طالعات طب ورزشی شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۳۹۳، صص ۵۴-۴۳

تأثیر کفش ورزشی با زیرۀ نانوسیلیکا بر بارگیری عمودی و بزرگی نیروی‌های عمودی و قدامی–خلفی عکس‌العمل زمین در فاز اتکای دویدن

مطهره حسینی‌نژاد[۱]، منصور اسلامی[۲]، موسی قائمی[۳]

۱. کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی، ابواب جمعی اداره آموزش و پرورش استان فارس*
۲. استادیار دانشگاه مازندران
۳. استاد دانشگاه مازندران

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

استفاده از مواد جدید فناوری نانو در زیرۀ کفش که بتواند بر نیروهای عکس‌العمل زمین در فاز اتکای دویدن تأثیر بگذارد هنوز بررسی نشده است. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر کفش ورزشی با زیرۀ کامپوزیت نانوسیلیکا و ترموپلاستیک الاستومر بر میانگین نیروی‌های فعال، غیرفعال، پیش‌روندگی، ترمزی و بارگیری عمودی در مقایسه با کفش ورزشی با زیرۀ پلی وینیل کلراید (پی‌وی‌سی) در فاز اتکای دویدن است. ۱۵ آزمودنی مرد پس از پوشیدن دو نوع کفش با زیره‌های کامپوزیت نانو و پی‌وی‌سی با سرعت ۰/۲ ± ۳/۵ متر بر ثانیه روی تختۀ نیروسنج دویدند. میانگین نیروی عمودی و قدامی-خلفی عکس‌العمل زمین و بارگیری عمودی، با استفاده از آزمون تی همبسته تجزیه و تحلیل شد (α≤۰/۰۵). میانگین نیروهای فعال، غیرفعال، پیش‌روندگی و بارگیری‌عمودی در کفش کامپوزیت نانو به‌طور معناداری بیشتر از کفش پی‌وی‌سی بود (α≤۰/۰۵). همچنین میانگین نیروهای فعال، غیرفعال، پیش‌روندگی و بارگیری‌عمودی هنگام استفاده از کفش کامپوزیت نانو به ترتیب ۰/۷٪، ۳/۷۴٪، ۲/۰۹٪ و ۶/۰۶٪ افزایش پیداکرد. استفاده از نانو ذرات سیلیکا با ایجاد سختی ۷۰A در زیرۀ کفش کامپوزیت نانو در مقایسه با کفش پی‌وی‌سی با سختی ۶۵A افزایش معنادار میانگین نیروی عمودی عکس‌العمل زمین و میانگین نیروی پیش‌روندگی را در پی داشت. این افزایش ممکن است به‌دلیل خاصیت استحکام‌کششی ایجادشده در زیرۀ کفش توسط نانو ذرات سیلیکا باشد که می‌تواند اجرای ورزشی را نیز بهبود بخشد. با وجود این، افزایش بارگیری عمودی در اثر استفاده از این نوع کفش ممکن است دوندگان را مستعد آسیب‌های حاصل از دویدن کند.

واژگان کلیدی: زیرۀ نانوسیلیکا، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، نیروی قدامی-خلفی عکس‌العمل زمین، بارگیری عمودی

*نویسنده مسئول Email: mthr.hosseini@gmail.com

مقدمه

پژوهش‌های سال‌های اخیر نشان‌داده‌اند که سالانه ۳۵ تا ۵۶ درصد دوندگان طی دویدن متحمل آسیب می‌شوند. پژوهشگران معتقدند تکنیک، سطوح و کفش‌های دویدن می‌توانند از دلایل آسیب‌های دویدن باشند (۱). هنگام دویدن دامنهٔ نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بین ۲/۵ تا ۲/۸ برابر وزن بدن است که از طریق کفش به بدن منتقل می‌شود (۲)؛ بنابراین، کفش نقش مهمی در جذب و تعدیل این نیروها دارد.

محققان طی دو دههٔ گذشته برای کاهش آسیب و بهبود اجرا بر تغییر طراحی و مواد سازندهٔ کفش‌های دویدن متمرکز شده‌اند. جنس زیرهٔ کفش[1] عاملی مؤثر است که ممکن است با توجه به مواد سازندهٔ آن بر سینتیک و سینماتیک دویدن تأثیرگذارباشد (۳،۴). نتایج برخی تحقیقات اخیر بیانگر این است که استفاده از کفش‌هایی با زیره و رویهٔ متفاوت بر مقادیر متغیرهای بیومکانیک وابسته به آسیب دویدن مانند اورژن[2] پا و چرخش داخلی درشت‌نی[3] بی‌تأثیراست (۱،۵)؛ در نتیجه محققان به سمت کفش‌هایی با رویهٔ یکسان و زیرهٔ متفاوت سوق داده‌شدند و با تغییر در مواد و هندسهٔ کفش به بررسی این متغیرها پرداختند. مطالعات اندکی تأثیر جنس زیرهٔ کفش را بر سینتیک و سینماتیک اندام تحتانی بررسی‌کرده‌اند و از طرفی، نتایج این مطالعات نشان از عدم توافق پژوهشگران در مورد تأثیر کفش و جنس زیرهٔ آن بر نیروی عکس‌العمل زمین بود (۱۱-۶)؛ بنابراین در حال حاضر جنس زیرهٔ کفشی که بتواند بر متغیرهای وابسته به آسیب دویدن و بهبود اجرا تأثیر بگذارد هنوز مشخص‌نشده‌است.

لاستیک کربنی[4]، لاستیک استیرن بوتادین[5]، لاستیک میکروسلولی[6]، اتیل وینیل استات[7]، پلی اورتان[8]، پلی وینیل کلراید[9] و هایترل[10] ترکیباتی هستند که در ساخت

1. Shoe outsole
2. Eversion
3. Tibia internal rotation
4. Carbon rubber
5. Styrene-butadiene rubber (SBR)
6. Microcellular-rubber
7. Ethyt vinyl acetate (EVA)
8. Polyurethane (PU)
9. Polyvinyl chloride (PVC)
10. Hytrel

زیرهٔ کفش استفاده می‌شود (۱۲). بعضی از این مواد ایراداتی دارند؛ مانند وزن زیاد، استحکام کم، سایش و هزینهٔ زیاد؛ به همین دلیل شناسایی و استفاده از مواد جدید در زیرهٔ کفش که قابلیت بیشتری در مقایسه با مواد پیشین داشته‌باشند و باعث بهبود خواص مواد و همچنین تأثیر ویژه بر عوامل بیومکانیکی وابسته به آسیب و بهبود اجرا شوند، در صنعت ساخت کفش ورزشی اهمیت به‌سزایی دارد.

فناوری نانو[1] در دو دههٔ اخیر به پیشرفت‌های فراوانی در فنّاوری تجهیزات و مواد با ابعاد بسیار کوچک دست یافته‌است و به سوی تحولی فوق‌العاده در حال حرکت است که تمدن بشری را تا پایان این قرن دگرگون‌خواهدکرد. تاکنون، شرکت آدیداس با استفاده از نانولوله‌های کربنی در زیرهٔ کفش موفق به کاهش وزن و کاهش ارتفاع زیرهٔ کفش شده‌است. این شرکت مدعی است علت اصلی موفقیت دونده‌ای که مدال نقرهٔ المپیک ۲۰۰۸ را کسب‌کرد، استفاده از کفش ورزشی با زیرهٔ نانولولهٔ کربنی بوده‌است (۱۳)، با این حال، پژوهش علمی در این زمینه انجام نشده است. در نظر گرفتن خصوصیات نانوسیلیکا[2] و تأثیر آن بر زیرهٔ کفش از نکات قابل توجه است. نانوسیلیکا قدرت کششی[3] بسیار زیادی دارد (۱۴) که باعث می‌شود استحکام کششی زیرهٔ کفش افزایش یابد. افزایش استحکام کششی ممکن است علاوه بر تعدیل و جذب نیروهای عکس‌العمل زمین، باعث افزایش انرژی کششی ذخیره‌شده در کفش شود و عملاً انرژی بیشتری از طریق کفش تأمین و به بدن منتقل کند. از این طریق کفش ممکن است به‌عنوان منبع جذب نیروی خارجی و تولید انرژی در نظرگرفته‌شود که سبب افزایش قابلیت ورزشکار در حین اجرا خواهدشد.

با توجه به اهمیت موضوع و نتیجه‌گیری غیرقطعی از پژوهش‌های پیشین و اینکه پژوهشی راجع به تأثیر نانوسیلیکا در زیرهٔ کفش‌های ورزشی بر متغیرهای بیومکانیکی مرتبط با آسیب و بهبود اجرای ورزشکاران انجام نشده‌است، محقق در نظردارد به این پرسش پاسخ‌دهد که آیا استفاده از کفش ورزشی با زیرهٔ نانوسیلیکا در مقایسه با

1. Nano technology
2. Nanosilica
3. Tensile strength

کفش‌های رایج با زیرهٔ پی‌وی‌سی بر نیروی عمودی، قدامی-خلفی عکس‌العمل زمین و بارگیری عمودی در فاز اتکای دویدن تأثیرگذاراست.

روش پژوهش

روش پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی است. از میان دانشجویان مرد تربیت‌بدنی، ۱۵ نفر فرد سالم و بدون سابقهٔ آسیب‌دیدگی اندام تحتانی با میانگین سن ۳ ± ۲۴ سال، قد ۵ ± ۱۷۶ سانتی‌متر و وزن ۸ ± ۶۹ کیلوگرم به‌طور تصادفی و در دسترس به‌عنوان نمونهٔ آماری انتخاب شدند. کلیهٔ اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه بیومکانیک دانشگاه مازندران انجام شد. برای اندازه‌گیری تغییرات نیروهای عکس‌العمل زمین از صفحهٔ نیروسنج کمپانی کیستلر[1] با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز استفاده‌شد.

در این پژوهش از دو نوع کفش با سختی و زیرهٔ متفاوت استفاده شد. مقیاس اندازه‌گیری سختی کفش‌ها بر اساس شورآ[2] بود. کفش اول، جنس زیرهٔ پلی وینیل کلراید (PVC) با سختی ۶۵A و کفش دوم، زیرهٔ کامپوزیت نانو سیلیکا و ترموپلاستیک الاستومر [3] (TPEN) با سختی ۷۰A بود. آزمودنی‌ها پس از پوشیدن کفش و پنج دقیقه گرم کردن با سرعت ۰/۲ ± ۳/۵ متر بر ثانیه در مسیر ۱۰ متری روی صفحه نیروسنجی دویدند که هم‌سطح با زمین قرارگرفته و از دید دونده مخفی بود. برای هر آزمودنی سه تلاش موفق ثبت و از میانگین آن‌ها برای محاسبهٔ داده‌ها استفاده‌شد. شرایط تلاش موفق، اجرای الگوی پنجه-پاشنه و رعایت سرعت بود. کنترل سرعت، با توجه به خطی بودن حرکت با استفاده از زمان (نمودار نیرو-زمان نیروی عکس‌العمل زمین) و مسافت اجرای حرکت محاسبه‌شد. فاصلهٔ استراحتی بین اجرای آزمون با کفش PVC و کفش TPEN ۵ دقیقه بود. از طرفی، به‌دلیل تأثیر خستگی آزمودنی بر اجرای آزمون، ترتیب استفاده از کفش برای هر آزمودنی توسط آزمونگر کنترل شد. متغیرهای وابستهٔ تحقیق عبارت بودند از میانگین نیروی فعال[4]، میانگین نیروی غیرفعال[5] عمودی، میانگین نیروی

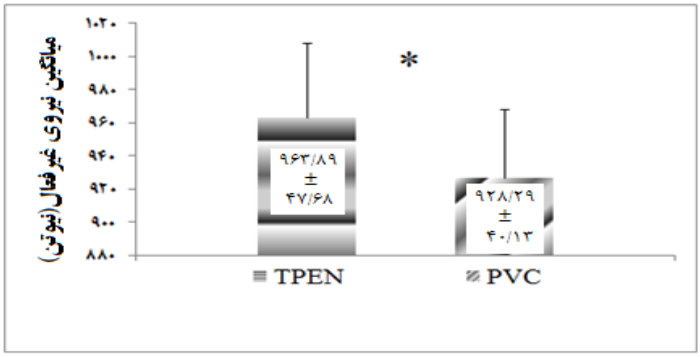
1. Kistler
2. shore A
3. Thermo plastics elastomer and nanosilica composite (TPEN)
4. Mean active force
5. Mean passive force

پیش‌روندگی[1]، میانگین نیروی ترمزی[2] و بارگیری عمودی[3] که بین دو وضعیت کفش TPEN و PVC مقایسه‌شدند.

طبیعی بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. از آمار توصیفی برای ساماندهی داده‌ها و از آزمون تی همبسته برای مقایسهٔ متغیرها در یک گروه آزمودنی در دو موقعیت دویدن استفاده‌شد. برای نرمال کردن داده‌ها به وزن بدن و رسم نمودار از نرم‌افزار متلب[4] استفاده‌شد. داده‌ها به‌وسیلهٔ نرم‌افزار اس.پی.اس.اس نسخه ۲۰ و در سطح معناداری $\alpha \leq ۰/۰۵$ تحلیل‌شدند.

نتایج

نتایج نشان داد میانگین نیروی غیرفعال در دویدن با کفش TPEN به‌طور معناداری بیشتر از کفش PVC بود ($\alpha < ۰/۰۰۱$). کفش TPEN در مقایسه با کفش PVC، ۳/۷۴٪ نیروی غیرفعال را افزایش داد. این نتایج بیانگر این است که کفش TPEN با سختی ۷۰A، در مقایسه با کفش PVC با سختی ۶۵A نیروی غیرفعال بیشتری تولید می‌کند (شکل ۱).

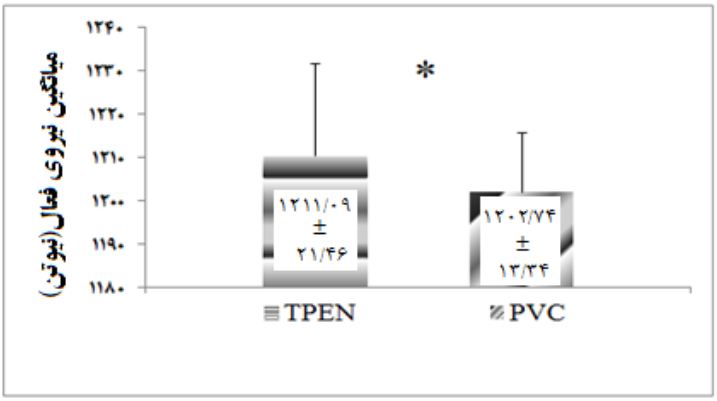


شکل ۱. میانگین و انحراف استاندارد نیروی غیرفعال در کفش TPEN و PVC ($\alpha < ۰/۰۰۱$ *)

نیروی فعال در دویدن با کفش TPEN به‌طور معناداری بیشتر از کفش PVC بود ($\alpha = ۰/۰۴۵$). کفش TPEN در مقایسه با کفش PVC ۰/۷٪ نیروی فعال را افزایش‌داد.

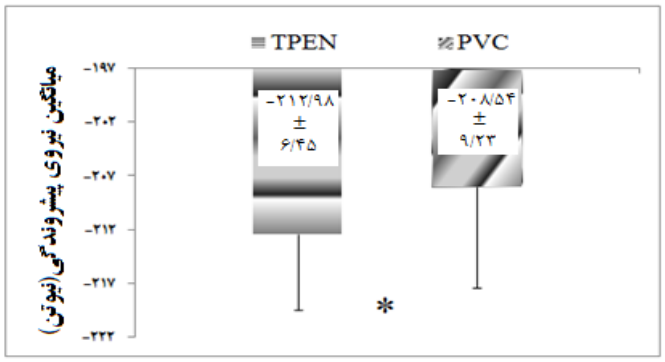
1. Mean propulsive force
4. Mean braking force
5. vertical loading rate
4. MATLAB

این نتایج بیانگر این است که کفش TPEN با سختی ۷۰A، در مقایسه با کفش PVC با سختی ۶۵A نیروی فعال عکس‌العمل زمین را افزایش می‌دهد (شکل ۲).



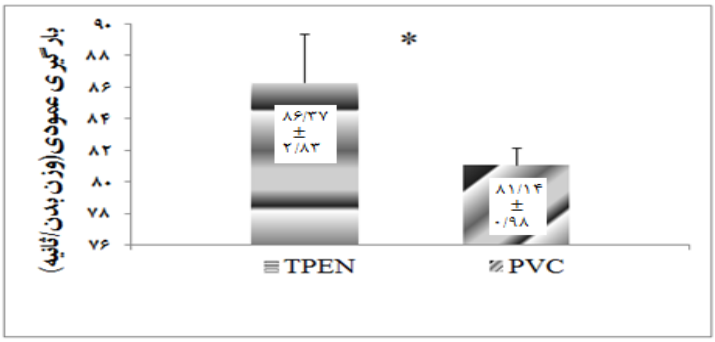
شکل ۲. میانگین و انحراف استاندارد نیروی فعال در کفش TPEN و PVC (* α=۰/۰۴۵)

میانگین نیروی ترمزی در کفش TPEN (۸/۲۳ ± ۲۱۰/۷۳) تفاوت معناداری با کفش PVC(۷/۵۴ ± ۲۰۳/۴۵) نداشت (α=۰/۱۶). از سوی دیگر، نتایج نشان‌داد میانگین نیروی پیش‌روندگی در کفش TPEN به‌طور معناداری بیشتر از کفش PVC است (α<۰/۰۰۱). کفش TPEN، در مقایسه با کفش PVC نیروی پیش‌روندگی را در فاز اتکای دویدن ۲/۰۹٪ افزایش‌داد. این نتایج نشان‌می‌دهد کفش TPEN با سختی ۷۰A تأثیری در میانگین نیروی ترمزی ندارد، اما نیروی پیش‌روندگی بیشتری در مقایسه با کفش PVC با سختی ۶۵A تولید می‌کند (شکل۳).



شکل ۳. میانگین و انحراف استاندارد نیروی پیش‌روندگی در کفش TPEN و PVC (* α<۰/۰۰۱)

بارگیری عمودی در کفش TPEN به‌طور معناداری بیشتر از کفش PVC بود (α=۰/۰۲۳)، اما میانگین تغییرات کفش TPEN بیشتر از کفش PVC بود. کفش TPEN در مقایسه با کفش PVC ۶/۰۶٪ بارگیری عمودی را افزایش‌داد (شکل ۴).



شکل ۴. میانگین و انحراف استاندارد بارگیری عمودی در کفش TPEN و PVC (α=۰/۰۲۳ *)

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر تأثیر کفش با زیرهٔ TPEN بر میزان میانگین نیروی فعال، نیروی غیرفعال، نیروی پیش‌روندگی، نیروی ترمزی و بارگیری عمودی در فاز اتکای دویدن بود. نتایج نشان داد نیروی غیرفعال در کفش TPEN ۳/۷۴٪ بیشتر از کفش PVC است. افزایش نیروی غیرفعال ممکن است به‌دلیل سختی بیشتر کفش TPEN باشد. مطالعات پیشین نیز به این نتیجه رسیدند که کفش‌هایی با سختی بیشتر نیروی غیرفعال بیشتری تولید می‌کنند (۷،۸). این نتیجه با یافته‌های مطالعات دیگر تناقض داشت (۱،۵). در این پژوهش‌ها سرعت آزمودنی‌ها کنترل نشده‌بود و با توجه به اینکه سرعت عاملی تأثیرگذار بر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین است، احتمالاً تناقض در یافته‌ها به‌دلیل کنترل نشدن سرعت در تحقیقات یادشده است (۵). به‌علاوه، اگرچه سرعت در برخی پژوهش‌ها کنترل شده‌بود، از کفش‌هایی استفاده شده‌بود که مواد و سختی یکسان داشتند و تفاوت کفش‌ها در ارتفاع زیره و وزن کفش بود (۱)؛ در نتیجه ممکن است تناقض در یافته‌ها به‌دلیل یکسان بودن سختی و جنس زیرهٔ کفش باشد.

نیروهای غیرفعال مدت‌هاست، دلیل اصلی آسیب‌های مرتبط با دویدن تلقی می‌شود، اما در حال حاضر در مورد این نظریه که نیروهای غیرفعال طی دویدن پاشنه-پنجه دلیل آسیب‌های خاص‌اند و باید تعدیل شوند تردیدهای اساسی وجود دارد؛ زیرا نتایج تحقیقات متعدد اخیر تناقض غیرمنتظره‌ای را نشان دادند و از نظریهٔ خطرناک بودن

نیروهای غیرفعال حمایت نمی‌کنند. به نظر می‌رسد نیروهای غیرفعال طی دویدن و پریدن معمولی (مانند بسکتبال) در یک دامنه ایمن هستند. نتایج این مطالعات نشان-دادند فعالیت‌هایی با نیروهای غیرفعال زیاد، در مقایسه با فعالیت‌هایی با نیروهای غیرفعال کم به‌طور معناداری چگالی مواد معدنی استخوان را افزایش‌می‌دهد (۴)؛ بنابراین در حال حاضر شواهد قطعی مبنی بر اینکه نیروهای برخورد طی دویدن پاشنه-پنجه مسئول افزایش آسیب‌های مرتبط با دویدن هستند، وجود ندارد و افزایش نیروی غیرفعال توسط کفش TPEN ممکن است تأثیر مثبتی بر چگالی استخوان و الگوی انقباض عضلانی داشته باشد.

در پژوهش حاضر نیروی فعال در کفش TPEN ۰/۷٪ بیشتر از کفش PVC بود. این افزایش در نیروی فعال ممکن است به‌دلیل خاصیت کششی کفش TPEN باشد. خاصیت کششی ایجادشده توسط نانو ذرات سیلیکا در زیرۀ کفش باعث افزایش تولید نیروی بیشتر در مرحلۀ پوش‌آف شده و در نتیجه نیروهای فعال در کفش TPEN، در مقایسه با کفش PVC افزایش معناداری یافته‌اند. با توجه به اینکه میزان نیروهای فعال نشان‌دهندۀ میزان تولید نیرو برای حرکت است (۱۵)، افزایش نیروی تولیدی به‌وسیلۀ کفش می‌تواند بر نیروی فعال تولیدشده توسط عضلات افزوده شود و این نیروی مضاعف توانایی ورزشکار را برای اجرای مهارت افزایش داده، اجرای ورزشکار را بهبود می‌بخشد.

دامنۀ نیروی پیش‌روندگی با استفاده از کفش TPEN افزایش پیدا کرد و عملاً باعث تولید نیروی پیش‌روندۀ بیشتر شد. نیروی پیش‌رونده در کفش TPEN با سختی ۷۰A، در مقایسه با کفش PVC با سختی ۶۵A، ۲/۰۹٪ افزایش یافت. استفاده از ذرات نانوسیلیکا در زیرۀ کفش و افزایش سختی کفش ممکن است باعث افزایش نیروی پیش‌روندگی شده‌باشد (۴).

نیروی خلفی عکس‌العمل زمین به کاهش سرعت بدن در ابتدای فاز گام‌برداری و نیروی قدامی عکس‌العمل زمین به افزایش سرعت بدن در انتهای فاز گام‌برداری کمک می‌کند (۱۶). در واقع، نیروی ترمزی در کنترل و کاهش سرعت و نیروی پیش‌روندگی در افزایش سرعت مؤثر است. افزایش در دامنۀ نیروی پیش‌روندگی ممکن است به‌دلیل خاصیت قدرت کششی ایجادشده در کفش توسط نانو ذرات سیلیکا باشد. استفاده از نانو ذرات سیلیکا باعث افزایش خاصیت کششی زیرۀ کفش می‌شود (۱۷). هنگامی‌که کفش

در مرحلهٔ تماس میانی قرار می‌گیرد؛ یعنی مرحله‌ای که زیرهٔ کفش در کشیده‌ترین حالت خود قرار دارد، این کشیدگی باعث ذخیرهٔ انرژی کششی می‌شود. نهایتاً در مرحلهٔ بعد این انرژی آزاد می‌شود و در نتیجه در مرحلهٔ پوش‌آف نیروی پیش‌روندگی بیشتری توسط کفش TPEN تولید می‌شود.

پژوهش‌های اندکی به مطالعهٔ نیروی قدامی-خلفی عکس‌العمل زمین پرداخته‌اند و مطالعات آزمایشگاهی معمولاً بر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین تمرکز داشته‌اند. نتیجهٔ پژوهش حاضر با نتایج برخی پژوهش‌ها مطابقت داشت (۸). در پژوهشی تأثیر کفش‌هایی با درجات سختی متفاوت بر نیروی عکس‌العمل زمین بررسی شد و نتایجی مشابه تحقیق حاضر به‌دست‌آمد به این صورت که کفش‌هایی با درجات سختی بیشتر، نیروی پیش‌روندگی بیشتری تولید می‌کنند.

همان‌طور که نتایج نشان داد در سرعت بارگیری عمودی در دو کفش تفاوت معناداری مشاهده شد. با توجه به اینکه سرعت بارگیری عمودی در کفش TPEN بیشتر از PVC است، میزان جذب شوک حاصل از نیروی عکس‌العمل عمودی زمین هنگام استفاده از کفش TPEN کمتر از کفش PVC است. نتایج بیانگر این است که این مقدار در کفش TPEN، در مقایسه با کفش PVC ۶/۰۶٪ بیشتر بود؛ در نتیجه با افزایش سختی کفش بارگیری عمودی نیز افزایش پیدا کرد (۱۸، ۷). این نتایج با یافته‌های پیشین (۱۹) که دریافتند سختی کفش بر بارگیری عمودی تأثیری ندارد، تناقض داشت. دلیل تناقض احتمالاً این است که محقق برای هر آزمودنی فقط یک کوشش را بررسی کرد. این بارگیری خارجی از طریق کفش به استخوان‌ها انتقال داده می‌شود. نتایج تحقیقات متعدد نشان داده است بارگیری عمودی یکی از عوامل آسیب شکستگی حاصل از فشار است (۲۰) و عملاً افزایش بارگیری عمودی ممکن است باعث افزایش خطر آسیب شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد استفاده از کفش TPEN باعث افزایش معنادار میانگین نیروی فعال، نیروی غیرفعال عمودی، نیروی پیش‌روندگی و سرعت بارگیری عمودی در فازی اتکا دویدن می‌شود. با توجه به اینکه سرعت دویدن، هندسه و رویهٔ کفش‌ها در این پژوهش کنترل شدند، تغییرات به‌وجود آمده در متغیرهای سینتیکی در نتیجهٔ استفاده از نانو ذرات سیلیکا در زیرهٔ کفش است. نانو ذرات سیلیکا با افزایش استحکام کششی در میزان ذخیره و بازگشت انرژی تأثیرگذارند (۱۷). از طرفی نانو ذرات سیلیکا

سختی کفش را افزایش دادند که ممکن است بر افزایش میانگین نیروی فعال، نیروی غیرفعال، نیروی پیش‌روندگی و بارگیری عمودی مؤثر باشد (۱،۵).

افزایش معنادار نیروی پیش‌روندگی، نیروی‌های برخورد و نیروی‌های فعال ممکن است در بهبود اجرا و اقتصاد انرژی در ورزش به ورزشکار کمک کند. به نظر می‌رسد استفاده از کفش TPEN برای ورزشکارانی که بیشتر به نیروی پیش‌روندگی نیاز دارند مانند دوندگان سرعتی یا ورزشکاران پرش طول و ارتفاع کارآیی زیادی داشته باشد. با توجه به نتایج، چنین انتظار می‌رود که اهمیت کفش ورزشی بر نیروهای وارد بر پا و در نتیجه بر اجرا به‌خوبی درک شود. بدیهی است تحقیقات گسترده‌تر درزمینهٔ شناخت خواص مواد زیره و تأثیر آن‌ها بر متغیرهای بیومکانیکی با هدف بهبود اجرا و کاهش آسیب، سازندگان کفش را در شناسایی مواد مؤثر در ساخت کفش ورزشی کمک نماید. با توجه به تأثیر نانو ذرات سیلیکا بر بهبود اجرا، پیشنهاد می‌شود از سایر نانو ذرات مانند نانو ذرات آهن، نانو ذرات کلی و غیره نیز در زیرهٔ کفش استفاده شود. به‌علاوه، استفاده از نانو کامپوزیت‌های متنوع با مواد پلیمری مختلف مانند پلی اورتان و اتیل وینیل استات و درصدهای متفاوتی از نانو ذرات برای بررسی کامل‌تر تأثیر جنس زیرهٔ بر متغیرهای بیومکانیکی ضروری به‌نظرمی‌رسد.

منابع

1. Braunstein B, Arampatzis A, Eysel P, Bruggemann G P. Footwear affects the gearing at the ankle and knee joints during running. Journal of Biomechanics. 2010; 12(43):2120–25.
2. Queen R M, Abbey A N, Wiegerinck J I, Yoder J C, Nunley J A. Effect of shoe type on plantar pressure: A gender comparison. Gait & Posture. 2010; 31:18–22.
3. Butler R J, Hamill J, Davis I. Effect of footwear on high and low arched runners' mechanics during a prolonged run. Gait Posture. 2007; 26(2):219-25.
4. Nigg B M. Impact Force. In Biomechanics of Sport Shoes (1thed). IL: University of Calgary; 2010. P. 24-35.
5. Tsai Y & Powers C M. Increased shoe sole hardness results in compensatory changes in the utilized. Gait & Posture. 2009; 30:303–6.
6. Boyer K A, Andriacchi T P. Changes in running kinematics and kinetics in response to a rockered. Clinical Biomechanics. 2009; 10(24):872–6.
7. Cheunga R T H & Nga G Y F. Efficacy of motion control shoes for reducing excessive rearfoot motion in fatigued runners. Physical Therapy in Sport. 2007; 8: 75–81.

8. Keenan G S, Franz J R, Dicharry J, Croce U D, Kerrigan C. Lower limb joint kinetics in walking: The role of industry recommended footwear. Gait & Posture. 2011; 33: 350–5.
9. Nigg B M & Morlock M. The influence of lateral heel flare of running shoes on pronation and impact forces. Med Sci Sports Exerc. 1987; 19(3): 294-02.
10. Stacoff A, Reinschmidt C, Nigg B M, Van Den Bogert A J, Lundberg A, Denoth J, Stüssi E. Effects of shoe sole construction on skeletal motion during running. Med Sci Sports Exerc. 2001; 33(2):311-9.
11. Zadpoor A A & Asadi Nikooyan A. Modeling muscle activity to study the effects of footwear on the impact. Journal of Biomechanics. 2010; 43:186–193.
12. Porter D A & Schon L C. The Shoe in Sports. In Baxter's The Foot and Ankle in Sport(2thed). IL: Mosby Elsevier; 2008. P. 576-83.
۱۳. کاشف علیرضا، انوار سید امیر، یوسف طاهری سید محمد. مروری بر کاربردهای فناوری نانو در مهندسی ورزش. ماهنامه فناوری نانو. ۱۳۸۹; ۵ : ۲۵-۱۹.
14. Napierska D, Thomassen L C J, Lison D, Martens J A, Hoet P H. The nanosilica hazard: another variable entity. Particle and Fibre Toxicology. 2010; 3: 7-39.
15. Novacheck T F.The biomechanics of running. Gait and Posture.1998: 7: 77–95.
16. Castro M, Abreu S, Sousa H, Machado L, Santos R, Vilas-Boas J P. Ground reaction forces and plantar pressure distribution during occasional loaded gait. Applied Ergonomics.2010; IN PRESS.
17. un P C, Wei H W, Chen C H, Wu C H, Kao H C, Cheng C K. Effects of varying material properties on the load deformation characteristics of heel cushions. Med Eng Phys. 2008; 30: 687–92.
18. Bergmann G, Kniggendorf H, Graichen F, Rohlmann A. Influence of shoes and heel strike on the loading of the hip joint. Journal of Biomechanics. 1995; 28(7):817–27.
19. Nigg B M, Bahlsen H A, Luethi S M, Stoke S. The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running. Journal of Biomechanics. 1987; 20:951–9.
20. Zadpoor A A & Asadi Nikooyan A. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: A systematic review. Clinical Biomechanics. 2011; 26: 23–8.

ارجاع مقاله به روش ونکوور

حسینی‌نژاد مطهره، اسلامی منصور، قائمی موسی. تأثیر کفش ورزشی با زیرۀ نانوسیلیکا بر بارگیری عمودی و بزرگی نیروی‌های عمودی و قدامی-خلفی عکس‌العمل زمین در فاز اتکای دویدن. مطالعات طب ورزشی، ۱۳۹۳؛ ۶ (۱۵): ۴۳-۵۴