، اما به دلیل وجود ناهماهنگی در پژوهش‌های موجود در این خصوص نمی‌توان به‌طور قطعی اظهار نظر کرد (۱۷). در پژوهش حاضر، عملکرد کینماتیکی مجموعه پا و مچ پا و زانو در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف بررسی و سپس با افراد دارای کف پای صاف ثابت و افراد سالم مقایسه خواهد شد. علت شرکت دادن افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت در پژوهش حاضر، بررسی این موضوع بود که آیا بین عملکرد کینماتیکی مجموعه پا و مچ پا و زانو در دو گروه مبتلا به کف پای صاف منعطف و ثابت حین راه رفتن تفاوت وجود دارد یا خیر. ممکن است استخراج و مشخص کردن این تفاوت‌ها بتواند اطلاعات

-
1. Prachgosin
 2. Foot kinematics
 3. Yavuzer
 4. Levinger
 5. Buldt

مفیدی درباره مدیریت این ناهنجاری پیچیده در اختیار پزشکان و درمانگران قرار دهد. آشکار کردن تفاوت عملکرد کینماتیکی مفاصل اندام تحتانی در دو گروه مذکور در حالی امکان پذیر است که این دو گروه هم‌زمان با هم در یک پژوهش بررسی شوند که این موضوع در هیچ‌یک از پژوهش‌های پیشین مد نظر قرار نگرفته است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر مطالعه‌ای نیمه‌تجربی و جامعه آماری آن شامل زنان دانشجوی ۱۸ تا ۲۵ سال است. این پژوهش با کد IR-NAHGH.REC.1398.004 در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه نهاوند تأیید شد. به منظور انتخاب نمونه‌های پژوهش، افرادی که داوطلب شرکت در پژوهش بودند در دو مرحله از لحاظ کف پای صاف غربالگری شدند. در اولین مرحله که مبتنی بر روش کلینیکی بود (۱۸)، کف پای فرد در وضعیت ایستاده ارزیابی می‌شد. چنانچه یکی از نشانه‌های کاهش یا ناپیدا بودن قوس طولی داخلی، محدب شدن لبه داخلی پا یا والگوس پاشنه در پا مشاهده می‌شد، فرد وارد مرحله دوم غربالگری می‌شد. در مرحله دوم، از روش ثبت اثر کف پا^۱ و شاخص استاهلی^۲ استفاده شد (۱۹،۲۰). در این روش، فرد ابتدا روی سطح سفت آغشته به جوهر و بلافاصله بر روی کاغذ سفید می‌ایستاد تا اثر کف پا روی کاغذ ثبت شود (۲۱). پس از ثبت اثر کف پای راست و چپ به‌طور جداگانه، کیفیت اثر ثبت شده بررسی می‌شد. چنانچه اثر لبه‌های خارجی پا روی کاغذ کیفیت مناسبی نداشت آزمون دوباره تکرار می‌شد. بر اساس شاخص استاهلی چنانچه اندازه نسبت دو خط مستخرج از ثبت اثر کف پا، از ۰/۸ بیشتر باشد، فرد مبتلا به ناهنجاری کف پای صاف است. دو خط مورد نظر در شاخص استاهلی عبارت‌اند از: کم‌عرض‌ترین بخش میانی پا^۳ و عریض‌ترین بخش عقبی پا^۴ (۱۹). به منظور مشخص کردن نوع ناهنجاری کف پای صاف (ثابت و منعطف) از آزمون افت استخوان ناوی استفاده شد. بر اساس این آزمون چنانچه اختلاف ارتفاع ناوی در وضعیت ایستاده (در حال تحمل وزن) نسبت به وضعیت نشسته (عدم تحمل وزن) بیشتر از ۱۰ میلی‌متر باشد فرد مبتلا به کف پای صاف از نوع منعطف است (۲۲).

معیارهای ورود به پژوهش عبارت بودند از: دامنه سنی ۱۸-۲۵ سال (۲۳)، شاخص توده بدنی نرمال (۲۴) و مبتلا نبودن به هرگونه بیماری عصبی-عضلانی (۲۵). ابتدای آزمودنی‌ها به کف پای صاف باید در هر دو مرحله غربالگری صاف تأیید می‌شد. نرمال بودن کف پای آزمودنی‌های گروه سالم نیز باید

1. Footprint method
2. Staheli Index
3. Midfoot
4. Hindfoot

در هر دو مرحله غربالگری تأیید می‌شد. داشتن سابقه جراحی در پا و مچ پا (۲۶) و اختلاف طول اندام تحتانی بیشتر از دو سانتی‌متر (۲۷) نیز از معیارهای خروج از پژوهش بودند. پس از غربالگری و اجرای آزمون‌های تشخیص کف پای صاف، ۱۰ نفر که فاقد ناهنجاری کف پای صاف بودند، در گروه سالم و ۱۹ نفر مبتلا به ناهنجاری کف پای صاف در دو گروه کف پای صاف منعطف (۱۰ نفر) و کف پای صاف ثابت (۹ نفر) قرار گرفتند. نرم‌افزار جی پاور نشان داد برای دستیابی به اندازه اثر برابر با ۰/۶ در سطح معناداری ۰/۰۵ و توان آماری ۰/۸ برای سه گروه، به حجم نمونه ۳۰ نفری نیاز است. گفتنی است، به دلیل اینکه داده‌های یکی از آزمودنی‌های گروه کف پای صاف ثابت صحت کافی نداشت و حرکت برخی نشانگرها به شکل صحیح ثبت نشده بود، این آزمودنی از گروه مذکور حذف شد و گروه کف پای صاف ثابت با حجم نمونه نه نفر وارد تجزیه و تحلیل آماری شد. ویژگی عمومی و تعداد آزمودنی‌های هر گروه در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

به منظور رعایت جنبه‌های اخلاقی، آزمودنی‌ها از طریق اطلاعات مندرج در فرم رضایت‌نامه از نحوه معاینه کف پا، اجرای آزمون‌ها در آزمایشگاه و همچنین نحوه انتشار نتایج آگاه شدند و قبل از شرکت در آزمون‌های غربالگری کف پای صاف و حضور در آزمایشگاه، فرم رضایت‌نامه را امضا کردند. پس از حضور آزمودنی‌ها در آزمایشگاه و آشنا شدن آن‌ها با مسیر در نظر گرفته شده برای راه رفتن، اجرای آزمون آغاز می‌شد. هر آزمودنی باید با سرعت دلخواه، معمولی و بدون کفش در طول آزمایشگاه راه می‌رفت. استفاده از سرعت دلخواه و معمولی برای پیشگیری از بروز اختلال در کنترل حرکتی هنگام مواجهه با الگوی راه رفتن جدید بود. در این مسیر آزمودنی بین ۹ تا ۱۱ گام برمی‌داشت. برای تحلیل از گام ششم به بعد استفاده می‌شد تا راه رفتن فرد کاملاً تثبیت شده باشد.

متغیرهای وابسته پژوهش شامل دامنه حرکتی مفصل مچ پا در سطوح ساجیتال، فرونتال و هوریزنتال و دامنه حرکتی مفصل زانو در سطح فرونتال بود که در فاز استقرار چرخه^۱ راه رفتن اندازه‌گیری شدند. برای ثبت داده‌ها از هشت دوربین تحلیل حرکت مدل کوالیسیس^۲ و فورس پلیت مدل کیستلر^۳ استفاده شد. از فورس پلیت به منظور مشخص کردن فاز استقرار راه رفتن استفاده شد. پس از تنظیم دوربین‌ها و صفحه نیرو، تعداد ۲۲ نشانگر منعکس‌کننده نور به روش پلاگین گیت^۴ روی خاصه قدامی فوقانی، خار خاصه خلفی فوقانی، ران، کندیل‌های داخلی و خارجی ران، ساق، قوزک داخلی و خارجی، انتهای استخوان‌های کف پای اول و پنجم و پاشنه پا در دو سمت راست و چپ نصب شد. هر آزمودنی چهار تکرار راه رفتن را با یک دقیقه استراحت بین تکرارها انجام می‌داد. سه تکرار آزمون که در آن‌ها نشانگرها به شکل صحیح توسط دوربین‌ها

-
1. Cycle
 2. Qualysis
 3. Kistler
 4. Plug-in gait

شناسایی شده بودند، انتخاب و داده‌های آن‌ها پردازش شد. فرکانس جمع‌آوری داده‌های کینماتیکی و کینماتیکی به ترتیب ۱۰۰۰ و ۲۵۰ هرتز بود. به منظور حذف اثر سیگنال‌های ناخواسته، داده‌های مذکور با استفاده از فیلتر باتروث (مرتبه ۴ و نقطه برش ۱۰) فیلتر شدند (۲۸، ۲۹). برای تبدیل داده‌ها به فرمت سی‌تری‌دی از نرم‌افزار کیو تی ام^۱ استفاده شد. سپس داده‌ها به نرم‌افزار ویژوال تری‌دی^۲ منتقل و دامنه حرکتی مفاصل مچ پا و زانو در فاز استقرار از یک چرخه راه رفتن استخراج شدند. از آنجا که در فاز استقرار چرخه راه رفتن، به ترتیب حرکات پلاننارفلکشن، دورسی فلکشن و مجدداً پلاننارفلکشن در مفصل مچ پا انجام می‌شود، به منظور بررسی دامنه حرکتی دورسی و پلاننار فلکشن مچ پا در سطح ساجیتال، فاز استقرار چرخه راه رفتن به سه قسمت ابتدایی، میانی و پایانی تقسیم شد. بخش ابتدایی فاز استقرار، از لحظه برخورد پاشنه پا با زمین تا لحظه هموار شدن کف پا روی زمین، بخش میانی از لحظه هموار شدن کف پا روی زمین تا جدا شدن پاشنه پا و بخش پایانی از لحظه جدا شدن پاشنه پا از زمین تا لحظه جدا شدن انگشتان پا از زمین در نظر گرفته شدند.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار اسپ‌اس‌اس^۳ نسخه ۲۵ انجام شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. به منظور مقایسه میانگین دامنه حرکتی مفاصل بین سه گروه در دست بررسی در تحقیق حاضر از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده و سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. برای محاسبه اندازه اثر (d) از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{اندازه اثر} = \frac{\text{اختلاف میانگین دو شرایط}}{\text{میانگین انحراف استاندارد دو شرایط}}$$

نتایج

میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های عمومی آزمودنی‌های سه گروه شامل قد، وزن و شاخص توده بدنی، میزان افت ناوی و همچنین تعداد آن‌ها در هر گروه در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. اختلاف شاخص توده بدنی بین دو گروه سالم و کف پای صاف منعطف به لحاظ آماری معنادار بود (P=۰/۰۱).

1 QTM (Qualysis Track Manager)

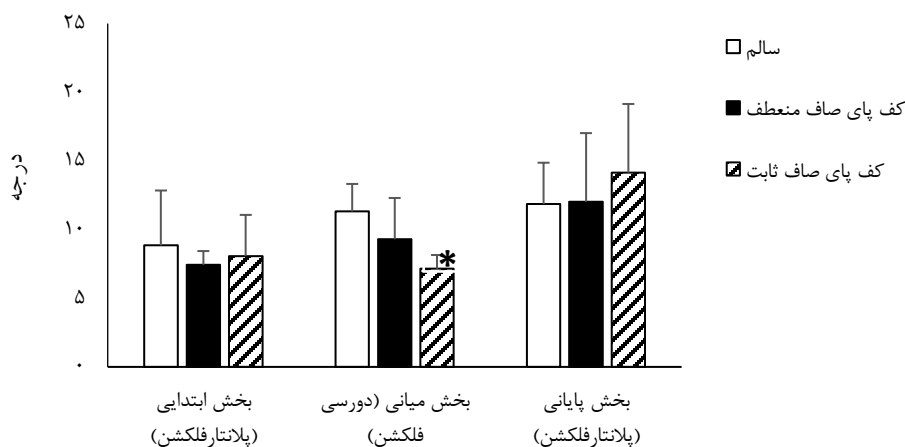
2. Visual 3D

3. SPSS (Statistical Package for the Social Science)

جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های عمومی و تعداد آزمودنی‌ها در هر گروه

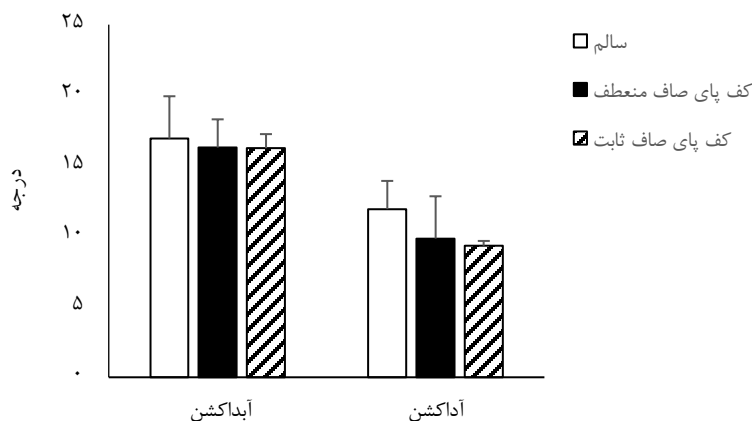
گروه‌ها	کف پای صاف منعطف	کف پای صاف ثابت	سالم	p-value
تعداد	۱۰	۹	۱۰	
قد (متر)	۱/۶۴ ± ۰/۰۴	۱/۶۴ ± ۰/۰۴	± ۰/۰۳ ۱/۶۶	۰/۴۳
وزن (کیلوگرم)	۵۹/۹۰ ± ۶/۵۹	۵۸/۷۰ ± ۶/۰۹	± ۴/۲۹ ۵۴/۷۰	۰/۰۹
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۲/۰۵ ± ۱/۹۳	۲۱/۶۹ ± ۱/۸۷	± ۱/۴۴ ۱۹/۶۸	۰/۰۱
میزان افت استخوان ناوی (میلی‌متر)	۱/۴ ± ۰/۲۷	۰/۶۷ ± ۰/۱۳		۰/۰۰

نتایج مربوط به دامنه حرکتی مفصل مچ پا در سطح ساجیتال در سه بخش ابتدایی، میانی و پایانی فاز استقرار در نمودار شماره ۱ آورده شده است. همان‌طور که قابل ملاحظه است، گروه کف پای صاف ثابت در میانه فاز استقرار، در مقایسه با گروه کف پای صاف منعطف و گروه سالم دورسی فلکشن کمتری داشت که این مقدار به لحاظ آماری معنادار بود ($d=1/0.7$ و $P=0/0.06$).



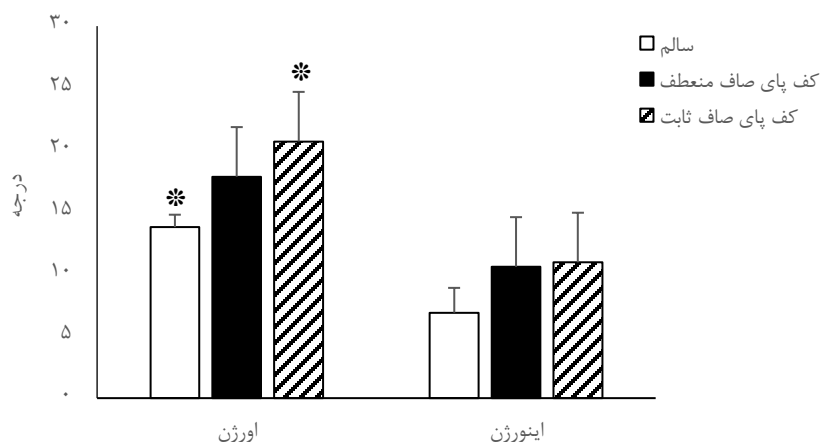
شکل ۱- دامنه حرکتی مفصل مچ پا در سطح ساجیتال در سه بخش ابتدایی، میانی و پایانی فاز استقرار

نتایج مربوط به دامنه حرکتی مفصل مچ پا در سطح هوریزونتال در نمودار شماره ۲ ارائه شده است. نتایج نشان دادند در حرکت آداکشن و آبداکشن مچ پا به لحاظ آماری اختلاف معناداری بین گروه‌ها وجود ندارد ($P > 0/05$).



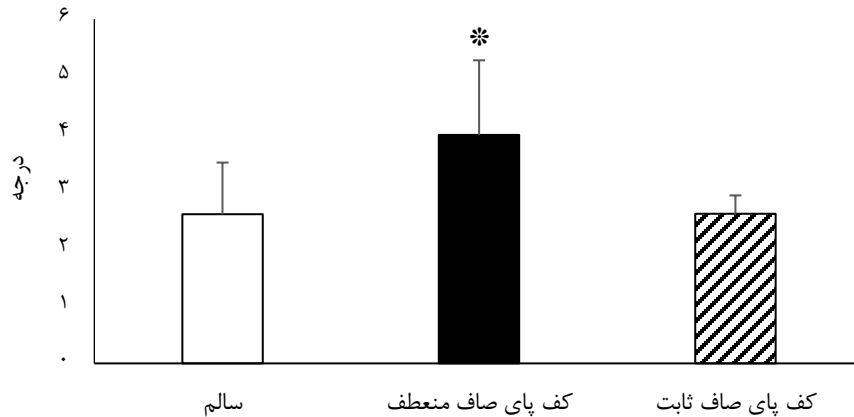
شکل ۲- دامنه حرکتی مفصل مچ پا در سطح هوریزونتال در فاز استقرار

نتایج مربوط به دامنه حرکتی مفصل سابتالاردر سطح فرونتال در نمودار شماره ۳ ارائه شده است. نتایج نشان دادند در میزان اورژن مچ پا به لحاظ آماری اختلاف معناداری بین افراد سالم و کف پای صاف ثابت وجود دارد ($P = 0/025$ و $d = 1/57$).



شکل ۳- دامنه حرکتی مفصل مچ پا در سطح فرونتال در فاز استقرار

در نمودار شماره ۴ نتایج مربوط به دامنه حرکتی مفصل زانو در سطح فرونتال نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان والگوس زانو در گروه کف پای صاف منعطف در مقایسه با گروه کف پای صاف ثابت ($d=1/25$ و $P=0/012$) و افراد سالم ($d=1/7$ و $P=0/012$) بیشتر است که این اختلاف به لحاظ آماری معنادار بود.



شکل ۴- دامنه حرکتی مفصل زانو در سطح فرونتال در فاز استقرار

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه متغیرهای دامنه حرکتی مفصل مچ پا و زانو در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف و ثابت در مقایسه با افراد سالم بررسی شد. نتایج تحلیل دامنه حرکتی مچ پا در سطح ساجیتال نشان داد، میزان دورسی فلکشن مچ پا در میانه فاز استقرار راه رفتن در افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت از افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف و افراد سالم کمتر بود. نتایج مربوط به تحلیل دامنه حرکتی مچ پا در سطح فرونتال نیز نشان داد میزان اورژن مچ پا در فاز استقرار راه رفتن، در افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت بیشتر از دو گروه دیگر بود. سومین یافته پژوهش حاضر نیز حاکی از آن بود که افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف، در مقایسه با افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت و افراد سالم والگوس زانوی بیشتری داشتند.

سازوکاری که باعث کاهش دورسی فلکشن مچ پا می‌شود به خوبی مشخص نیست. اما پژوهشگران از تغییر ساختار استخوانی پا، کوتاهی بافت‌های نرم، عدم تعادل عضلانی حول مفصل مچ پا و کوتاهی عضلات پلانتار فلکسور به عنوان علت‌های اصلی کاهش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا یاد کرده‌اند (۳۰، ۳۱). مطالعات نیز نشان می‌دهند در افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت، به علت ناهنجاری‌های

استخوانی کف پا، دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا محدود می‌شود (۳۲،۳۳). از سوی دیگر در افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت، کوتاهی عضلات نگه‌دارنده قوس طولی کف پا و همچنین عضلات دوقلو و نعلی بسیار مشهود است (۳۴). در میانه فاز استقرار راه رفتن، استخوان ساق به سمت جلو حرکت می‌کند و حرکت دورسی فلکشن غیرفعالی در مچ پا شکل می‌گیرد. این حرکت دورسی فلکشن توسط انقباض اکسنتریک عضله نعلی کنترل می‌شود. به عبارت دیگر عضله نعلی از حرکت قدامی استخوان درشتنی روی مچ پا جلوگیری می‌کند (۳۵). بنابراین به نظر می‌رسد در افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت، کوتاهی عضله نعلی باعث کاهش دورسی فلکشن مفصل مچ پا می‌شود. پژوهش‌ها نیز نشان داده‌اند بیشترین میزان دورسی فلکشن مچ پا در فاز استقرار راه رفتن، درست قبل از بلند شدن پاشنه (در میانه فاز استقرار) اتفاق می‌افتد. چنانچه میزان دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا در میانه فاز استقرار طبیعی باشد، استخوان درشتنی می‌تواند بدون جدا شدن پاشنه از زمین به جلو حرکت کند. هنگامی که دامنه حرکتی دورسی فلکشن کاهش پیدا می‌کند، حرکت جبرانی سایر مفاصل باعث پیشروی درشتنی روی پا می‌شود؛ برای مثال، بخش میانی پا^۱ که در حالت طبیعی در میانه فاز استقرار ثابت است، در وضعیتی که دامنه حرکتی دورسی فلکشن کاهش می‌یابد، متحرک می‌شود (۳۰)؛ به عبارت دیگر کاهش دورسی فلکشن در میانه فاز استقرار راه رفتن که وزن بدن روی پا قرار می‌گیرد، با افزایش پرونیشن و اورژن مچ پا جبران می‌شود (۳۶). همان‌طور که نتایج پژوهش حاضر نیز نشان دادند، در گروه کف پای صاف ثابت که دورسی فلکشن کمتری داشتند میزان اورژن مچ پا از دو گروه دیگر بیشتر بود. لوینجر و همکاران نیز نشان دادند در افراد مبتلا به کف پای صاف زاویه تالو-ناویکولار افزایش می‌یابد و باعث چرخش داخلی تالوس و کالکئوس می‌شود، به طوری که افزایش اورژن باعث افزایش تلاش در فاز پیشروی می‌شود (۱۶). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند کاهش دامنه حرکتی دورسی فلکشن عاملی خطرزا برای آسیب‌هایی مانند تاندنیوپاتی^۲ کشکک (۳۷) تاندنیوپاتی آشیل (۳۸)، ناپایداری مچ پا (۳۹)، شکستگی حاصل از فشار استخوان متاتارسال (۴۰) و درد قدامی زانو می‌شود (۴۱). بنابراین به نظر می‌رسد کاهش دامنه حرکتی دورسی فلکشن در افرادی با عارضه کف پای صاف ثابت باعث افزایش آسیب‌های مربوط به پرکاری می‌شود.

یکی دیگر از یافته‌های پژوهش حاضر این بود که افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف، در مقایسه با افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت و افراد سالم، در فاز استقرار راه رفتن والگوس زانوی بیشتری داشتند. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند افزایش والگوس زانو با آسیب‌های اندام تحتانی به ویژه آسیب رباط متقاطع قدامی ارتباطی مستقیم دارد (۳۶). تغییر در ساختار مچ پا باعث ایجاد حرکات جبرانی در

1. Midfoot

2. Tendinopathy

مفاصل اندام تحتانی همچنین افزایش فشار وارد بر مچ پا، زانو، ران و کمر می‌شود. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند پرونیشن بیش از حد مچ پا یکی از عوامل تأثیرگذار در پارگی رباط متقاطع قدامی است. همچنین باعث تأخیر ۲۰ میلی‌ثانیه‌ای در الگوی حرکتی فعالیت عضله دوسر رانی می‌شود و در نتیجه، احتمال آسیب لیگامنت متقاطع قدامی را افزایش می‌دهد. به‌طور کلی پرونیشن بیش از حد در مفصل سابتالار باعث چرخش داخلی درشت‌نی و در نتیجه، افزایش والگوس زانو می‌شود؛ بنابراین افزایش والگوس زانو در گروه کف پای صاف منعطف را می‌توان با این استراتژی مرتبط دانست. در نتیجه می‌توان گفت افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف حین انجام فعالیت‌هایی که وزن بدن روی پاها قرار می‌گیرد در معرض ابتلا به آسیب‌های زانو، به‌ویژه آسیب لیگامنت متقاطع قدامی قرار دارند.

از آنجا که افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف در میزان والگوس زانو و افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت در میزان دورسی‌فلکشن و اورژن مچ پا با افراد سالم تفاوت داشتند، می‌توان گفت هر دو گروه در معرض ابتلا به آسیب‌های زانو قرار دارند. البته گفتنی است، سازوکارهای ابتلا به آسیب زانو در دو گروه متفاوت بود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده علاوه بر متغیرهای کینماتیکی، متغیرهای کینتیکی مفاصل اندام تحتانی و همچنین عملکرد عضلانی حین راه رفتن، در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف و ثابت بررسی و با یکدیگر مقایسه شود، تا سازوکارهای نهفته و احتمالی تأثیرگذاری ناهنجاری کف پای صاف منعطف بر مفاصل اندام فوقانی دقیق‌تر مشخص شوند.

مبانی علمی کافی دربارهٔ ضرورت اصلاح ناهنجاری کف پای صاف ثابت در اختیار پژوهشگران و پزشکان قرار دارد، اما در مورد اینکه آیا ناهنجاری کف پای صاف منعطف نیز نیازمند اقدامات اصلاحی و مداخلات پزشکی است، اتفاق نظر وجود ندارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد افراد مبتلا به ناهنجاری کف پای صاف منعطف همانند افراد مبتلا به کف پای صاف ثابت در معرض ابتلا به آسیب‌های زانو قرار دارند؛ بنابراین انجام اقدامات درمانی در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف نیز ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی: از تمام دانشجویانی که به‌عنوان آزمودنی متعهدانه در پژوهش حاضر شرکت داشتند صمیمانه قدردانی می‌کنیم.

منابع

1. Napolitano C, Walsh S, Mahoney L, McCrea J. Risk factors that may adversely modify the natural history of the pediatric pronated foot. *Clinics in podiatric medicine and surgery*. 2000;17(3):397-417.
2. Arachchige SNK, Chander H, Knight A. Flatfoot: Biomechanical implications, assessment and management. *The Foot*. 2019;38:81-5.

3. Dars S, Uden H, Banwell HA, Kumar S. The effectiveness of non-surgical intervention (Foot Orthoses) for paediatric flexible pes planus: A systematic review: Update. *PloS one*. 2018;13(2):1-17.
4. Abaraogu UO, Onyeka C, Ucheagwu C, Ozioko M. Association between flatfoot and age is mediated by sex: A cross-sectional study. *Polish Annals of Medicine*. 2016;23(2):141-6.
5. Carr JB, Yang S, Lather LA. Pediatric pes planus: a state-of-the-art review. *Pediatrics*. 2016;137(3).
6. Harris EJ. The natural history and pathophysiology of flexible flatfoot. *Clinics in podiatric medicine and surgery*. 2010;27(1):1-23.
7. Hösl M, Böhm H, Multerer C, Döderlein L. Does excessive flatfoot deformity affect function? A comparison between symptomatic and asymptomatic flatfeet using the Oxford Foot Model. *Gait & posture*. 2014;39(1):23-8.
8. Haendlmayer KT, Harris NJ. (ii) Flatfoot deformity: an overview. *Orthopaedics and Trauma*. 2009;23(6):395-403.
9. Rose G, Welton E, Marshall T. The diagnosis of flat foot in the child. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1985;67(1):71-8.
10. Khamis S, Yizhar Z. Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. *Gait & posture*. 2007;25(1):127-34.
11. Walters JL, Mendicino SS. The flexible adult flatfoot: anatomy and pathomechanics. *Clinics in podiatric medicine and surgery*. 2014;31(3):329-36.
12. Dabholkar T, Agarwal A. Quality of Life in Adult Population with Flat Feet. *International Journal of Health Sciences and Research*. 2020; 10(2).
13. Prachgosin T, Chong DY, Leelasamran W, Smithmaitrie P, Chatpun S. Medial longitudinal arch biomechanics evaluation during gait in subjects with flexible flatfoot. *Acta of bioengineering and biomechanics*. 2015;17(4).
14. Yavuzer G, Sarmer S, Ergin S. Gait deviation of subjects with flexible flatfeet. Ankara University Medical School, Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Turkey. 2001:4-6.
15. Hunt AE, Smith RM. Mechanics and control of the flat versus normal foot during the stance phase of walking. *Clinical biomechanics*. 2004;19(4):391-7.
16. Levinger P, Murley GS, Barton CJ, Cotchett MP, McSweeney SR, Menz HB. A comparison of foot kinematics in people with normal-and flat-arched feet using the Oxford Foot Model. *Gait & posture*. 2010;32(4):519-23.
17. Buldt AK, Murley GS, Butterworth P, Levinger P, Menz HB, Landorf KB. The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. *Gait & posture*. 2013;38(3):363-72.
18. Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, Hauser G, Sluga M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics*. 2006;118(2):634-9.
19. Maestre-Rendon J, Rivera-Roman T, Sierra-Hernandez J, Cruz-Aceves I, Contreras-Medina L, Duarte-Galvan C, et al. Low computational-cost footprint deformities diagnosis sensor through angles, dimensions analysis and image processing techniques. *Sensors*. 2017;17(11):2700.
20. Soper C, Hume P, Cheung K, Benschop A, editors. Foot morphology of junior football players: Implications for football shoe design. *A sports medicine odyssey-*

- challenges, controversies and change Australian Conference of Science and Medicine in Sport; 2001. Wellington, New Zealand.
21. Onodera AN, Sacco ICN, Morioka EH, Souza PS, de Sá MR, Amadio AC. What is the best method for child longitudinal plantar arch assessment and when does arch maturation occur? *The Foot*. 2008;18(3):142-9.
 22. Aenumulapalli A, Kulkarni MM, Gandotra AR. Prevalence of flexible flat foot in adults: A cross-sectional study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*. 2017;11(6):AC17.
 23. Lee Y-C, Lin G, Wang M-JJ. Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods. *Journal of foot and ankle research*. 2014;7(1):44.
 24. Shariff SM, Manaharan T, Shariff AA, Merican AF. Evaluation of Foot Arch in Adult Women: Comparison between Five Different Footprint Parameters. *Sains Malaysiana*. 2017;46(10):1839-48.
 25. Pezzan PA, Sacco IC, João S. Foot posture and classification of the plantar arch among adolescent wearers and non-wearers of high-heeled shoes. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2009;13(5):398-404.
 26. Queen RM, Mall NA, Hardaker WM, Nunley JA. Describing the medial longitudinal arch using footprint indices and a clinical grading system. *Foot & ankle international*. 2007;28(4):456-62.
 27. Ledoux WR, Hillstrom HJ. The distributed plantar vertical force of neutrally aligned and pes planus feet. *Gait & posture*. 2002;15(1):1-9.
 28. Sanchis-Sales E, Sancho-Bru JL, Roda-Sales A, Pascual-Huerta J. Kinematics and kinetics analysis of midfoot joints of 30 normal subjects during walking. *Revista Española de Podología*. 2016;27(2):e6-e12.
 29. Winter DA. *Biomechanics and motor control of human movement*: John Wiley & Sons; 2009.
 30. Kim HY, Shin HS, Ko JH, Cha YH, Ahn JH, Hwang JY. Gait analysis of symptomatic flatfoot in children: an observational study. *Clinics in orthopedic surgery*. 2017;9(3):363.
 31. Gatt A, De Giorgio S, Chockalingam N, Formosa C. A pilot investigation into the relationship between static diagnosis of ankle equinus and dynamic ankle and foot dorsiflexion during stance phase of gait: time to revisit theory? *The Foot*. 2017;30:47-52.
 32. Halabchi F, Mazaheri R, Mirshahi M, Abbasian L. Pediatric flexible flatfoot; clinical aspects and algorithmic approach. *Iranian journal of pediatrics*. 2013;23(3):247.
 33. Flores DV, Mejía Gómez C, Fernández Hernando M, Davis MA, Pathria MN. Adult acquired flatfoot deformity: anatomy, biomechanics, staging, and imaging findings. *Radiographics*. 2019;39(5):1437-60.
 34. Oatis C. *Biomechanics of Joints. Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement*. 2004:97-8.
 35. Błażkiewicz M, Wit A. Compensatory strategy for ankle dorsiflexion muscle weakness during gait in patients with drop-foot. *Gait & posture*. 2019;68:88-94.
 36. Nakagawa TH, Petersen RS. Relationship of hip and ankle range of motion, trunk muscle endurance with knee valgus and dynamic balance in males. *Physical Therapy in Sport*. 2018;34:174-9.

37. Backman LJ, Danielson P. Low range of ankle dorsiflexion predisposes for patellar tendinopathy in junior elite basketball players: a 1-year prospective study. *The American journal of sports medicine*. 2011;39(12):2626-33.
38. Rabin A, Kozol Z, Finestone AS. Limited ankle dorsiflexion increases the risk for mid-portion Achilles tendinopathy in infantry recruits: a prospective cohort study. *Journal of foot and ankle research*. 2014;7(1):1-7.
39. Hoch MC, Andreatta RD, Mullineaux DR, English RA, Medina McKeon JM, Mattacola CG, et al. Two-week joint mobilization intervention improves self-reported function, range of motion, and dynamic balance in those with chronic ankle instability. *Journal of orthopaedic research*. 2012;30(11):1798-804.
40. Chuckpaiwong B, Cook C, Pietrobon R, Nunley JA. Second metatarsal stress fracture in sport: comparative risk factors between proximal and non-proximal locations. *British journal of sports medicine*. 2007;41(8):510-4.
41. Taunton JE, Wilkinson M. *Rheumatology*: 14. Diagnosis and management of anterior knee pain. *Cmaj*. 2001;164(11):1595-601.

ارجاع دهی

غزاله لیلا، حسینی یاسین، شریف‌مرادی کیوان. مقایسه کینماتیک مجموعه پا و مچ پا و زانو در زنان مبتلا به کف پای صاف منعطف و ثابت حین راه رفتن. *مطالعات طب ورزشی*. بهار و تابستان ۱۳۹۹؛ ۱۲(۲۷)، ۱۸۷-۲۰۰. شناسه دیجیتال: 10.22089/smj.2021.10212.1473

Ghazaleh L, Hoseiny Y, Sharifmoradi K. Comparison of Foot-Ankle Complex and Knee Joint Kinematics in Women with Flexible and Rigid FlatFeet During Walking. *Sport Medicine Studies*. Spring & Summer 2020; 12 (27): 187-200. (Persian). Doi: 10.22089/smj.2021.10212.1473

Comparison of Foot-Ankle Complex and Knee Joint Kinematics in Women with Flexible and Rigid FlatFoot During Walking

L. Ghazaleh¹, Y. Hoseiny², K. Sharifmoradi³

1. Department of Sports Physiology, Faculty of Sport Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran (Corresponding Author)
2. Department of Sport Sciences, Faculty of Literature and Humanities, Malayer University, Malayer, Iran
3. Department of Sport Sciences, Faculty of Humanities, University of Kashan, Kashan, Iran

Received Date: 2021/03/08

Accepted Date: 2021/04/27

Abstract

The aim of the present study was to compare the kinematics of the foot-ankle complex and knee joints in women with flexible and rigid flatfoot during the stance phase of walking. Twenty-nine young women (10 healthy, 10 with flexible flatfoot, and 9 with rigid flatfoot) participated in this study. A Motion Analysis System and a force plate were used to collect research data. The results showed that ankle dorsiflexion was significantly lower in subjects with rigid flatfoot than the in other groups. The amount of ankle eversion was significantly higher in subjects with rigid flatfoot than in the healthy group. Subjects with flexible flatfoot had significantly more knee valgus than other groups. According to the findings, it can be said that subjects with flexible flatfoot were exposed to knee injuries as subjects with rigid flatfoot, so it seems necessary to perform treatment in subjects with flexible flatfoot.

Keywords: Flat foot, Flexible, Rigid, Gait, Joint

-
1. Email: L.ghazaleh@Alzahra.ac.ir
 2. Email: yasin.hoseiny@gmail.com
 3. Email: ksharifmoradi@gmail.com