



Accepted Manuscript

Accepted Manuscript (Uncorrected Proof)

Title: Comparison of time domain variables of ground reaction force during the stance phase of running using unstable and ordinary shoes

Authors: H. mansoori¹, H. sadeghi², M. eslami³, R. memar⁴

1 .Department of Biomechanics and Sports Pathology, Khwarazmi University, Tehran, Iran.

2 .Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Khwarazmi University, Tehran, Iran.

3 .Sports Biomechanics, Mazandaran University, Iran.

4 Full Professor of Sports Biomechanics Department, Movement Sciences Research Institute, Kharazmi University, Tehran, Iran.

***Corresponding:** Heydar Sadeghi · Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Khwarazmi University, Tehran, Iran.

sadeghih@yahoo.com

To appear in: Sport Medicine Studies

Receive Date: 17 January 2023

Revise Date: 07 May 2023

Accept Date: 24 May 2023

First Publish Date: 24 May 2023

This is a “Just Accepted” manuscript, which has been examined by the peer-review process and has been accepted for publication. A “Just Accepted” manuscript is published online shortly after its acceptance, which is prior to technical editing and formatting and author proofing. Journal of Sport Medicine Studies provides “Just Accepted” as an optional service which allows authors to make their results available to the research community as soon as possible after acceptance. After a manuscript has been technically edited and formatted, it will be removed from the “Just Accepted” Website and published as a published article. Please note that technical editing may introduce minor changes to the manuscript text and/or graphics which may affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Please cite this article as:

Mansouri, H., Sadeghi, H., Elami, M., Memar, R. Comparison of time domain variables of ground reaction force during the stance phase of running using unstable and ordinary shoes. *Studies in Sport Medicine*, 2023; (): -. doi: 10.22089/smj.2023.14160.1646

نسخه پذیرفته شده پیش از انتشار

عنوان: مقایسه متغیرهای حوزه زمان نیروی عکس‌العمل زمین طی مرحله استقرار دویدن با استفاده از

کفش‌های ناپایدار و معمولی

نویسندگان: هما منصوری^۱، حیدر صادقی^{۲*}، منصور اسلامی^۳، رغد معمار^۴

۱. گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۲. دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۳. بیومکانیک ورزشی، دانشگاه مازندران، ایران.

۴. استاد تمام گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشکده علوم حرکتی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: حیدر صادقی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

ایمیل: sadeghih@yahoo.com

نشریه: مطالعات طب ورزشی

تاریخ دریافت: ۲۷ دی ۱۴۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۰۳ خرداد ۱۴۰۲

تاریخ اولین انتشار: ۰۳ خرداد ۱۴۰۲

این نسخه «پذیرفته شده پیش از انتشار» مقاله است که پس از طی فرآیند داوری، برای چاپ، قابل پذیرش تشخیص داده شده است. این نسخه در مدت کوتاهی پس از اعلام پذیرش به صورت آنلاین و قبل از فرآیند ویراستاری منتشر می‌شود. نشریه مطالعات طب ورزشی گزینه «پذیرفته شده پیش از انتشار» را به عنوان خدمتی به نویسندگان ارائه می‌دهد تا نتایج آنها در سریع‌ترین زمان ممکن پس از پذیرش برای جامعه علمی در دسترس باشد. پس از آنکه مقاله‌ای فرآیند آماده سازی و انتشار نهایی را طی می‌کند، از نسخه «پذیرفته شده پیش از انتشار» خارج و در یک شماره مشخص در وبسایت نشریه منتشر می‌شود. شایان ذکر است صفحه آرایی و ویراستاری فنی باعث ایجاد تغییرات صوری در متن مقاله می‌شود که ممکن است بر محتوای آن تاثیر بگذارد و این امر از حیطة مسئولیت دفتر نشریه خارج است.

لطفا این گونه استناد شود:

Mansouri, H., Sadeghi, H., Elami, M., Memar, R. Comparison of time domain variables of ground reaction force during the stance phase of running using unstable and ordinary shoes. *Studies in Sport Medicine*, 2023; (): -. doi: 10.22089/smj.2023.14160.1646

Abstract

According to the assertion made about the damaging role of running shoes as one of the 11 causes of injury seen in every 1000 hours of training, The purpose of this study was to compare the time domain variables of ground reaction force during the stance phase of running using unstable and ordinary shoes. 20 active females ran on a laboratory surface in a normal shoe with a flat sole and an ordinary shoe with a cradle-shaped sole at a speed of 2.5 m/s. Three-dimensional data of ground reaction forces during the stance phase of running were collected using a force plate at a sampling rate of 1000 Hz. The peak values of the ground reaction forces and their related time to peak, free moment peak, impulse and vertical instantaneous and average loading rates were calculated in Matlab. Paired t-test and Wilcoxon test were used to compare the dependent variables between the two conditions ($p \leq 0/05$). The time to reach the peak of passive vertical force and the time to reach the peak of braking force and the peak value of free moment peak during the stance phase of running with unstable shoes were significantly lower than with normal shoe, while the peak external force and the average and instantaneous loading rates of vertical force were significantly higher in unstable shoe compared to the ordinary shoe ($p \leq 0.05$). According to the findings of the research, since unstable shoes decrease vertical passive force peak time and increase vertical loading rates and create more shock associated with running injuries, it does not seem that using these types of shoes have an advantage for runners in preventing or treating injuries.

Keywords: Running - Unstable shoe – Ground reaction force – Time domain variables

چکیده

با توجه به ادعای مطرح شده در خصوص نقش آسیب‌رسان کفش‌های دویدن به عنوان یکی از علل ۱۱ گانه مشاهده صدمه در هر ۱۰۰۰ ساعت تمرین، هدف این مطالعه، مقایسه متغیرهای حوزه زمان نیروی عکس‌العمل زمین طی مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار و معمولی بود. ۲۰ زن جوان فعال با یک کفش معمولی با کفی صاف و یک کفش ناپایدار با کفی گهواره‌ای شکل با سرعت ۲/۵ متر بر ثانیه روی سطح آزمایشگاه دویدند. داده‌های سه بعدی نیروی عکس‌العمل زمین طی مرحله استقرار دویدن با استفاده از یک صفحه نیرو با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز جمع‌آوری شد و مقادیر اوج نیروهای عکس‌العمل زمین، زمان رسیدن به اوج آن‌ها، اوج گشتاور آزاد، ایمپالس و نرخ بارگذاری لحظه‌ای و متوسط نیروی عمودی توسط نرم افزار متلب محاسبه شدند. برای مقایسه متغیرهای وابسته بین دو شرایط، از آزمون‌های تی زوجی و ویلکاکسون استفاده شد ($P \leq 0.05$). زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی، زمان رسیدن به اوج نیروی ترمزی و مقدار اوج گشتاور آزاد طی مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی به‌طور معناداری کمتر بود، درحالی‌که اوج نیروی خارجی و نرخ بارگذاری متوسط و لحظه‌ای نیروی عمودی با کفش ناپایدار در مقایسه با کفش معمولی به‌طور معناداری بیشتر بود ($P \leq 0.05$). با توجه به یافته‌های پژوهش، از آنجایی‌که کفش‌های ناپایدار باعث کاهش زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی و افزایش نرخ‌های بارگذاری عمودی و ایجاد شوک بیشتر مرتبط با آسیب‌های دویدن می‌شوند، به نظر نمی‌رسد استفاده از این نوع کفش‌ها مزیتی برای دوندگان در پیشگیری یا درمان آسیب‌ها داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: دویدن، کفش ناپایدار، نیروی عکس‌العمل زمین، متغیرهای حوزه زمان

مقدمه

دویدن تفریحی یکی از بالاترین مقادیر مشارکت را در بین همه فعالیت‌های بدنی در سراسر جهان دارد (۱). گزارش شده است که ۲۴ تا ۶۷ درصد از دوندگان تفریحی متحمل آسیب می‌شوند که از دویدن آنها برای حداقل یک هفته در هر سال جلوگیری می‌کند (۲). ضمن اینکه شواهد نشان می‌دهند که زنان تقریباً دو برابر بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از دویدن هستند (۳). نیروی عکس‌العمل زمین^۱ (GRF) در طول دویدن با هر ضربه پا معادل ۲-۴ برابر وزن بدن در جهت عمودی بر پا وارد می‌شود. اگرچه این نیرو تا حدی توسط ساختار مفصل و بافت نرم تقلیل داده می‌شود، ولی نیروی قابل توجهی به استخوان‌های اندام تحتانی منتقل می‌شود (۴). یک دونده معمولی طی دویدن ۵ کیلومتری، تقریباً ۳۰۰۰ بار با زمین تماس برقرار می‌کند و GRF بارهای ۲ تا ۳ برابر وزن بدن را به هر پا وارد می‌کند. این بارگیری‌های مکرر اندام تحتانی امواج ضربه‌ای را به پا می‌فرستند و با آسیب‌های ناشی از پرکاری در دوندگان همراه شده‌اند (۵). آسیب‌هایی مانند شکستگی‌های استرسی، استرس داخلی درشتنی (شین اسپلینت)، نرمی کشکک زانو، فاسیای کف پا، و تاندونیت آشیل همگی می‌توانند به عنوان آسیب‌های ناشی از پرکاری طبقه‌بندی شوند (۶).

متغیرهای کینتیکی مرتبط با GRF در حوزه زمان که در برخی از مطالعات به منظور شناسایی فاکتورهای خطر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند عبارتند از: مقادیر اوج مؤلفه‌های GRF (۷-۹)، زمان رسیدن به اوج (۷)، نرخ بارگذاری^۲ نیرو (۱۰، ۱۱) و سطح زیر منحنی نیروهای عکس‌العمل (ضربه یا ایمپالس^۳) (۱، ۱۲). نرخ تغییرات نیرو یا نرخ بارگذاری برای متخصصین بیومکانیک ورزش و تمرین مورد توجه است که شوک اعمال شده به دستگاه عضلانی اسکلتی طی ضربه مربوط به تماس پاشنه را نشان می‌دهد (۵). نرخ بارگذاری متوسط از طریق تقسیم تغییرات کلی نیرو بر تغییرات کلی زمان در طول ۲۰ تا ۸۰ درصد از دوره بین تماس پا تا اوج برخورد عمودی قابل محاسبه است و نرخ بارگذاری لحظه‌ای، میزان اوج نرخ بارگذاری رخ داده در طول ۲۰ تا ۸۰ درصد از دوره بین تماس پا تا اوج برخورد عمودی است که در آن دوره رخ داده است (۱۰). این بخش از منحنی به دلیل اینکه خطی‌ترین قسمت از بارگیری اولیه منحنی است، انتخاب می‌شود. محققان با بررسی تفاوت‌های ساختاری و مکانیک دویدن بین دوندگان با سابقه ابتلا به شکستگی استرسی درشتنی^۴ و دوندگان بدون این سابقه، به بررسی عوامل بیومکانیکی مرتبط با آسیب شکستگی استرسی درشتنی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مقادیر نرخ بارگذاری لحظه‌ای و متوسط، شوک درشتنی و همچنین گشتاور آزاد در افرادی که سابقه ابتلا به آسیب شکستگی استرسی درشتنی داشتند، بیشتر است و شکستگی استرسی در دوندگان، مرتبط با افزایش متغیرهای مربوط به بارگیری پویا است (۱۰). بنابراین، کاهش نرخ بارگذاری عمودی و گشتاور آزاد طی گام برداری، می‌تواند احتمال ایجاد آسیب‌های اندام تحتانی در افراد مستعد را به حداقل برساند.

پیشنهاد شده است که کفش‌های دویدن می‌توانند یکی از دلایل آسیب‌های دویدن باشد (۱۳، ۱۴). کاهش آسیب‌ها و بهبود عملکرد با استفاده از کفش‌های دویدن، هم در صنایع ورزشی و هم در دانشگاه‌ها مورد توجه قرار گرفته است (۱۴-۱۶). بنابراین، توسعه کفش دویدن بر کاهش بار اندام تحتانی و همچنین بر افزایش عملکرد متمرکز شده است. در سال‌های اخیر، چندین طرح کفش ناپایدار به عنوان ابزار کاربردی یا درمانی توسعه یافته است (۱۷-۲۰). کفش با کفی گهواره‌ای (MBT^۵)

1. Ground Reaction Force

2. Loading Rate

3. Impulse

4. Tibial Stress Fracture

1. Masai Barefoot Technology

اولین کفش ناپایداری بود که در مقادیر زیاد تولید و تجاری شد. برخی از مطالعات تغییرات متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی را در حین راه رفتن (۲۱، ۲۲) و دویدن (۱۲، ۱۸، ۲۳) با کفش‌های ناپایدار گزارش کرده‌اند.

نتایج یک مطالعه در مورد تغییرات کینتیکی و کینماتیکی دویدن در یک مسیر ۱۱ متری با مداخله یک کفش ناپایدار روی ۱۹ آزمودنی سالم، نشان داد که با پوشیدن این کفش طی دویدن کاهش معنادار اوج GRF داخلی و قدامی در زمان جدا شدن پا از زمین به وجود می‌آید و زاویه دورسی فلکشن بیشتر و گشتاور پلانتر فلکشن و دورسی فلکشن کمتری در مچ پا ایجاد می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد شد که با تغییرات ایجاد شده در انحنای کف کفش این امکان وجود دارد که در حرکات و نیروهای متحمل شده توسط مچ پا تغییرات اساسی و در حرکات و گشتاورهای زانو یا ران تغییرات جزئی به وجود آید و تغییرات هندسی کفی کفش ممکن است بدون اینکه خطری برای مفاصل زانو و ران داشته باشد، فرصت‌های درمانی بالقوه‌ای برای وضعیت‌های مچ پا عرضه کند (۲۳). در مطالعه دیگر، محققان با مقایسه نیروهای افقی و عمودی عکس-العمل زمین و فعالیت عضلانی طی راه رفتن با کفش ناپایدار MBT، کفش استاندارد و پابرهنه بدون تمرین قبلی به این نتیجه رسیدند که نیروهای عمودی طی راه رفتن با کفش MBT در مقایسه با کفش استاندارد و پابرهنه افزایش یافته است. این نتایج افزایش میزان بار دریافت شده توسط سیستم اسکلتی عضلانی را طی راه رفتن با کفش ناپایدار MBT به ویژه هنگام تماس پاشنه پا نشان می‌دهد. (۲۴).

از آنجایی که یکی از عوامل تأثیرگذار بر مکانیک دویدن کفش است (۱۴) و اکثر مردم با کفش می‌دوند، روشی قابل دسترس برای تغییر الگوهای گام‌برداری طی دویدن فراهم می‌کند. با وجود اینکه ادبیات پژوهش در مورد کفش‌های ناپایدار رو به رشد است، اما اطلاعات آماری و علمی که مکانیسم و تأثیر کفش ناپایدار را طی دویدن نشان دهد، محدود است. بعنوان مثال، نرخ بارگذاری نیروی عکس‌العمل زمین که یکی از متغیرهای کینتیکی مرتبط با آسیب‌های دویدن است، طی دویدن با کفش ناپایدار هنوز به خوبی درک نشده است. علاوه بر این، با توجه به اینکه آسیب‌های مرتبط با دویدن در زنان شایع‌تر است (۳، ۱۳)، بنابراین بررسی تأثیر کفش‌های ناپایدار بر مقادیر اوج مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین، زمان رسیدن به اوج نیروها، برآیند نیروها، گشتاور آزاد و سرعت‌های بارگیری ممکن است در پیشگیری از آسیب‌های دویدن در جامعه زنان مؤثر باشد. بر این اساس، با در نظر گرفتن این فرض که کفش ناپایدار می‌تواند برخی از متغیرهای نیروی عکس‌العمل زمین که مرتبط با آسیب‌های دویدن هستند، تغییر داده و عواملی که در ایجاد این آسیب‌ها نقش ایفا می‌کنند را تعدیل کند، هدف از این مطالعه مقایسه متغیرهای حوزه زمان نیروی عکس‌العمل زمین در زنان فعال طی مرحله استقرار دویدن با استفاده از کفش ناپایدار و معمولی بود.

مواد و روش‌ها

جامعه آماری این پژوهش را دانشجویان دختر رشته تربیت بدنی مقطع کارشناسی دانشگاه مازندران تشکیل دادند (حدود ۱۰۰ نفر). از درون جامعه آماری با استفاده از نرم افزار جی‌پاور^۶ با توان آماری ۰/۹، ۲۰ نفر آزمودنی با میانگین سن $21 \pm 2/30$ سال، میانگین قد $160 \pm 4/56$ سانتی‌متر و میانگین جرم $59 \pm 7/19$ کیلوگرم که ملاک‌های شرکت در آزمون پژوهش را داشتند (داشتن سابقه حداقل ۶ ماه تمرین ورزشی منظم ۲ جلسه در هفته در رشته ورزشی آمادگی جسمانی، عدم داشتن هرگونه ناهنجاری و آسیب دیدگی در اندام تحتانی از قبیل آسیب رباطها، استئوآرتریت، اسپرین، آسیب‌های عضلانی و تاندونی، آسیب‌های استخوانی از قبیل شکستگی و شکستگی استرسی طی ۱۲ ماه قبل از شروع این مطالعه)، انتخاب شدند. همچنین پای برتر همه آزمودنی‌ها پای راست بوده و سبیل پای آن‌ها یکسان بود. آزمودنی‌ها پس از اطلاع از روند پژوهش، فرم رضایت‌نامه شرکت در آزمون و فرم پرسشنامه‌ای شامل مشخصات فردی، تاریخچه فعالیت ورزشی، سلامت فردی و سابقه آسیب اندام تحتانی تکمیل و امضا کردند.

کفش ناپایدار مورد استفاده در این پژوهش کفش پرفکت استپس^۷ ساخت کشور ویتنام و کفش معمولی، کفش ناپ^۸ ساخت کشور چین بود (شکل ۱). کفش ناپایدار شکل هندسی متفاوتی از کفش معمولی داشته و دارای یک کفی گهواره‌ای شکل در جهت قدامی - خلفی می‌باشد که این کفی گهواره‌ای شکل باعث ایجاد یک سطح اتکای ناپایدار می‌شود. در مقابل، کفش معمولی دارای یک کفی صاف بوده و سطح اتکای پایداری را فراهم می‌کند. هر دو کفش از لحاظ جرم، جنس رویه و جنس کفی تا حد زیادی مشابهت داشتند. جرم کفش ناپایدار ۲۷۵ گرم و جرم کفش معمولی ۲۹۰ گرم بود. همچنین، رویه کفش‌ها از جنس پلی اورتان و پوشش مشبک، و کفی آن‌ها از جنس مواد رزین بود.

آزمون‌های پژوهش شامل دویدن با کفش ناپایدار و کفش معمولی در یک مسیر مستقیم به طول ۱۰ متر در آزمایشگاه دانشگاه مازندران بود. یک صفحه نیرو با فرکانس نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز ساخت شرکت کیستلر سوئیس در راستای دویدن آزمودنی‌ها در کف آزمایشگاه و در وسط مسیر به نحوی که آزمودنی‌ها قادر به تشخیص آن نبودند، تعبیه شده بود. قبل از اجرای هر آزمون، از آزمودنی‌ها خواسته شد که بدن خود را گرم کرده و چندین بار آزمون را تمرین کنند. آزمونگر در حین تمرین و گرم کردن آزمودنی‌ها، بدون اینکه نظر آزمودنی جلب شود، با در نظر گرفتن روش گام برداری‌ها، فاصله آزمودنی‌ها تا صفحه نیرو را به ترتیبی تنظیم نمود که در مسیر دویدن پای راست آزمودنی‌ها روی صفحه نیرو قرار گیرد. زمانی که پای راست آزمودنی در تماس با صفحه نیرو قرار گرفت، داده‌های مربوط به سه مؤلفه عمودی، قدامی - خلفی و داخلی - خارجی نیروی عکس‌العمل زمین با فرکانس نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز ثبت شدند. آزمون دویدن برای هر آزمودنی سه بار با کفش ناپایدار و سه بار با کفش معمولی تکرار شد و میانگین داده‌های ثبت شده توسط صفحه نیرو برای هر آزمودنی با هر کفش مورد بررسی قرار گرفت. برای کنترل سرعت دویدن آزمودنی‌ها از یک دستگاه مترونوم دیجیتال با ضرب آهنگ ۱۴۰ ضرب در دقیقه (۲،۵ متر بر ثانیه) استفاده شد (۲۵).

داده‌های خام کینتیک با استفاده از تکنیک باترورث مرتبه چهارم با فرکانس برشی ۲۰ هرتز فیلتر شدند. برای مقایسه بین آزمودنی‌ها، داده‌های مربوط به نیروی عکس‌العمل زمین نسبت به وزن بدن افراد نرمال‌سازی شدند و همچنین زمان استقرار دویدن به ۱۰۰ درصد نرمال سازی شد. کلیه محاسبات مربوط به فیلتر کردن، نرمال سازی داده‌ها، تعیین متغیرهای وابسته و رسم نمودارها توسط نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۸ انجام شد.

برای محاسبه ایمپالس نیروهای عکس‌العمل زمین در سه جهت از روش انتگرال‌گیری ذوزنقه‌ای بصورت زیر استفاده گردید (۲۶):

$$Imp = \Delta t \left(\left(\frac{F_1 + F_n}{2} \right) + \sum_{i=2}^{n-1} F_i \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در اینجا: Δt تفاضل زمان (S)، F_1 اولین مقدار نیرو (BW)، F_n n امین مقدار نیرو (BW) و F_i نیرو در نقطه i (BW) هستند.

نرخ‌های بارگذاری بین ۲۰ تا ۸۰ درصد از مرحله تماس پا تا اوج ضربه (عمودی) محاسبه شدند. نرخ بارگذاری عمودی همان شیب قسمت اول منحنی نیروی عمودی عکس‌العمل زمین - زمان (بین مرحله تماس پا و اوج نیروی غیر فعال عمودی) است. نرخ بارگذاری متوسط ($VALR^9$) از طریق تقسیم تغییرات نیرو بر تغییرات زمان، و نرخ بارگذاری لحظه‌ای ($VILR^{10}$)

1. Perfect Steps

2. Knup

9. Vertical Average Loading Rate

10. Vertical Instantaneous Loading Rate

از تقسیم میزان حداکثر نرخ بارگذاری نیرو بر زمان رسیدن به آن نیرو محاسبه شد. فرمول‌های محاسبه نرخ بارگذاری متوسط و لحظه‌ای به صورت زیر است:

$$VALR = \Delta f / \Delta t \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$VILR = (f_{i+1} - f_{i-1}) / 2(t_{i+1} - t_{i-1}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در اینجا: Δf تفاضل نیروی عمودی در لحظه ۸۰ درصدی و ۲۰ درصدی مرحله تماس پا تا نقطه ی اوج برخورد عمودی (BW)، Δt تفاضل زمان در لحظه ۸۰ درصدی و ۲۰ درصدی مرحله تماس پا تا نقطه اوج برخورد عمودی (S)، f_{i+1} نیروی عمودی در نقطه $(BW)_{i+1}$ ، f_{i-1} نیروی عمودی در نقطه $(BW)_{i-1}$ ، t_{i+1} زمان در نقطه $(S)_{i+1}$ ، t_{i-1} زمان در نقطه $(S)_{i-1}$ هستند.

برای تحلیل اطلاعات از روشهای آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌های مربوط به دو نوع کفش از آزمون شاپیرو - ویلک و برای مقایسه متغیرهای زمانی نیروی عکس‌العمل زمین و تعیین معنادار بودن تفاوت شاخص‌ها طی دویدن با دو نوع کفش از آزمون تی زوجی در صورت نرمال بودن داده‌ها و از آزمون ویلکاکسون در صورت غیرنرمال بودن داده‌ها در سطح معناداری آماری $p \leq 0.05$ استفاده شد. تمامی آزمون‌های آماری با استفاده از نرم افزار اسپاس اس نسخه ۲۰ انجام شد.

نتایج

شاخص‌های مرکزی و پراکندگی مربوط به زمان رسیدن به اوج نیروهای عکس‌العمل زمین در جدول شماره ۱ و مقادیر اوج نیروها در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. نتایج پژوهش حاضر تفاوت معنادار زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی و نیروی ترمزی را طی دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی نشان داد به طوری که زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی و زمان رسیدن به اوج نیروی ترمزی کاهش معنادار پیدا کردند ($p=0.009$ و $p=0.000$) ولی در زمان رسیدن به اوج سایر مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p>0.050$). مقدار اوج نیروی خارجی طی دویدن با کفش ناپایدار افزایش معناداری را نشان داد ($p=0.000$) ولی در سایر مقادیر اوج نیروهای عکس‌العمل زمین بین دو شرایط کفش تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p>0.050$). نمودار نیروهای عکس‌العمل زمین در جهت عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی مربوط به یکی از آزمودنی‌ها طی مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار و کفش معمولی نشان داده شده است (شکل ۲).

جدول ۳ شاخص‌های مرکزی و پراکندگی اوج گشتاور آزاد، برآیند نیروها و ضربه نیروهای عکس‌العمل زمین در مسیر عمودی، قدامی-خلفی و داخلی-خارجی طی مرحله استقرار دویدن با کفش معمولی و کفش ناپایدار را نشان می‌دهد. مقدار اوج گشتاور آزاد طی دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی کاهش معنادار پیدا کرد ($p=0.046$)، ولی برای مقدار برآیند نیروها و ضربه نیروهای عکس‌العمل زمین طی دویدن با دو نوع کفش تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P \geq 0.05$). مقایسه نتایج مربوط به نرخ بارگذاری نیروی عمودی GRF نشان داد که در مقادیر نرخ بارگذاری متوسط و لحظه‌ای بین دو شرایط کفش ناپایدار و کفش معمولی تفاوت معناداری وجود دارد و در شرایط کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی با افزایش معنادار همراه است (به ترتیب $p=0.001$ و $p=0.001$) (شکل ۳).

بحث

هدف از این مطالعه مقایسه متغیرهای حوزه زمان GRF طی مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار و معمولی بود. پس از جمع‌آوری و محاسبات داده‌ها توسط نرم افزار اکسل و متلب، متغیرهای اصلی محاسبه شده و با استفاده از آزمون تی زوجی و

آزمون ویلکاکسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. یافته‌های حاصل در بررسی‌های انجام گرفته نشان داد که در شرایط کفش ناپایدار نسبت به شرایط کفش معمولی، زمان رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی و زمان رسیدن به اوج نیروی ترمزی به طور معناداری کاهش پیدا کردند. کاهش زمان رسیدن به اوج نیرو باعث افزایش نرخ بارگذاری می‌شود و با کوتاه شدن دوره زمانی که نیرو به بدن اعمال می‌شود شوک ضربه اندام تحتانی افزایش می‌یابد. گزارش داده شده است که هر چه زمان رسیدن به اوج نیرو کمتر باشد، میزان اثرگذاری نیرو بیشتر می‌شود (۲۷). باتوجه به خاصیت ویسکوالاستیکی بافت‌های بدن، زمان اعمال نیرو در بروز آسیب‌ها بسیار مهم است. در پژوهش‌های پس رویدادی روی دوندگان آسیب دیده و سالم نشان داده شده است که مدت زمان اعمال نیرو می‌تواند مفاصل را با سطوح بالاتری از نیروی اعمال شده همراه سازد (۲۱). تغییر حرکت مفصل مچ پا و سگمنت پا بعد از تماس اولیه پا طی دویدن با کفش ناپایدار ممکن است مسئول شدن دوره زمانی رسیدن به اوج نیروی غیرفعال عمودی (ضربه‌ای) و نیروی ترمزی در مقایسه با کفش معمولی باشد.

نتایج پژوهش حاضر افزایش معنادار مقدار اوج نیروی خارجی GRF را در شرایط کفش ناپایدار نسبت به شرایط کفش معمولی نشان داد ولی برای مقادیر اوج نیروی غیرفعال و فعال عمودی، نیروی ترمزی، نیروی پیشراننده و نیروی داخلی تفاوت معناداری مشاهده نشد. در مطالعات پیشین نیروی داخلی - خارجی معمولاً ثبات کم و تغییرات زیادی را در الگو و شکل نشان داده است که ممکن است به دلیل تفاوت در نحوه قرارگیری پا، وضعیت کفش و سطح محیطی طی دویدن باشد (۲۸). بخش اعظم یافته‌های مطالعات قبلی حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های GRF نشان داده‌اند که مقادیر پیک بزرگتری هنگام پوشیدن کفش‌های معمولی در مقایسه با کفش‌های ناپایدار وجود دارد (۲۹). شرکت‌های سازنده کفش‌های ناپایدار بیان کرده‌اند که کفش ناپایدار با اثر غلتکی که دارد می‌تواند میزان نیروی عمودی فعال را کاهش دهد (۲۱). با این وجود، نتایج پژوهش حاضر چنین تفاوتی را نشان نداد؛ هرچند میزان نیروی عمودی فعال در ادبیات پژوهشی شاخص آسیب شناخته نمی‌شود و بیشتر متغیر عملکردی است (۱۷).

برای پیشروی بدن در مرحله استقرار انتهایی، ایجاد یک نیروی پیش‌برنده لازم است. در مقایسه با کفش معمولی، دویدن با کفش ناپایدار تفاوت معناداری را در مقدار اوج نیروی پیشراننده نشان نداد. برخی از مطالعات کاهش معنادار گشتاور پلانتر مچ پا، توان منفی مچ پا و مؤلفه عمودی GRF را نشان دادند و نتیجه گیری کردند که کفش ناپایدار روی عملکرد کمکی گهواره‌ای جلوی پا که در اثر کفی گهواره‌ای شکل ایجاد می‌شود، اثرگذار است و ممکن است با کاهش پارامترهای کینتیک به عمل پیشروی به جلو کمک کند. بنابراین، کفش ناپایدار ممکن است برای افرادی که در مرحله جدا شدن شست پا یا پوش آف^{۱۱} توان کمتری دارند، مؤثر باشد (۲۱). یک کفی گهواره‌ای شکل فشار را به سمت جلوی پا انتقال می‌دهد و به عملکرد گهواره‌ای جلوی پا در مرحله پیش از نوسان کمک می‌کند. با این وجود، در پژوهش حاضر نتیجه‌ای مبنی بر اینکه کفش ناپایدار بر نیروی پیشراننده طی مرحله استقرار دویدن تأثیرگذار است یافت نشد. طبق یافته‌های این پژوهش، عدم وجود تفاوت معنادار در مقادیر اوج نیروی عمودی GRF، نیروی ترمزی، نیروی پیشراننده و نیروی داخلی طی دویدن با کفش ناپایدار و کفش کنترل، عدم تأثیر کفش ناپایدار را بر این متغیرهای کینتیک نشان می‌دهد.

در پژوهش حاضر مقدار اوج گشتاور آزاد طی دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی به طور معناداری کاهش پیدا کرد. گشتاور آزاد به عنوان میزان گشتاور وارد بر پا در محل مرکز فشار حول محور عمودی تعریف می‌شود (۲۶). محققان بیان کرده‌اند که گشتاور آزاد نسبت به نیروی عمودی عکس‌العمل زمین وابستگی بیشتری به تغییر شکل پیشروی درشتی طی گام برداشتن دارد (۳۰). بنابراین، با کاهش نرخ بارگذاری عمودی و گشتاور آزاد می‌توان احتمال ایجاد آسیب‌های اندام تحتانی در افراد مستعد را به حداقل رساند. در مقادیر نرخ بارگذاری لحظه‌ای و متوسط GRF عمودی افزایش معناداری طی مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی مشاهده شد. در پژوهش‌های گذشته طی راه رفتن با کفش‌های ناپایدار MBT اولین مقدار اوج نیروی عمودی و سرعت پذیرش وزن بیشتری نسبت به کفش‌های استاندارد یا شرایط پابره‌نه ایجاد

¹¹. Push Off

شد که افزایش بارگیری سیستم عضلانی اسکلتی را نشان می‌دهد (۲۴). مطالعات قبلی گزارش کردند که شوک درشتنی با نرخ بارگذاری GRF عمودی مرتبط است (۱). همچنین، محققان یک رابطه قوی بین نرخ بارگذاری GRF عمودی و اوج شتاب مثبت درشتنی گزارش کرده‌اند (۳۱) و با بررسی رابطه GRF با پارامترهای شتاب درشتنی طی دویدن با کفش‌های مختلف، نتیجه گرفتند که اوج شتاب درشتنی می‌تواند به خوبی با استفاده از نرخ بارگذاری عمودی و اوج نیروی افقی عکس-العمل زمین برآورد شود. با توجه به انحنایی که در راستای قدامی-خلفی در قسمت کف کفش ناپایدار وجود دارد، شکل کاملاً متفاوتی از یک کفش معمولی دارد. بنابراین، ممکن است نیروهای عکس‌العمل زمین و متعاقب آن نرخ‌های بارگذاری بارگیری تحت تأثیر این ویژگی‌ها قرار گیرند به ویژه به این دلیل که ممکن است گشتاور اندام دیستال و متعاقباً شتاب آن افزایش یابد. با توجه به فرمول محاسبه نرخ بارگذاری لحظه‌ای و متوسط (فرمول‌های ۲ و ۳)، فاکتورهای مؤثر بر نرخ بارگذاری، مقدار نیرو و مدت زمان اعمال نیرو می‌باشند. در الگوی دویدن افراد هنگام دویدن با کفش ناپایدار، با وجود اینکه در مقادیر اوج نیروی عمودی تغییر معناداری مشاهده نشد، شیب نمودار GRF عمودی نسبت به الگوی دویدن با کفش معمولی تغییر پیدا کرد، به طوری که شیب نمودار GRF عمودی در مرحله استقرار دویدن با کفش ناپایدار زودتر رخ داد و زمان رسیدن به اوج در مقایسه با کفش معمولی کوتاه‌تر بود. بنابراین، این الگوی بارگیری نشان دهنده ناتوانی کفش ناپایدار در جذب مقدار و سرعت شوک ضربه به اندام تحتانی است. در نتیجه، ممکن است منجر به افزایش ایجاد خطر آسیب‌های مرتبط با دویدن شود. مطالعات نشان داده‌اند که مقدار باری که در یک دوره زمانی بر بدن فرد اعمال می‌شود و مقدار ضربه وارده در دوره استقرار می‌تواند حائز اهمیت باشد (۱۷). با افزایش مدت زمان اعمال نیرو بار وارده به پا افزایش می‌یابد و با برخوردهای تکراری پا با زمین هنگام دویدن، خطر ایجاد و توسعه آسیب نیز افزایش می‌یابد. بدین منظور در مطالعه حاضر متغیرهای ضربه نیروی عمودی، قدامی-خلفی و خارجی-داخلی برای مقایسه اثرات کفش‌های ناپایدار و معمولی طی دویدن مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج پژوهش تفاوت معناداری را برای ضربه نیروهای عکس‌العمل زمین بین دو شرایط کفش نشان نداد. مطالعه حاضر اثرات فوری پوشیدن کفش ناپایدار و معمولی را بر متغیرهای زمانی GRF مورد بررسی و مقایسه قرار داد. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده اثر طولانی‌مدت کفش این کفش‌ها مورد بررسی قرار گیرد تا تأثیر سازگاری طولانی مدت با کفش بر متغیرهای مورد نظر مشخص گردند. همچنین، آزمودنی‌های این پژوهش همگی زنان سالم و فعال بودند که با سرعت متوسط دویدند. ممکن است نتایج متفاوتی در پی استفاده از این کفش‌ها برای افراد آسیب‌دیده و یا برای دویدن با سرعت‌های بالاتر مشاهده شود و ممکن است استنباط‌های دیگری برای زنان چاق و یائسه وجود داشته باشد.

نتیجه گیری

نتایج مطالعه نشان داد که کفش ناپایدار با کاهش زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی و افزایش شیب منحنی نیروی عمودی-زمان، موجب افزایش نرخ بارگیری لحظه‌ای و متوسط GRF عمودی می‌شود. با توجه به اینکه نرخ‌های بارگذاری نیروی عمودی از مهمترین متغیرهای کینتیکی مرتبط با آسیب‌های دویدن هستند و شوک اعمال شده به دستگاه اسکلتی عضلانی را نشان می‌دهند، لذا استفاده از کفش ناپایدار به دلیل کاهش زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی و در نتیجه افزایش نرخ بارگذاری نیروی عمودی، توانایی میزان جذب شوک کمتری را طی دویدن همراه دارد.

پیام مقاله

در پایان، از آنجاییکه در پژوهش حاضر نرخ‌های بارگذاری نیروی عمودی که نشان دهنده شوک اعمال شده به دستگاه اسکلتی عضلانی هستند، طی دویدن با کفش ناپایدار نسبت به کفش معمولی افزایش یافته‌اند؛ بنابراین می‌توان گفت کفش ناپایدار با ایجاد شوک بیشتر در مرحله استقرار دویدن ممکن است احتمال ایجاد آسیب‌های مرتبط با دویدن را افزایش دهد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از شرکت کنندگان در پژوهش و تمامی کسانی که ما را در اجرای این پژوهش یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

References

1. Napier C, MacLean CL, Maurer J, Taunton JE, Hunt MA. Kinetic risk factors of running-related injuries in female recreational runners. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(10):2164-72.
2. Bischof JE, Abbey AN, Chuckpaiwong B, Nunley JA, Queen RM. Three-dimensional ankle kinematics and kinetics during running in women. *Gait Posture*. 2010;31(4):502-5.
3. Sinclair J, Greenhalgh A, Edmundson CJ, Brooks D, Hobbs SJ. Gender differences in the kinetics and kinematics of distance running: implications for footwear design. *Int J Sports Sci and Eng*. 2012;6(2):118-28.
4. Bennell K, Crossley K, Jayarajan J, Walton E, Warden S, Kiss ZS, et al. Ground reaction forces and bone parameters in females with tibial stress fracture. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(3):397-404.
5. Laughton CA, Davis IM, Hamill J. Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. *J Appl Biomech*. 2003;19(2):153-68.
6. Hreljac A, Marshall RN, Hume PA. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(9):1635-41.
7. Jafarnezhadgero AA, Farahpour N, Damavandi M. The immediate effects of arch support insole on ground reaction forces during walking. *J Rehabil Sci*. 2015;11(3):172-81.
8. Sadeghi H, Mousavi S, Ghasempur H, Nabavinik H. A Comparison Of The Vertical Ground Reaction Force Duringforward And Backward Walking In Athletes With Ankle Sprain. 2013. *J Mod Rehabil*. 2013;7(1):1-7.
9. Yu L, Mei Q, Xiang L, Liu W, Mohamad NI, István B, et al. Principal component analysis of the running ground reaction forces with different speeds. *Front Bioeng Biotechnol*. 2021;9:629809.
10. Milner CE, Ferber R, Pollard CD, Hamill J, Davis IS. Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(2):323.
11. Sahebi F, Eslami M, Shirzad E. Comparison of Rate of Loading and Frequency Contents of Impact Force between Dominant and Non-Dominant Leg during Anticipated and Unanticipated Sidestep Cutting Tasks. *Res Sport Med*. 2017;9(21):131-48.
12. Eslami M, Hoseini Nejad S, Gandomkar A, Jahedi V. Effect of unstable shoes on ground reaction force parameters during stance phase of running. *J Res Sport Med and Tech*. 2013;11(6):90-101.
13. Braunstein B, Arampatzis A, Eysel P, Brüggemann G-P. Footwear affects the gearing at the ankle and knee joints during running. *J Biomech*. 2010;43(11):2120-5.
14. Agresta C, Giacomazzi C, Harrast M, Zandler J. Running Injury Paradigms and Their Influence on Footwear Design Features and Runner Assessment Methods: A Focused Review to Advance Evidence-Based Practice for Running Medicine Clinicians. *Front Sports Act Living*. 2022; 9:4:815675.

15. Sun X, Lam W-K, Zhang X, Wang J, Fu W. Systematic review of the role of footwear constructions in running biomechanics: implications for running-related injury and performance. *J Sports Sci Med*. 2020;19(1):20.
16. Hong Y, Wang L, Li JX, Zhou JH. Changes in running mechanics using conventional shoelace versus elastic shoe cover. *J Sports Sci*. 2011;29(4):373-9.
17. Nigg BM, G KET, Federolf P, Landry SC. Gender differences in lower extremity gait biomechanics during walking using an unstable shoe. *Clin Biomech*. 2010;25(10):1047-52.
18. Trama R, Blache Y, Hautier C. Effect of rocker shoes and running speed on lower limb mechanics and soft tissue vibrations. *J Biomech*. 2019;82:171-7.
19. Hoitz F, Mohr M, Asmussen M, Lam W-K, Nigg S, Nigg B. The effects of systematically altered footwear features on biomechanics, injury, performance, and preference in runners of different skill level: a systematic review. *Footwear Sci*. 2020;12(3):193-215.
20. Willwacher S. Running shoes: injury protection and performance enhancement. *Handbook of human motion*. 2017;432:1613-28.
21. Taniguchi M, Tateuchi H, Takeoka T, Ichihashi N. Kinematic and kinetic characteristics of Masai Barefoot Technology footwear. *Gait Posture*. 2012;35(4):567-72.
22. Ahmadi Ganjeh S, Yazdani Charati J, Hoseininejad SE. The effect of unstable Shoe on Kinetic parameters associated with Lower limbs during walking among healthy male students. *Iran J Ergon*. 2019;6(4):37-45.
23. Boyer KA, Andriacchi TP. Changes in running kinematics and kinetics in response to a rockered shoe intervention. *Clin Biomech*. 2009;24(10):872-6.
24. Sacco ICN, Sartor CD, Cacciari LP, Onodera AN, Dinato RC, Pantaleão E, et al. Effect of a rocker non-heeled shoe on EMG and ground reaction forces during gait without previous training. *Gait Posture*. 2012;36(2):312-5.
25. Hobara H, Sato T, Sakaguchi M, Nakazawa K. Step frequency and lower extremity loading during running. *Int J Sports Med*. 2012;33(04):310-3.
26. Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey S. Research methods in biomechanics: Human kinetics; 2013.
27. Kulin RM, Jiang F, Vecchio KS. Effects of age and loading rate on equine cortical bone failure. *J. Mech Behav Biomed. Mater*. 2011;4(1):57-75.
28. Seeley MK, Evans-Pickett A, Collins GQ, Tracy JB, Tuttle NJ, Rosquist PG, et al. Predicting vertical ground reaction force during running using novel piezoresponsive sensors and accelerometry. *J Sports Sci*. 2020;38(16):1844-58.
29. de Sousa A. S. P. Biomechanical Analysis of Human Movement and Postural Control based on Multifactorial Correlation and Clinical Implications (Doctoral dissertation, Universidade do Porto) .2013.
30. Yang P-F, Sanno M, Ganse B, Koy T, Brüggemann G-P, Müller LP, et al. Torsion and antero-posterior bending in the in vivo human tibia loading regimes during walking and running. *PloS one*. 2014;9(4):e94525.
31. Milner CE, Hamill J, Davis I. Are knee mechanics during early stance related to tibial stress fracture in runners? *Clin Biomech*. 2007;22(6):697-703.