The Effect of Running-induced Fatigue on Foot Roll-over Pattern in Novice Runners

Anbarian M[1], Esmaili H[2]

Abstract

Purpose: Novice runners are at high risk of running-related injuries. However, their injury mechanisms are less well understood. The purpose of this study was to evaluate the effect of running-induced fatigue on foot roll-over pattern in novice runners.

Methods: Eighteen (12 male and 6 female) novice runners participated in this study. Before and after the fatigue, plantar load distribution was recorded by Footscan system. Peak plantar pressure, peak force underneath of each zone and Medio-lateral force distribution ratio were calculated during forefoot push-off phase. Furthermore, temporal data such as time to peak force for each region and duration percent for each phase were calculated.

Results: After the fatigue, an increase in forefoot and midfoot loading was observed. Results showed statistically significant reduction in the Medio-lateral force distribution ratio in forefoot push off ($p=0.029$). Moreover, timing percent of initial contact phase and forefoot contact phase were decreased ($p=0.001$ and $p=0.009$ respectively) and percent of forefoot push off phase duration was increased significantly ($p=0.036$). Time to peak force in the 4th metatarsal reduced.

Conclusion: The findings of the present study demonstrated that running-induced fatigue caused load and plantar pressure distribution consequently, roll-over deviations in novice runners. These results may provide useful information related to several running related injuries.

Keywords: Running-induced fatigue, Novice runner, Roll-over

Received: 2015.8.1; Accepted: 2016.4.10

اثر خستگی ناشی از دویدن بر الگوی Roll-Over پای دوندگان مبتدی

مهرداد عنبریان[۱]، حامد اسماعیلی[۲]

هدف: دوندگان مبتدی در معرض ریسک بالایی از آسیبهای ناشی از دویدن قرار دارند. با این حال، سازوکارهای مربوط به آسیب این ورزشکاران کمتر شناخته شده است. هدف این مطالعه بررسی اثر خستگی ناشی از دویدن روی الگوی roll-over (وضعیت حرکتی پا در تماس با زمین هنگام راه رفتن و دویدن) پای دوندگان مبتدی بود.

روش بررسی: تعداد ۱۸ نفر (۱۲ مرد و ۶ زن) دونده مبتدی در این مطالعه شرکت کردند. توزیع بار کف پایی آزمودنیها قبل و پس از خستگی، توسط دستگاه Footscan ثبت شد. حداکثر فشار کف پایی، حداکثر نیروی مناطق مختلف پا و نسبت نیروی داخلی-خارجی پا در مرحله هل دادن جلوی پا محاسبه شد. هم‌چنین متغیرهای زمانی مانند زمان رسیدن به حداکثر نیرو و درصد زمان طول کشیدن هر مرحله به دست آمد.

یافته‌ها: پس از خستگی افزایش در بارگیری جلوی پا و وسط پا مشاهده شد. نتایج کاهش معناداری را در نسبت نیروی داخلی-خارجی در مرحله هل دادن جلوی پا نشان داد ($p=۰/۰۲۹$). همچنین، نسبت درصد زمانی مرحله تماس اولیه و تماس جلوی پا کاهش ($p=۰/۰۰۱$ و $p=۰/۰۰۹$ به ترتیب) و درصد زمانی مرحله هل دادن جلوی پا افزایش پیدا کرد ($p=۰/۰۳۶$). کاهشی هم در زمان رسیدن به حداکثر نیروی Metatarsal (استخوان کف پایی) چهارم مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه، نشان داد که خستگیّ ناشی از دویدن سبب افزایش توزیع بار و فشار کف پایی و در نتیجه تغییر در الگوی roll-over دوندگان مبتدی می‌شود. این نتایج می‌تواند اطلاعات مفیدی را در شناسایی سازوکارهای ایجاد برخی از آسیبهای ناشی از دویدن فراهم کند.

Archive of SID
www.SID.ir

کلمات کلیدی:خستگی ناشی از دویدن، دونده مبتدی، roll-over
نویسنده مسئول: مهرداد عنبریان، m_anbarian@yahoo.com
آدرس: همدان، چهارباغ شهید احمدی روشن، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم ورزشی
۱- استاد بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲- دانشجوی دکتری بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

مقدمه

امروزه پیشرفت سریع تکنولوژی موجب بروز عارضه‌ای خطرناک و شایع موسوم به کم‌تحرکی شده است (۱). این عارضه به عنوان ریسک فاکتوری پنهان در بروز یا تشدید چاقی، بیماریهای قلبی و عروقی (۲)، فشار خون بالا، دیابت (۳)، پوکی استخوان و حتی برخی سرطانها (۴) نقش موثری دارد. برای غلبه بر این عارضه، راههای مختلفی وجود دارد که یکی از آنها پرداختن به ورزش و فعالیت بدنی است. در این میان، دویدن با توجه به دردسترس بودن و نیاز به حداقل امکانات، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد و محبوبیت روز افزونی دارد. علیرغم اثرات مفید دویدن روی سلامتی، اثرات جانبی منفی آن نیز مشاهده می‌شود. برخی تحقیقات پیشین نشان داده که دوندگان تعداد زیادی از آسیبهای ناشی از دویدن را تجربه می‌کنند (۵). برخی گزارشات، شیوع آسیبهای مربوط به دویدن در اندام تحتانی را بین ۱۹/۴ تا ۷۹/۳ درصد بیان کرده‌اند (۵)، که بیانگر شیوع بالای آسیبهای ناشی از دویدن می‌باشد. این تعداد به طور خاصی در دوندگان مبتدی بیشتر است (۶). بسیاری از آسیبهای مربوط به دویدن، آسیبهای مربوط به پرکاری (Overuse) هستند که به عنوان نتیجه آسیبهای ریز تکراری ناشی از بارگیری مزمن تاندون‌ها، عضلات یا استخوان‌ها در نظر گرفته می‌شود (۷). بیش از ۹۰ درصد آسیبهای ناشی از دویدن در ناحیه اندام تحتانی رخ می‌دهد و تقریبا با نسبتهای یکسان، زانو، ساق و مچ پا را تحت تاثیر قرار می‌دهند (۸).

مطالعات زیادی تلاش کرده‌اند تا عوامل ایجاد آسیبهای ناشی از دویدن را شناسایی کنند (۶). در این راه، به‌طور کلی عوامل موثر را به دو دسته عوامل الف) خارجی نظیر سطح یا مکان تمرین، سطح مهارت و سطح مسابقه و عوامل ب) درونی نظیر آسیبهای قبلی فرد، سطح آمادگی بدنی، بیومکانیک راه‌رفتن (۹) و ناپایداری مفصل تقسیم بندی کرده‌اند (۱۰،۱۱). متغیرهای خاص راه‌رفتن از قبیل نرخ بار تماسی، بزرگی نیروهای پیش‌ران و بزرگی و نرخ پرونیشن ریسک فاکتورهای درونی هستند که همه در آسیبهای اندام تحتانی موثر هستند (۱۲). از دیگر عوامل درونی موثر در بروز آسیب می‌توان به تفاوت در الگوی roll-over پا حین دویدن اشاره کرد. برای مثال، پرونیشن کمتر و roll-off متمایل به لبه خارجی پا، برای درد قدامی زانو و آسیب پرکاری پایین ساق به‌عنوان یک ریسک فاکتور محسوب می‌شود (۱۳،۱۴). افزایش معنادار پرونیشن پا همراه با فشار بیشتر در سمت داخلی پا و roll-off متمایل‌تر به لبه خارجی پا ریسک فاکتوری برای درد پایین ساق حاصل از تمرین محسوب می‌شود (۱۵).

دویدن با توجه به ماهیت زمان‌بر خود، دوندگان را در سطوح مختلفی از خستگی قرار می‌دهد. خستگی ناشی از دویدن به طور طبیعی باعث تغییراتی در مکانیک دویدن می‌شود. Koblbauer و همکاران، در مطالعه خود گزارش کردند که خستگی باعث تغییراتی در کینماتیک دویدن افراد می‌شود (۱۶). Willemsو همکاران، نشان دادند که خستگی باعث ایجاد تغییراتی در الگوی توزیع بار کف پایی و roll-over دوندگان شده و بیان کردند که این تغییرات با بروز آسیبهای ناشی از دویدن در ارتباط است (۱۷). شواهد حاکی از آن است که تغییر در مکانیک پا و الگوی roll-over پا در مرحله اتکاء (Stance) دویدن می‌تواند در بروز آسیبهای اندام تحتانی موثر باشد. همچنین، بیان شده است تغییرات در مکانیک پا حین دویدن بیشترین اثر را روی مکانیک دویدن داشته و عملکرد کلی بدن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۸).

تاکنون، مطالعات زیادی اثر خستگی بر بیومکانیک دویدن با رویکرد عاملی موثر در ایجاد آسیب‌های ناشی از دویدن را بررسی کرده‌اند (۱۶،۱۷). با این حال، اثر خستگی روی الگوهای roll-over پا در دوندگان مبتدی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال، همان‌طور که بیشتر هم اشاره شد در تنها مطالعه یافت شده توسط

Archive of SID

www.SID.ir

Willemsو همکاران، اثر خستگی ناشی از ۲۰ کیلومتر دویدن مسابقه‌ای در دوندگان بر الگوی roll-over در مرحله اتکاء بررسی و افزایش بار در قسمت جلویی و میانی کف پا را گزارش کردند (۱۷). در مطالعه آنان آزمودنی‌ها دوندگانی بودند که از یک سو آمادگی لازم شرکت در مسابقات را داشتند و از سوی دیگر سطح خستگی آنها ناشی از ۲۰ کیلومتر دویدن به دلیل تفاوتهای فردی قابل کنترل نبود. به همین دلیل، نتایج و آثار حاصله از خستگی در بروز آسیبهای مختلف قابل تعمیم به دوندگان مبتدی که به طور تفریحی می‌دوند نیست. از این رو شناسایی سازوکارهای زیرلایه‌ای ایجاد کننده آسیبهای ناشی از دویدن می‌تواند در پیش‌گیری از ابتلا به آسیبهای ناشی از دویدن در افراد مبتدی مفید باشد. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثر خستگی ناشی از دویدن روی الگوی roll-over پای دوندگان مبتدی بود.

روش بررسی

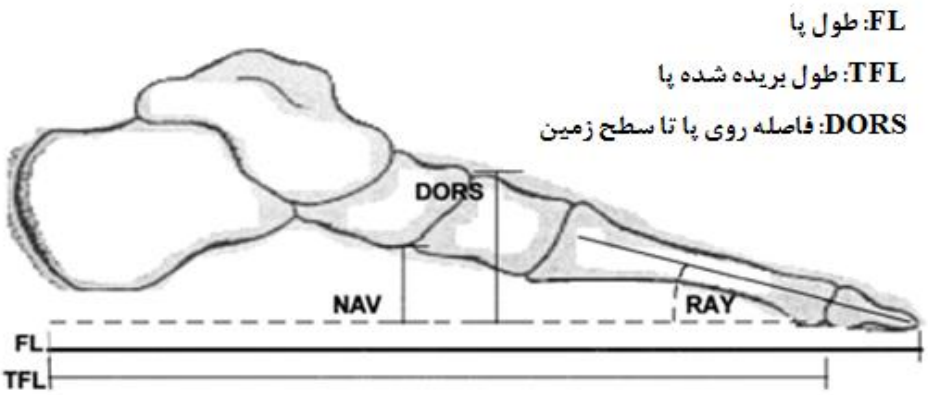
۱۸ نفر دونده مبتدی از میان دانشجویان دانشگاه بوعلی سینا (۱۲ مرد و ۶ زن) بصورت در دسترس انتخاب ودر این مطالعه شرکت کردند. در این مطالعه، دونده مبتدی به فردی اطلاق شد که سابقه دویدن بیش از دو ماه نداشته و در هفته بیش از سه جلسه تمرین نداشته باشد و بتواند در هر جلسه تمرینی با سرعت خود انتخابی، حدود ۳۰ دقیقه یا ۵ کیلومتر بدود (۱۶). شرایط حضور در این مطالعه عبارت بود از نداشتن سابقه جراحی در اندام تحتانی، آسیب قبلی در اندام تحتانی، نداشتن مشکلات نرولوژیکی و داشتن ساختار پای نرمال. نرمال بودن ساختار پا نیز با استفاده از شاخص ارتفاع قوس بررسی شد (۱۹). برای محاسبه شاخص ارتفاع قوس، نسبت فاصله روی پا از سطح زمین در وسط طول پا (نقطه میانی فاصله پشت پاشنه تا نوک انگشت شست)، تقسیم بر طول بریده شده پا (از پاشنه تا سر اولین مفصل کف پایی انگشتی) محاسبه شد (شکل۱). در این مقیاس، شاخص به دست آمده اگر بین اعداد ۰/۲۷۵ و ۰/۳۵۶ قرار داشت، ساختار پای فرد نرمال تلقی می‌شد (۱۹).

پس از انتخاب و ورود شرکت کنندگان در پژوهش، آزمودنی‌ها وارد آزمایشگاه بیومکانیک اندام تحتانی دانشگاه بوعلی سینا شدند و فرم رضایتنامه کتبی شرکت در این مطالعه را تکمیل و امضا کردند. شرایط و روش آزمون به شرکت کنندگان توضیح داده شد. سپس آزمودنی‌ها حداقل شش مرتبه مسیر ۱۴ متری آزمون را با سرعت ۳/۳ متر بر ثانیه طی کردند (۲۰) تا با شرایط آزمون آشنا شوند. پس از آشنایی با شرایط، ۶ بار با سرعت ۳/۳ متر بر ثانیه از روی Footscan که در وسط مسیر قرار داده شده بود دویدند. حین دویدن در مسیر آزمون، از شرکت کنندگان خواسته شده بود که قبل از رسیدن روی Footscan الگوی دویدن خود را تغییر ندهند و یا حین دویدن گام های خود را تنظیم نکنند. پس از انجام تکرارهای موفق در پیش‌آزمون، شرکت کنندگان پروتکل خستگی را انجام دادند (۱۶). این پروتکل با راه رفتن روی تریدمیل (Horizon Fitness, Omega GT, USA) با سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت آغاز شد. هر دو دقیقه یک بار به سرعت تریدمیل یک کیلومتر بر ساعت افزوده می‌شد. حین اجرای پروتکل خستگی از آزمودنی‌ها نمره مقیاس ۱۵ نمره‌ای بورگ (از ۵ تا ۲۰) پرسیده می‌شد. همچنین بصورت همزمان با استفاده از ضربان‌سنج (Polar RS100 Polar Electro Oy, Woodbury, NY) ضربان افراد کنترل می‌شد. افراد حین اجرای پروتکل از دیدن سرعت دویدن و میزان ضربان قلب روی مانیتور تریدمیل منع شده بودند. افزایش سرعت پیوسته ادامه پیدا می‌کرد تا جایی که آزمودنی‌ها نمره سیزده را گزارش نمایند. پس از رسیدن به نمره سیزده، با سرعت ثابت همان لحظه به دویدن ادامه می‌دادند تا به نمره هفده یا ۸۰ درصد حداکثر ضربان خود (سن منهای عدد ۲۲۰) برسند. سپس دو دقیقه دیگر با همین روند ادامه می‌دادند تا پروتکل به انتها برسد. پس از اتمام پروتکل از شرکت کنندگان خواسته شد تا با دویدن به مدت دو دقیقه با سرعت خود انتخابی مرحله سرد کردن را انجام دهند (۱۶). حین انجام پروتکل خستگی، آزمودنی‌ها از کفش‌های یکسان استفاده کردند.

برای ثبت داده‌های فشار کف پایی و الگوی roll-over پای آزمودنی‌ها از دستگاه Footscan (RsScan international) با فرکانس نمونه‌برداری ۲۵۳ هرتز استفاده شده. برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این دستگاه، از نرم‌افزار footscan 7 gait generation استفاده شد. این نرم افزار به صورت خودکار پا را به ده منطقه آناتومیکی مجزای انگشت شست (T1; First toe

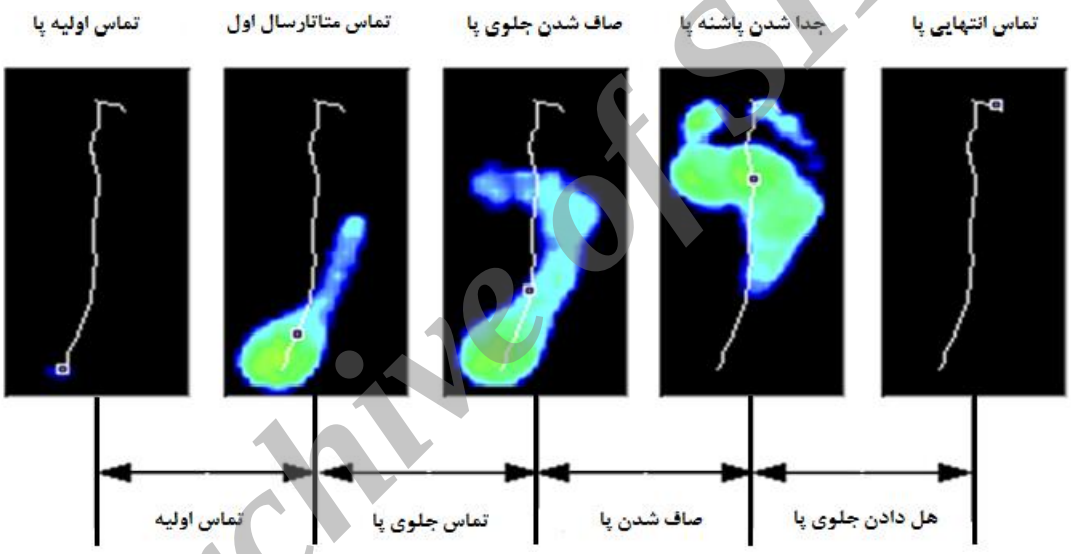
Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱: نحوه محاسبه شاخص ارتفاع قوس (اقتباس از: Williams & McClay, 2000)(۱۸).

FL: foot length, TFL: truncated foot length, DORS: dorsum height, RAY: first ray angle, NAV: navicular height.



شکل۲: بررسی پنج لحظه مشخص مرحله اتکاء دویدن و بخشهای مربوط به تماس کل پا در آزمودنی

، انگشتان دوم تا پنجم (T2-5)، Metatarsal اول (M1; First metatarsal head)، Metatarsal دوم (M2)، Metatarsal سوم (M3)، Metatarsal چهارم (M4)، Metatarsal پنجم (M5)، وسط پا (MF; Midfoot)، بخش داخلی پاشنه (MH; Medial heel) و بخش خارجی پاشنه (LH; Lateral heel) تقسیم- بندی می‌کند. حداکثر فشار، زمان رسیدن به حداکثر فشار و حداکثر نیروی (درصد وزن بدن) وارد بر نقاط ده‌گانه پا محاسبه شد. برای هر تکرار ثبت شده، پنج لحظه مشخص فرایند roll-over: تماس اولیه پا (First foot contact)، تماس اولین Metatarsal (First Metatarsal contact)، صاف شدن جلوی پا (Forefoot flat)، جدا شدن پاشنه (Heel off) و تماس انتهایی پا (Last foot contact) مشخص شد (۲۱) (شکل۲). بین این پنج نقطه، چهار مرحله کلیدی تماس اولیه (بین تماس اولیه پا و تماس اولین Metatarsal)، مرحله تماس جلوی پا (بین تماس اولین Metatarsal تا صاف شدن جلوی پا)، مرحله صاف شدن پا (بین صاف شدن جلوی پا تا جدا شدن پاشنه) و مرحله هل دادن (Push-off) جلوی پا (بین صاف شدن جلوی پا تا تماس انتهایی پا) تعیین گردید (۲۱). برای هر یک از این مراحل درصد زمانی طی شده مراحل تعیین شد.

www.SID.ir

نسبت نیروی داخلی به خارجی ((T1+M1+M3+M4+M5+MH+LH)/ (T1+M1+MH)-(LH+M3+M4+M5)) برای هر مرحله محاسبه شد و در این مطالعه تنها این نسبت برای مرحله هل دادن جلوی پا که به بیان مطالعات پیشین، تغییرات در این مرحله بعنوان ریسک فاکتوری برای برخی از آسیبها ناشی از دویدن است (۱۷) درنظر گرفته شد (۲۱). این نسبت می‌تواند در دامنه ۱+ تا ۱- قرار بگیرد؛ بطوریکه ۱- به معنی قرارگیری به سمت خارج پا و ۱+ به معنی قرارگیری به سمت داخل پا می‌باشد (۱۷). برای تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. در صورت نرمال بودن توزیع داده‌ها برای مقایسه پارامترها پیش و پس آزمون از تی هم‌بسته استفاده شد. در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها از آزمون ناپارامتریک ویلکاکسون برای پارامترهای پیش و پس‌آزمون استفاده گردید. تمامی فعالیتهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام گرفت. سطح معناداری در این مطالعه (α=۰/۰۵) درنظر گرفته شد.

یافته‌ها

ویژگیهای شرکت کنندگان این پژوهش در جدول۱ آورده شده است. نتایج مربوط به حداکثر فشار و حداکثر نیروی وارد بر نقاط ده‌گانه پا قبل و پس از خستگی در جدول۲ نشان داده شده است.

نتایج مربوط به مدت زمان سپری شده مراحل roll-over پا حین دویدن در جدول۳ نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، پس از خستگی مراحل تماس اولیه (مردان p=۰/۰۲۵ و زنان p=۰/۰۳۴) و تماس جلوی پا (مردان p=۰/۰۲۵) با کاهش روبرو شده‌اند و مرحله هل دادن جلوی پا (مردان p=۰/۰۰۲ و زنان p=۰/۰۳۶) با افزایش همراه بوده است. هم‌چنین نتایج مربوط به نسبت نیروی داخلی به خارجی در مرحله هل دادن جلوی پا نیز در جدول۳ نشان داده شده است. خستگی باعث کاهش این نسبت به معنی خارجی‌تر شدن این نسبت در مرحله هل دادن جلوی پا شده است (مردان p=۰/۰۲۸ و زنان p=۰/۰۲۲). زمان رسیدن به حداکثر نیروی مناطق ده‌گانه پا حین دویدن قبل و بعد از خستگی در جدول۴ آورده شده است. خستگی تنها باعث زودتر شدن زمان رسیدن به حداکثر نیرو در ناحیه Metatarsal ۴ در مردان شده است (p=۰/۰۳۱).

بحث و نتیجه گیری

هدف از این مطالعه بررسی اثر خستگی ناشی از دویدن روی الگوی roll-over پای دوندگان مبتدی بود. نتایج این مطالعه نشان داد که با خستگی حداکثر فشار وارد بر نواحی Metatarsal دوم تا پنجم افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان داد که دوندگان مبتدی پس از خستگی حداکثر نیروی وارده بیشتری را در نواحی Metatarsal دوم، سوم، چهارم و وسط پا تجربه می‌کنند. این یافته‌ها تفاوت جزئی را بین مردان و زنان نشان داد. شاید یکی از دلایل این تفاوتهای جزئی، تفاوت در حجم نمونه مردان و زنان باشد. با این حال، این نتایج نشان‌دهنده افزایش بارگیری جلوی پا پس از خستگی است که با نتایج مطالعه Willems و همکاران که به بررسی اثر دویدن طولانی روی توزیع فشار کف پایی دویدن پرداخته است، همسو است (۱۷)، با این تفاوت که در مطالعه مذکور نیروی وارد بر انگشتان دوم تا پنجم پس از خستگی کاهش و نیروی وارد بر بخش داخلی پاشنه افزایش پیدا کرد (۱۷). از علل وجود این تفاوتها می‌توان به سطح ورزشی دوندگان اشاره کرد که در مطالعه حاضر دوندگان مبتدی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند در حالی که Willems و همکاران، دوندگان سطح بالاتری را مورد ارزیابی قرار دادند. از دیگر علل وجود این تفاوتها می‌توان به پوشش پا اشاره کرد که در مطاعه حاضر، افراد با پای برهنه دویدند درحالی که در مطالعه Willems و همکاران، افراد با کفش از روی دستگاه دویدند. یکی از علل افزایش بار در ناحیه Metatarsalها انتقال بارگیری به سمت Metatarsalها است که در این حالت نیروی وارد بر انگشتان ۲-۵ به سمت سر Metatarsalها منتقل می‌شود (۲۲). Nagel و همکاران، گزارش کردند که پس از خستگی ناشی از دویدن، فشار وارد بر Metatarsalها افزایش و فشار وارد بر ناحیه انگشتان کاهش پیدا می‌کند (۲۲). آنها علت این افزایش بارگیری در سر Metatarsalها را به خستگی موضعی عضلات نسبت دادند و بیان کردند که در پس بروز خستگی عضلات، پایداری و عملکرد کنترل کنندگی عضلات ساق و پا کاهش پیدا می‌کند (۲۲) و این کاهش سبب تغییر در نحوه بارگیری نقاط مختلف پا می‌شود. Voloshin و

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱: ویژگیهای آزمودنیهای تحقیق

جنس	تعداد (نفر)	شاخص ارتفاع قوس (انحراف معیار± میانگین)	سن (سال) (انحراف معیار± میانگین)	قد (سانتیمتر) (انحراف معیار± میانگین)	جرم (کیلوگرم) (انحراف معیار± میانگین)
مرد	۱۲	۰/۳۲۱±۰/۰۱۸	۲۲/۳۳±۳/۲۰	۱۷۹/۷۵±۶/۳۲	۷۴/۶۶±۱۲/۷۸
زن	۶	۰/۳۱۴±۰/۰۱۴	۲۱/۵۰±۳/۲۷	۱۶۷/۶۶±۱۱/۱۱	۶۰/۶۶±۱۰/۳۰

جدول۲: مقایسه پارامترهای حداکثر فشار و حداکثر نیرو (درصد وزن بدن) وارد بر نواحی ده‌گانه پا

ناحیه آناتومیکی پا	جنس	حداکثر فشار (نیوتن بر سانتی‌متر مربع)			حداکثر نیرو (درصد وزن بدن)		
		قبل خستگی (انحراف معیار± میانگین)	بعد خستگی (انحراف معیار± میانگین)	اندازه احتمال	قبل خستگی (انحراف معیار± میانگین)	بعد خستگی (انحراف معیار± میانگین)	اندازه احتمال
انگشت شست	مردان	۱۹/۰۶±۳/۹۱	۱۷/۰۵±۴/۴۹	۰/۱۶۸	۳۸/۹۰±۸/۶۳	۳۸/۱۸±۱۲/۵۶	۰/۷۶۵
	زنان	۱۷/۱۹±۴/۵۰	۱۸/۵۸±۳/۷۰	۰/۰۹۳	۴۱/۱۶±۱۷/۹۸	۴۱/۸۱±۱۷/۸۰	۰/۸۶۶
انگشتان دوم تا پنجم	مردان	۶/۹۹±۱/۷۹	۶/۱۳±۱/۷۳	۰/۰۶۲	۱۷/۹۹±۴/۷۴	۱۷/۱۰±۵/۲۲	۰/۳۷۲
	زنان	۶/۸۰±۱/۷۳	۶/۵۴±۱/۹۷	۰/۷۵۵	۱۹/۳۳±۴/۷۹	۱۷/۷۴±۴/۳۴	۰/۵۸۷
Metatarsal اول	مردان	۲۳/۹۹±۱۰/۵۱	۲۲/۹۴±۹/۰۲	۰/۲۴۱	۵۱/۸۸±۱۸/۰۳	۵۳/۲۰±۲۲/۶۵	۰/۷۳۲
	زنان	۱۵/۶۳±۴/۳۹	۱۶/۴۹±۴/۷۶	W ۰/۴۶۳	۴۳/۷۰±۹/۰۶	۳۶/۹۹±۱۱/۱۲	۰/۲۷۱
Metatarsal دوم	مردان	۳۰/۷۹±۶/۸۵	۳۱/۹۰±۶/۵۵	*۰/۰۲۸	۵۰/۲۷±۹/۸۹	۵۵/۳۰±۷/۸۴	*۰/۰۱۳
	زنان	۲۶/۶۶±۸/۵۳	۲۹/۷۰±۶/۸۶	*۰/۰۴۶	۴۳/۸۰±۵/۷۴	۵۶/۱۶±۱۰/۱۴	*۰/۰۴۵
Metatarsal سوم	مردان	۲۷/۲۴±۹/۳۰	۲۹/۰۴±۹/۷۷	W *۰/۰۵۰	۴۲/۶۸±۴/۹۱	۵۱/۳۹±۱۱/۸۷	* ۰/۰۲۱
	زنان	۲۶/۴۱±۷/۹۰	۲۹/۷۰±۶/۸۲	*۰/۰۱۰	۳۹/۱۹±۸/۷۳	۴۵/۶۵±۸/۰۰	W *۰/۰۳۱
Metatarsal چهارم	مردان	۲۱/۰۸±۱۰/۷۸	۱۶/۷۱±۵/۲۱	W *۰/۰۲۸	۳۱/۵۸±۷/۱۹	۳۴/۵۷±۸/۹۲	W ۰/۰۷۵
	زنان	۱۷/۳۶±۳/۴۱	۱۷/۹۹±۳/۳۷	*۰/۰۳۶	۲۸/۱۱±۴/۷۸	۲۹/۸۷±۴/۸۰	* ۰/۰۰۷
Metatarsal پنجم	مردان	۱۰/۷۷±۵/۲۶	۱۲/۹۶±۷/۵۶	*۰/۰۲۵	۱۸/۳۷±۵/۶۰	۱۹/۴۲±۶/۳۶	۰/۳۵۴
	زنان	۱۰/۰۷±۱/۷۱	۱۱/۰۵±۱/۶۶	۰/۱۱۳	۱۷/۷۹±۴/۲۱	۱۹/۵۷±۱۰/۰۹	W ۰/۷۱۳
وسط پا	مردان	۸/۱۴±۳/۱۲	۹/۲۹±۳/۰۷	۰/۰۷۶	۵۶/۹۰±۲۱/۸۹	۶۳/۲۳±۱۷/۷۸	* ۰/۰۳۲
	زنان	۸/۷۹±۲/۱۶	۸/۷۵±۱/۸۲	۰/۹۲۶	۶۶/۵۷±۱۷/۸۳	۷۱/۶۴±۱۸/۲۶	۰/۰۹۴
بخش داخلی پاشنه	مردان	۱۹/۸۶±۴/۵۸	۱۹/۶۹±۴/۹۷	۰/۸۶۵	۵۲/۰۲±۱۱/۱۰	۵۴/۷۳±۸/۲۰	۰/۴۷۸
	زنان	۱۹/۵۰±۳/۲۴	۱۶/۰۶±۲/۴۲	W ۰/۱۷۳	۵۷/۸۶±۶/۰۷	۴۹/۳۸±۱۱/۱۰	۰/۱۶۲
بخش خارجی پاشنه	مردان	۱۸/۵۱±۴/۴۷	۱۹/۷۱±۵/۴۳	۰/۳۹۸	۴۱/۸۳±۹/۸۴	۴۵/۱۴±۱۱/۳۳	۰/۳۲۳
	زنان	۲۰/۵۰±۴/۵۰	۱۸/۵۳±۶/۱۳	۰/۴۸۴	۵۳/۴۶±۱۲/۷۷	۵۰/۵۵±۱۹/۸۷	۰/۶۵۲

*: معناداری در سطح p<۰/۰۵، W: به معنای استفاده از آزمون ویلکاسکون به علت توزیع غیر نرمال است. Metatarsal : استخوان کف‌پایی

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳: مقایسه نسبت زمانی مراحل چهارگانه بین پیش و پس‌آزمون

مراحل Roll-over	جنس	قبل خستگی (انحراف معیار± میانگین)	بعد خستگی (انحراف معیار± میانگین)	اندازه احتمال
تماس اولیه (درصد)	مردان	۶/۰۲±۲/۲۰	۴/۶۸±۱/۵۰	*۰/۰۲۵
	زنان	۷/۰۸±۱/۸۶	۴/۷۵±۱/۱۲	*۰/۰۳۴
تماس جلوی پا (درصد)	مردان	۵/۵۳±۳/۱۱	۳/۶۱±۲/۰۳	W *۰/۰۲۵
	زنان	۳/۸۵±۲/۴۰	۲/۱۳±۱/۶۴	W ۰/۲۳۴
صاف شدن پا (درصد)	مردان	۳۷/۴۴±۶/۰۳	۳۹/۱۸±۴/۸۶	۰/۰۷۵
	زنان	۳۸/۹۰±۷/۸۱	۳۹/۳۵±۵/۹۷	W ۰/۸۳۴
هل دادن جلوی پا (درصد)	مردان	۵۰/۹۹±۶/۱۷	۵۲/۶۰±۵/۳۵	*۰/۰۰۲
	زنان	۵۰/۱۵±۶/۹۴	۵۳/۷۵±۵/۲۳	*۰/۰۳۶
نسبت نیروی داخلی-خارجی در مرحله هل دادن جلوی پا	مردان	۰/۳۶۵±۰/۱۶	۰/۳۲۰±۰/۱۷	*۰/۰۲۸
	زنان	۰/۳۷۱±۰/۱۴	۰/۳۴۶±۰/۱۵	*۰/۰۲۲

*: معناداری در سطح p<۰/۰۵، W: به معنای استفاده از آزمون ویلکاسکون به علت توزیع غیر نرمال است.

جدول۴: مقایسه زمان رسیدن به حداکثر نیروی مناطق ده‌گانه پا قبل و بعد از خستگی

		زمان رسیدن به حداکثر نیرو (درصد)		
ناحیه آناتومیکی پا	جنس	قبل خستگی (میانگین ± انحراف معیار)	بعد خستگی (میانگین ± انحراف معیار)	اندازه احتمال
انگشت شست	مردان	۶۲/۶۹±۵/۰۶	۶۲/۷۰±۶/۲۰	۰/۹۹۸
	زنان	۶۲/۸۹±۴/۴۱	۶۱/۹۵±۴/۷۳	۰/۴۴۳
انگشتان دوم تا پنجم	مردان	۶۴/۷۱±۵/۵۷	۶۳/۲۱±۴/۸۶	W۰/۳۲۶
	زنان	۶۵/۰۸±۵/۳۶	۶۳/۹۲±۹/۴۷	۰/۶۶۷
Metatarsal اول	مردان	۴۸/۰۵±۳/۰۱	۴۹/۷۸±۳/۶۹	۰/۰۵۸
	زنان	۴۸/۹۶±۵/۳۱	۴۸/۳۷±۴/۲۰	۰/۶۰۱
Metatarsal دوم	مردان	۵۱/۶۹±۲/۶۷	۵۱/۹۵±۳/۷۱	۰/۶۴۵
	زنان	۵۰/۴۳±۳/۱۳	۴۹/۸۳±۳/۶۰	W ۰/۵۵۴
Metatarsal سوم	مردان	۵۰/۸۵±۲/۳۳	۵۰/۶۳±۲/۴۸	۰/۶۹۹
	زنان	۵۰/۶۸±۳/۰۱	۵۰/۴۷±۳/۲۶	۰/۸۵۴
Metatarsal چهارم	مردان	۴۸/۹۴±۳/۲۳	۴۷/۵۱±۱/۹۶	* ۰/۰۳۱
	زنان	۴۷/۳۶±۳/۱۲	۴۶/۹۳±۲/۸۴	۰/۶۹۶
Metatarsal پنجم	مردان	۴۵/۰۱±۲/۲۶	۴۲/۶۰±۵/۲۶	۰/۲۰۶
	زنان	۴۴/۳۸±۲/۲۳	۴۳/۹۳±۳/۱۵	۰/۷۰۶
وسط پا	مردان	۳۳/۵۶±۳/۸۵	۳۳/۰۱±۳/۴۱	۰/۳۵۲
	زنان	۳۱/۴۲±۳/۵۳	۲۹/۷۷±۴/۴۷	۰/۰۵۶
بخش داخلی پاشنه	مردان	۵/۷۷±۲/۴۵	۷/۰۴±۲/۳۳	۰/۱۰۵
	زنان	۶/۲۶±۱/۳۳	۵/۴۳±۱/۸۰	۰/۴۰۸
بخش خارجی پاشنه	مردان	۵/۲۸±۱/۸۷	۴/۵۵±۱/۴۱	۰/۲۷۷
	زنان	۴/۳۲±۱/۴۹	۵/۱۳±۲/۴۶	۰/۴۸۹

*: معناداری در سطح p<۰/۰۵، W: به معنای استفاده از آزمون ویلکاسکون به علت توزیع غیرنرمال است
Metatarsal: استخوان کف‌پایی

Archive of SID

www.SID.ir

همکاران در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که خستگی، ظرفیت سیستم اسکلتی عضلانی را در جذب شوک کاهش می‌دهد (۲۳). این کاهش در توانایی جذب شوک نیز می‌تواند بیانگر افزایش بارگیری پا در فرایند roll-over شود.

مطالعات پیشین در وضعیتی که آزمودنی به خستگی نرسیده است، نشان می‌دهند که تماس اولیه پاشنه باعث ایجاد گشتاور دورسی فلکسوری می‌شود. پس از لمس زمین توسط پا، پاشنه کمی سوپی‌نیت است، حین مرحله اتکاء پرونیت می‌شود و دوباره در مرحله هل دادن سوپی-نیت می‌شود (۲۴). در وضعیت خستگی، دوندگان تغییراتی را به‌عنوان استراتژی جبرانی در تکنیک فرود پای خود ایجاد می‌کنند که ممکن است باعث ایجاد یک گشتاور دورسی فلکشن خارجی شود (۲۵). در مطالعات انجام شده، این تغییرات به عنوان سازشی در بارگیری وسط پا و جلوی پا به عنوان یک سازوکار بالقوه برای توسعه استرس فراکچر درنظر گرفته می‌شود (۲۶). این موارد با یافته‌های پژوهش حاضر همسو است، بنابراین این تغییرات دوندگان را در معرض سازوکار بارگیری بیش از حد آسیب‌زا قرار می‌دهد. بارگیری افزایش یافته جلوی پا در شرایط خستگی، ممکن است باعث ایجاد اختلال در فرایند بازسازی استخوانهای Metatarsalها شود که این شرایط شانس ابتلا به شکستگی ناشی از خستگی را در این استخوانها افزایش می‌دهد (۲۷). نشان داده شده است که تغییرات در ساختار استخوانی باعث افزایش سریع در شیوع استرس فراکچر می‌شود (۲۸). بنابراین با توجه به افزایش بارگیری Metatarsalها در این مطالعه، به نظر می‌رسد که تغییرات حاصل از خستگی ناشی از دویدن ریسک ابتلا به استرس فراکچر را در دوندگان مبتدی افزایش می‌دهد. Thijs و همکاران، در مطالعه‌ای آتی‌نگر، به ریسک فاکتورهای راه‌رفتن در ابتلا به درد کشککی رانی در دوندگان مبتدی پرداختند (۱۴). نتایج مطالعه آنها نشان داد که نیروی بیش‌تر در Metatarsalهای دوم و سوم با ابتلا به سندروم درد کشککی رانی در ارتباط است (۱۴).

نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که پس از خستگی نیروی وارد بر Metatarsalهای دوم و سوم با افزایش معناداری همراه است. ممکن است این افزایش بارگیری در ناحیه Metatarsal دوم و سوم ریسک ابتلا به سندروم درد کشککی رانی را در دوندگان مبتدی افزایش دهد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که خستگی باعث خارجی‌تر شدن نسبت نیروی داخلی-خارجی در مرحله هل دادن جلوی پا می‌شود. مطالعه‌ای آتی نگر نشان داد که roll-off خارجی‌تر، ریسک فاکتوری برای ابتلا به درد پایین ساق می‌باشد (۲۹). نتایج مطالعه آتی‌نگر دیگری نیز نشان داد که نسبت نیروی داخلی-خارجی خارجی‌تر برای ابتلا به اینورژن اسپرین به عنوان ریسک فاکتور مهمی تلقی می‌شود (۲۰). از دیگر یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان به کاهش درصد زمان مرحله تماس اولیه و تماس جلوی پا اشاره کرد. این کاهش می‌تواند بیانگر کاهش دورسی فلکشن مچ پا در لحظه تماس پاشنه با زمین باشد. Christina و همکاران، نشان دادند که خستگی میزان دورسی فلکشن پای دوندگان را در لحظه تماس پاشنه کاهش می‌دهد (۳۰). وضعیت قرارگیری پا در لحظه تماس پاشنه نقش مهمی در تعیین نرخ بارگیری نیروهای تماسی دارد (۳۱). کاهش در زاویه دورسی فلکشن مچ پا می‌تواند نشانه‌ای از ضعف عملکرد عضله درشت نئی قدامی باشد (۳۰) که با کاهش توانایی عمل اکسنتریک این عضله و جذب انرژی پس از تماس باشنه همراه است. در این مطالعه درصد زمانی مرحله هل دادن پس از خستگی افزایش پیدا کرد. شاید این یافته، برجسته ترین یافته این پژوهش باشد. زیرا مطالعه‌ای که اثر خستگی روی زمان درگیری بخشهای مختلف پا را در وضعیت حرکتی پا در تماس با زمین هنگام دویدن (Roll-over) را بررسی کرده باشد یافت نشد. تفاوت در درصد مدت زمان درگیری مرحله هل دادن جلوی پا در تغییرات حاصل از خستگی موثر است. احتمال دارد که این افزایش زمان درگیری، باعث افزایش در مدت زمان بارگیری Metatarsalها و جلوی پا می‌شود و همین امر موجب افزایش بار وارد بر مناطق جلوی پا شود.

نتایج این مطالعه در مورد زمان رسیدن به حداکثر نیرو نشان داد که خستگی تنها ناحیه Metatarsal چهارم را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث کمتر شدن مدت زمان رسیدن به حداکثر نیروی این ناحیه می‌شود و در دیگر نواحی، خستگی اثری روی مدت زمان رسیدن به حداکثر نیرو ندارد. شاید این یافته نشانه‌ای دیگر از تغییرات سازشی حاصل از خستگی حین دویدن باشد. Dierks و همکاران در سال ۲۰۱۰ نشان دادند که علیرغم وجود

Archive of SID

www.SID.ir

تغییرات کینماتیکی مشاهده شده، در زمان‌بندی متغیرهای کینماتیک تغییری مشاهده نشد (۳۲). نتایج این مطالعه با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا است. با توجه به اینکه خستگی، تنها زمان رسیدن به حداکثر فشار ناحیه Metatarsal چهارم را کاهش داده است، نمی‌توان با قاطعیت بیان کرد که تغییر در مدت زمان رسیدن به حداکثر نیروی این ناحیه اثر زیادی روی الگوی کلی داشته باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که خستگی تغییری در الگوی زمان رسیدن به حداکثر نیروی نواحی پا ندارد. مطالعات بیشتری لازم است تا به بررسی اثر این تغییر در زمان رسیدن به حداکثر نیروی ناحیه Metatarsal چهارم بپردازد. این پژوهش دارای محدودیتهایی نیز بود که از آن جمله می‌توان به عدم مطالعه همزمان کینماتیکی اشاره کرد که کنترل این عامل به نوبه خود قادر به ارائه توضیحات بیشتری در کنترل حرکات پا حین مرحله اتکاء دویدن است. نتایج این مطالعه نشان داد که پس از خستگی الگوی توزیع بار و فشار کف پایی دوندگان تغییر می‌کند. این تغییرات شامل افزایش فشار در نواحی Metatarsalهای دوم تا پنجم و افزایش نیروی وارد بر نواحی Metatarsalهای دوم، سوم و چهارم و وسط پا بود. علاوه بر این، خستگی نسبت زمانی مراحل تماس اولیه و صاف شدن جلوی پا را کاهش و مرحله هل دادنجلوی پا را افزایش می‌دهد. متعاقب افزایش نسبت درصد زمان مرحله هل دادن جلوی پا، بارگیری جلوی پا افزایش و نسبت نیروی داخلی-خارجی کاهش پیدا می‌کند. در نهایت اینکه خستگی اثر کمی روی الگوی زمانی رسیدن به حداکثر نیروی نواحی مختلف پا دارد. بسیاری از تغییرات حاصل در شرایط خستگی بعنوان ریسک فاکتورهایی برای آسیبهایی مانند درد کشککی رانی، استرس فراکچر، درد پایین ساق و اینورژن اسپرین مچ پا محسوب می‌شود.

به فعالان حوزه کفش ورزشی و ارتوز (کفی طبی) پیشنهاد می‌شود که در تولید محصولات خود اصلاحاتی را به وجود آوردند تا این تغییرات ایجاد شده براثر خستگی را تا حد ممکن به پایین‌ترین حد برساند.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان نامه دکتری بیومکانیک ورزشی نویسنده دوم (حامد اسماعیلی) در دانشگاه بوعلی سینا است. نگارندگان مقاله، بدینوسیله مراتب تشکر خود را از مسئولین محترم دانشگاه بوعلی سینا و کلیه آزمودنی‌های شرکت کننده در مطالعه اعلام می‌دارند.

منابع

1. Brisson C, Larocque B, Moisan J, Vézina M, Dagenais GR. Psychosocial Factors At Work, Smoking, Sedentary Behavior, and Body Mass Index: A Prevalence Study Among 6995 White Collar Workers. J Occup Environ Med 2000; 42(1): 40-6.

2. Blair SN, BrodneyS. Effects of physical inactivity and obesity on morbidity and mortality: current evidence and research issues. Med Sci Sports Exerc 1999; 31(11): 646-62.

3. Folsom AR, Kushi LH, Hong CP. Physical activity and incident diabetes mellitus in postmenopausal women. Am J Public Health 2000; 90(1):134-8.

4. Tang R, Wang JY, Lo SK, Hsieh LL. Physical activity, water intake and risk of colorectal cancer in Taiwan: A hospital-based case-control study. Int J Cancer 1999; 82(4): 484-9.

5. van Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, van Os AG, Bierma-Zeinstra SM, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. Br J Sports Med 2007; 41(8): 469-80.

6. Buist I, Bredeweg SW, Bessem B, van Mechelen W, Lemmink KA, Diercks RL. Incidence and risk factors of runningr elated injuries during preparation for a 4-mile recreational running event. Br J Sports Med 2010; 44(8): 598-604.

7. Meeuwisse W. Assessing causation in sport injury: a multifactorial model. Clin J Sports Med 1994; 4: 166-70.

8. Marti B, Vader JP, Minder CE, Abelin T. On the epidemiology of running injuries. The 1984 Bern Grand-Prix study. Am J Sports Med 1988; 16(3): 285-94.

9. Hreljac A. Etiology, prevention, and early intervention of overuse injuries in runners: a biomechanical perspective. Phys Med Rehabil Clin North Am 2005; 16(3): 651–67.

10. Stanish WD. Overuse injuries in athletes: a perspective. Med Sci Sports Exerc 1984; 16(1): 1-7

Archive of SID

www.SID.ir

11. Murphy DF, Connolly DA, Beynnon BD. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. Br J Sports Med 2003; 37(1): 13-29.

12. Hreljac A. Impact and overuse injuries in runners. Med Sci Sports Exerc 2004; 36(5): 845-9.

13. Ghani Zadeh Hesar N, Van Ginckel A, Cools A, Peersman W, Roosen P, De Clercq D, et al. A Prospective study on gait-related intrinsic risk factors for lower leg overuse injuries. Br J Sports Med 2009; 43: 1057-61.

14. Thijs Y, De Clercq D, Roosen P, Witvrouw E. Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners. Br J Sports Med 2008; 42: 466-71.

15. Willems TM, Witvrouw E, De Cock A, De Clercq D. Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running. Med Sci Sports Exerc 2007; 39: 330-9.

16. Koblbauer IF, van Schooten KS, Verhagen EA,van Dieën JH. Kinematic changes during running-induced fatigue and relations with core endurance in novice runners. J Sci Med Sport 2014; 17(4): 419-24.

17. Willems TM, De Ridder R, Roosen P. The effect of a long-distance run on plantar pressure distribution during running. Gait Posture 2012; 35(3): 405-9.

18. Elliot B, AcklandT. Biomechanical effects of fatigue on 10,000 meter running technique. Res Q Exerc Sport 1981; 52(2): 160-6.

19. Williams DS, McClay IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. Phys Ther 2000; 80: 864-71.

20. Willems T, Witvrouw E, Delbaere K, De Cock A, De Clercq D. Relationship between gait biomechanics and inversion sprains: a prospective study of risk factors. Gait Posture 2005; 21(4): 379-87.

21. De Cock A, De Clercq D, Willems T, Witvrouw E. Temporal characteristics of foot roll-over during barefoot jogging: reference data for young adults. Gait Posture 2005; 21(4): 432-9.

22. Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D. Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads: a barefoot walking investigation of 200 marathon runners.Gait Posture 2008; 27(1): 152-5.

23. Voloshin AS, Mizrahi J, Verbitsky O, Isakov E. Dynamic loading on the human musculoskeletal system—effect of fatigue. Clin Biomech 1998; 13(7): 515-20.

24. Cavanagh PR. The biomechanics of lower extremity action in distance running. Foot Ankle 1987; 7(4): 197-217.

25. Nigg BM. Biomechanics, load analysis and sports injuries in the lowerextremities. Sports Med 1985; 2(5): 367-78.

26. Arndt A, Ekenman I, Westblad P, Lundberg A.Effects of fatigue and load variation on metatarsal deformation measured in vivo during barefoot walking. J Biomech 2002; 35(5): 621-628.

27. Arendt EA. Stress fractures and the female athlete. Clin Orthop 2000; 372: 131-138.

28. McAllister DR, Koh J, Bergfeld JA. Plantar ganglion cyst associated with stress fracture of the third metatarsal. Am J Orthop 2003; 32(1): 35-37.

29. Willems TM, De Clercq D, Delbaere K, Vanderstraeten G, De Cock A, Witvrouw E. A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. Gait Posture 2006; 23(1): 91–8.

30. Christina KA, White SC, Gilchrist LA. Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running. Hum Mov Sci 2001; 20(3): 257-76.

31. Gerritsen KG, van den Bogert AJ, Nigg BM. Direct dynamics simulation of the impact phase in heel-toe running. J Biomech 1995; 28(6): 661-8.

32. Dierks TA, Davis IS, Hamill J. The effects of running in an exerted state on lower extremity kinematics and joint timing. J Biomech 2010; 43(15): 2993-8.

Archive of SID

www.SID.ir