اثر خستگی موضعی عضلات چهارسررانی بر تغییرات مرکز فشار و توزیع فشار کف‌پایی در مرحله استانس راه‌رفتن

بهروز حاجیلو: کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
مصطفی سپهریان: دانشجوی کارشناسی ارشد بیومکانیک ورزشی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
حامد اسماعیلی: دانشجوی دکترای بیومکانیک ورزشی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
***مهرداد عنبریان:** دانشیار بیومکانیک ورزشی گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (*نویسنده مسئول). m_anbarian@yahoo.com، anbarian@basu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲

چکیده

زمینه و هدف: اثر خستگی عضلات اندام تحتانی بر تغییرات توزیع فشار کف‌پایی هنگام راه رفتن به روشنی مطالعه نشده است. هدف این مطالعه، تعیین تأثیر خستگی موضعی عضلات چهارسر ران بر تغییرات مرکز فشار و توزیع فشار کف‌پایی در مرحله استانس راه رفتن بود.

روش کار: ۲۲ نفر مرد (سن: ۳/۱۷±۲۳/۵ سال، وزن: ۳/۲۱±۷۸/۸ کیلوگرم، قد: ۴/۶۴±۱۷۹/۲ سانتی متر) در این مطالعه شرکت کردند. برای ایجاد خستگی عضلات چهارسر ران از دستگاه Leg Extension با بار ۵۰ درصد یک تکرار بیشینه استفاده شد. توزیع حداکثر فشار کف‌پایی در طی مرحله استانس راه رفتن با استفاده از دستگاه فشار کف‌پایی ثبت شد. از روش آماری t همبسته برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

یافته‌ها: حداکثر فشار وارده در نواحی انگشت شست پا، ناحیه استخوان کف-پایی ۱، ناحیه استخوان کف‌پایی ۳، ناحیه استخوان کف‌پایی ۴، ناحیه استخوان کف‌پایی ۵ و ناحیه خارجی پاشنه به طور معنی داری پس از اعمال خستگی افزایش یافت (به ترتیب: p=۰/۰۰۱، p=۰/۰۱۱، p=۰/۰۰۱، p=۰/۰۱۳ و p=۰/۰۰۱)، در حالی که در نواحی داخلی پاشنه و انگشتان ۲ تا ۵ کاهش فشار دیده شد (به ترتیب: p= ۰/۰۰۱ و p=۰/۰۰۱) پس از خستگی در زیر مرحله تماس، مرکز فشار به طور معنی داری به سمت خارج محور طولی پا و در زیر مرحله پیشروی به سمت داخل محور طولی پا متمایل شد (به ترتیب: p= ۰/۰۰۱ و p=۰/۰۰۳).

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که خستگی عضلات چهارسر ران می‌تواند باعث افزایش فشارهای کف‌پایی و در نتیجه باعث ایجاد درد و آسیب‌دیدگی‌های اندام تحتانی شود.

کلیدواژه‌ها: توزیع فشار کف‌پایی، مرکز فشار پا، خستگی عضلات چهارسررانی، راه رفتن

مقدمه

راه رفتن به عنوان مهارت پایه، بیشترین بخش فعالیت حرکتی روزمره انسان را به خود اختصاص می‌دهد (۱،۲). عوامل متعددی نظیر بیماری‌های عصبی- عضلانی، ضایعات مغزی- نخاعی، آسیب‌دیدگی رباطی- مفصلی و خستگی بر بیومکانیک راه رفتن اثر می‌گذارند (۳-۶). تحقیقات نشان داده‌اند که خستگی عضلات پیرامون یک مفصل (خستگی موضعی) می‌تواند باعث تغییر الگوی حرکت، تغییر در هم انقباضی عضلات آن مفصل، تغییر نیروی عکس‌العمل زمین و در نتیجه افزایش ریسک آسیب‌دیدگی شود ۶-۹). گروه عضلات چهارسررانی به عنوان بازکننده اصلی مفصل زانو، از جمله عضلاتی هستند که در بیشتر فعالیت‌های حرکتی، و به ویژه در مهارت‌های مختلف ورزشی شرکت دارند (۱۰، ۸، ۱۱). عضلات چهارسررانی در تولید توان اندام تحتانی برای پیشروی و انتقال بدن بسیار مهم بوده و ممکن است در طی فعالیت‌های مختلف، در معرض استفاده بیش از حد و در نتیجه خستگی موضعی قرار گیرند (۱۲، ۱۳، ۸). خستگی این گروه عضلانی می‌تواند باعث بروز تغییرات کنتیکی و کینماتیکی اندام تحتانی در حین راه رفتن شود. تحقیق Hatfield نشان داد بعد از خستگی عضلات چهارسررانی گشتاور تولیدی در مفاصل ران و مچ برای جبران کاهش گشتاور اکستنسوری

مفصل زانو افزایش می‌یابد، همچنین اطلاعات کینماتیکی این تحقیق نشان داد سرعت راه رفتن بعد از خستگی عضلات چهارسررانی تغییری نمی‌کند ولی کاهش زاویه فلکشن زانو و افزایش زاویه دورسی فلکشن مچ پا در زیر مرحله تماس راه رفتن اتفاق می‌افتد (۱۲). Parijat گزارش کرد سرعت تماس پاشنه بعد از خستگی عضلات چهارسررانی افزایش می‌یابد (۱۳).

پا تنها ساختار آناتومیکی بدن است که با زمین در تماس بوده و به عنوان انتهایی‌ترین بخش زنجیره حرکتی اندام تحتانی در برابر نیروهای اعمالی مقاومت می‌کند (۱۴). توزیع نامناسب نیروها سبب ایجاد حرکات غیر طبیعی و اعمال استرس زیاد شده و آسیب بافت و عضلات پا را به دنبال خواهد داشت (۱۴). برای مثال، افزایش و یا کاهش فشار در زیر پاشنه باعث ناتوانی در کنترل حرکات اینورشن و اورشن مفصل ساب‌تالار، کاهش جذب شوک در زمان برخورد پاشنه (Heel contact) و کاهش توان عضلانی در انتقال وزن (Loading response) راه رفتن می‌شود (۷). مرکز فشار (Center of Pressure) و توزیع حداکثر فشار (Peak pressure) در نواحی مختلف کف پا در بررسی‌های مربوط به راه رفتن به عنوان فاکتورهای اصلی مورد توجه قرار می‌گیرد (۲۴، ۲۳، ۱۴، ۵، ۳). تجزیه و تحلیل فشار کف‌پایی، دیدگاه جدیدی در آسیب شناسی اندام تحتانی ایجاد کرده است؛ به طوری که محققان بسیاری حداکثر فشار وارده بر سطح زیر پا در مرحله استانس راه رفتن را مورد استفاده قرار داده تا عوامل ایجاد درد و آسیب اندام تحتانی را مطالعه کنند (۱۵-۱۷، ۷، ۱۴).

مطالعات گذشته بیان داشتند که نیروی عکس‌العمل زمین (Ground Reaction Force) حساسیت کافی برای کشف تغییرات بیومکانیکی پا که بر اثر خستگی ایجاد می‌شود را ندارد (۷). مطالعات معدودی اثر خستگی عمومی را بر روی متغیرهای فشار کف‌پایی هنگام دویدن را بررسی کرده‌اند (۱۷، ۷). با وجود این مطالعه‌ای که اثر خستگی موضعی عضلات چهارسررانی بر تغییرات مرکز فشار پا و همچنین توزیع فشار کف‌پایی هنگام راه رفتن پرداخته باشد یافت نشد. در زیر مرحله تماس راه رفتن، عضلات چهارسررانی با انقباض اکسنتریکی خود، فلکشن زانو را کنترل کرده و همچنین بارهای تماسی را در جذب می‌کنند تا از آسیب دیدگی مفاصل اندام تحتانی جلوگیری کنند (۱، ۱۲، ۶، ۱۸، ۱۹). بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثر خستگی موضعی عضلات چهارسررانی بر تغییرات مرکز فشار و توزیع فشار کف‌پایی در مرحله استانس راه رفتن بود.

روش کار

تعداد ۲۲ نفر مرد (سن: ۳/۱۷±۲۳/۵ سال، وزن: ۳/۲۱±۷۸/۸ کیلوگرم، قد: ۴/۶۴±۱۷۹/۲ سانتی‌متر) از میان دانشجویان دانشگاه بوعلی سینا به طور تصادفی انتخاب شدند. آزمودنی‌ها پس از اطلاع از روند پژوهش، به طور داوطلبانه و با کسب موافقت‌نامه آگاهانه وارد مطالعه شدند. آزمودنی‌ها سالم و فاقد هرگونه ناهنجاری یا آسیب‌های اسکلتی-عضلانی در اندام تحتانی و یا بیماری در یک ساله گذشته بودند (۹، ۱۱).

در این تحقیق برای ایجاد خستگی عضلات چهارسران از دستگاه Leg Extension استفاده شد. برای انجام پروتکل خستگی، هر آزمودنی حرکت اکستنشن کامل زانو را از وضعیت فلکشن ۹۰ درجه زانو با دستگاه Leg Extension و وزنه‌ای برابر با ۵۰ درصد یک تکرار بیشینه (1RM) و تا حد درماندگی و خستگی به شکلی که قادر به انجام حرکت اکستنشن کامل زانو نباشد ادامه می‌داد (۲۲-۲۵). هر آزمودنی چهار مرتبه (ست) این فعالیت را انجام می‌داد (۲۰، ۲۱). در بین هر ست، آزمودنی ۱ دقیقه استراحت می‌کرد. برای کنترل زاویه ۹۰ درجه فلکشن زانو تا اکستنشن کامل زانو، از الکتروگونیامتر بیومتریکس مدل SG150، ساخت کشور فنلاند استفاده شد (۲۲، ۲۵). تغییرات زاویه‌ای حرکت، به صورت فیدبک بر روی یک مانیتور به آزمودنی نمایش داده می‌شد. برای ثبت اطلاعات مرکز فشار و حداکثر فشار کف‌پایی از دستگاه اندازه گیری فشار کف‌پایی (RS scan) ساخت کشور بلژیک با طول ۱۰۶۸ میلی متر، عرض ۴۱۸ میلی متر و

تعداد ۸۱۹۲ سنسور با فرکانس نمونه برداری ۵۰۰ هرتز استفاده شد. در این مطالعه، کف پا به ۱۰ منطقه آناتومیکی شامل ناحیه خارجی پاشنه پا، ناحیه داخلی پاشنه پا، ناحیه میانی کف پا، سرهای پنج استخوان کف پا، انگشتان ۲ تا ۵ و انگشت شست پا تقسیم‌بندی شد. متغیرهای حداکثر فشار کف پا و مسیر حرکت COP_x در حالی که آزمودنی‌ها با پای برهنه یک مسیر ۱۵ متری راه رفتن را طی می‌کردند اندازه گیری شد. دستگاه اندازه گیری فشار کف‌پایی در فاصله ۱۰ متری این مسیر به صورت طولی قرار گرفته بود. قبل از اجرای آزمون اصلی از آزمودنی‌ها خواسته می‌شد تا با سرعت طبیعی به مدت ۲ تا ۳ دقیقه، راه رفتن را بر روی دستگاه تمرین کنند تا بتوانند در موقع اجرای آزمون اصلی هر دوپا را با دستگاه تماس دهند. هر آزمودنی ۶ بار مسیر آزمون را طی می‌کرد. بعد از اتمام پروتکل خستگی، آزمودنی‌ها مجدد مسیر ۱۵ متری آزمون را مانند قبل طی می‌کردند.

پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو- ویلک، از روش آماری t همبسته برای تشخیص تفاوت‌های ایجاد شده قبل و پس از اعمال خستگی استفاده شد ($p<۰/۰۵$).

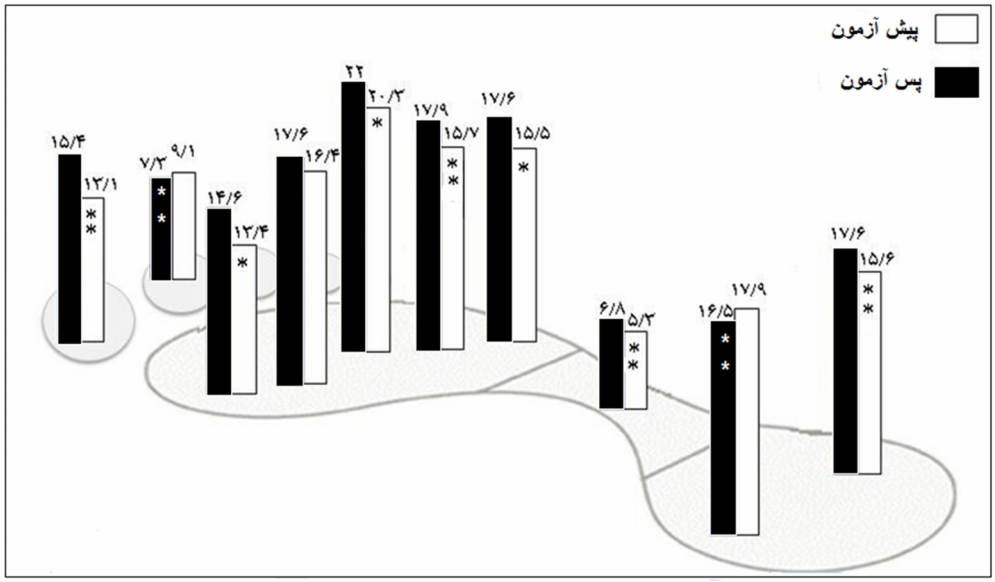
یافته‌ها

جدول و نمودار ۱، میانگین و انحراف استاندارد مقادیر حداکثر فشار نواحی ده‌گانه کف‌پایی در مراحل قبل و پس از اعمال خستگی موضعی در مرحله استانس راه رفتن را نشان داده‌اند. همان طور که مشاهده می‌شود حداکثر فشار نواحی انگشتان ۲ تا ۵ و ناحیه داخلی پاشنه پا در پس آزمون به صورت معناداری کمتر از پیش آزمون بوده است (به ترتیب: $p=۰/۰۰۱$ و $p=۰/۰۰۱$). همچنین حداکثر فشار نواحی انگشت شست پا ($p=۰/۰۰۱$)، ناحیه استخوان کف‌پایی اول ($p=۰/۰۱۳$)، ناحیه استخوان کف‌پایی سوم ($p=۰/۰۱۹$)، ناحیه استخوان کف‌پایی چهارم ($p=۰/۰۰۱$)، ناحیه استخوان کف‌پایی پنجم ($p=۰/۰۱۱$) و ناحیه خارجی پاشنه ($p=۰/۰۰۱$) در پس آزمون به صورت معناداری بیشتر از پیش آزمون بوده است.

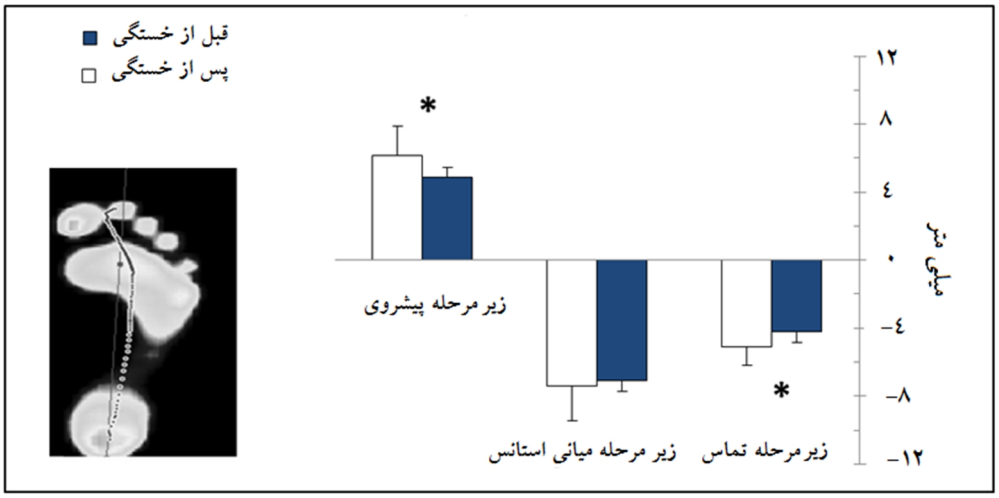
مقایسه میانگین و انحراف استاندارد تغییرات مرکز فشار طی زیر مراحل استانس قبل و بعد از پروتکل خستگی موضعی در نمودار ۲ نشان داده شده است. مقادیر مثبت نشان دهنده حرکت مرکز فشار به سمت داخلی محور طولی کف پا (پرونیشن پا) و مقادیر منفی، نشان دهنده حرکت مرکز فشار به سمت خارج محور طولی کف پا (سوپی‌نیشن پا) است. همان طور که مشاهده می شود در زیر مرحله تماس، مرکز فشار بعد از پروتکل خستگی به صورت معناداری به سمت خارج محور طولی کف پا متمایل شده است ($p=۰/۰۰۱$). در زیر مرحله میانی استانس تفاوت معناداری مشاهده نشد. در زیر مرحله پیشروی

جدول ۱- مقایسه میانگین حداکثر فشار طی راه رفتن در دو نوبت پیش آزمون و پس آزمون (N/cm^2)

مناطق کف پا	میانگین و انحراف استاندارد پیش آزمون	میانگین و انحراف استاندارد پس آزمون	ارزش p
انگشت شست	۱۳/۱۳±۱/۹۷	۱۵/۳۹±۱/۴۸	۰/۰۰۱
انگشتان ۵-۲	۹/۱۵±۲/۰۶	۷/۲۷±۱/۸۴	۰/۰۰۱
استخوان کف‌پایی ۱	۱۳/۳۷±۱/۱۷	۱۴/۶۴±۱/۸۴	۰/۰۱۳
استخوان کف‌پایی ۲	۱۶/۳۷±۱/۳۵	۱۷/۶۱±۲/۶۲	۰/۱۲۳
استخوان کف‌پایی ۳	۲۰/۲۷±۲/۲۸	۲۱/۹۶±۰/۷۳	۰/۰۱۹
استخوان کف‌پایی ۴	۱۵/۶۹±۱/۹	۱۷/۸۶±۱/۶۷	۰/۰۰۱
استخوان کف‌پایی ۵	۱۵/۴۸±۱/۳۲	۱۷/۵۶±۲/۸۶	۰/۰۱۱
ناحیه میانی پا	۵/۳۲±۱/۴۷	۶/۷۷±۱/۷۳	۰/۰۰۱
ناحیه خارجی پاشنه	۱۵/۶۲±۱/۷	۱۷/۵۸±۱/۶۸	۰/۰۰۱
ناحیه داخلی پاشنه	۱۷/۹۲±۲/۱۵	۱۶/۵۴±۲/۱۹	۰/۰۰۱



نمودار ۱- توزیع حداکثر فشار در نواحی ده‌گانه قبل و بعد از پروتکل خستگی (واحد اندازه‌گیری: نیوتن بر سانتی‌متر مربع)
** معناداری کمتر از ۰/۰۰۱، * معناداری کمتر از ۰/۰۵



نمودار ۲- مقایسه میانگین و انحراف استاندارد تغییرات مرکز فشار طی زیر مراحل استانس قبل و بعد از پروتکل خستگی موضعی عضله چهارسرران. COP_x بیان کننده تغییرات جانب داخلی- جانب خارجی مرکز فشار نسبت به محور x که بر محور طولی پا عمود است بوده و مقادیر مثبت نشان دهنده حرکت داخلی مرکز فشار و مقادیر منفی نشان دهنده حرکت مرکز فشار به سمت خارج پا است. مقادیر نسبت به عرض پا (عریض‌ترین نقطه پا در قسمت استخوان‌های کف‌پایی) به واحد میلی‌متر نرمالایز شده‌اند.

بعد از پروتکل خستگی مرکز فشار به صورت معناداری به سمت داخل محور طولی کف پا متمایل شده است (p=۰/۰۰۳).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در نواحی انگشتان ۲ تا ۵ و ناحیه داخلی پاشنه پا، توزیع حداکثر فشار کف‌پایی به صورت معناداری کاهش و در نواحی انگشت شست پا، ناحیه استخوان کف‌پایی اول، ناحیه استخوان کف‌پایی سوم، ناحیه استخوان کف‌پایی چهارم، ناحیه استخوان کف‌پایی پنجم و ناحیه خارجی پاشنه به صورت معناداری افزایش یافته است. همچنین نتایج تغییرات مرکز فشار نشان داد که در طی زیر مرحله تماس، مرکز فشار به صورت معناداری به سمت خارج و در زیر مرحله پیشروی به سمت داخل متمایل شده است.

مطالعات گوناگونی به بررسی اثر خستگی عضلانی اندام تحتانی بر توزیع فشار کف پا،

فعالیت الکترومایوگرافی عضلات اندام تحتانی و کنترل پاسچر پرداخته است (۵، ۱۷، ۱۳، ۲۶، ۹، ۱۱). با وجود این تا کنون مطالعه‌ای که به بررسی توزیع فشار کف پا و نحوه حرکت مرکز فشار (COP) در اثر خستگی موضعی عضلات چهارسر رانی پرداخته باشد، توسط محقق مشاهده نشد، به همین دلیل امکان مقایسه مستقیم نتایج پژوهش حاضر با مطالعات گذشته نمی‌باشد. Bisieux و همکاران طی بررسی اثر خستگی عمومی روی توزیع فشار کف‌پایی با پروتکل دویدن روی تریدمیل مشاهده کردند که حداکثر فشار کف‌پایی در نواحی استخوان‌های کف‌پایی ۲ و ۳ افزایش و در نواحی میانی کف پا و انگشت شست کاهش پیدا کرده است (۷). Nagel و همکاران به مطالعه توزیع فشار کف‌پایی دوندهای ماراتون پرداختند و متوجه افزایش حداکثر فشار در نواحی استخوان‌های ۲ تا ۵ کف‌پایی شدند (۱۷). مطالعه Weist و همکاران روی اثر خستگی عمومی بر توزیع فشار کف پا هنگام دویدن نشان داد که حداکثر فشار در نواحی استخوان‌های کف‌پایی ۲ و ۳ افزایش یافته است ولی در دیگر نواحی تفاوت‌ها معنادار نبوده است (۱۶). در این مطالعه بعد از خستگی موضعی عضلات چهارسررانی حداکثر فشار در نواحی استخوان‌های کف‌پایی ۲ تا ۵ افزایش پیدا کرد که با نتایج Nagel و همکاران؛ Weist و همکاران همسو است. همچنین افزایش حداکثر فشار استخوان‌های کف‌پایی ۲ و ۳ با نتایج Bisieux و همکاران همسو می‌باشد. در این مطالعه نتایج حداکثر فشار انگشت شست پا و ناحیه خارجی و داخلی پاشنه با مطالعات قبلی انجام شده مغایرت دارد. این اختلاف را می‌توان به خستگی موضعی عضلات چهارسررانی نسبت داد زیرا در مطالعات اشاره شده فوق به خستگی عمومی عضلات اندام تحتانی پرداخته شده بود. احتمالا به دلیل حرکت مرکز فشار بعد از خستگی عضلات چهارسررانی و تغییر در مکانیسم حرکتی مفاصل پا در حین راه رفتن می‌باشد.

افزایش حداکثر فشار در ناحیه خارجی پاشنه به دلیل تمایل مرکز فشار به خارج پا در زیر مرحله تماس راه رفتن می‌باشد. افزایش حداکثر فشار در نواحی استخوان‌های کف پا و انگشت شست نیز به دلیل تمایل مرکز فشار پا به داخل در زیر مرحله پیشروی راه رفتن است.

نتایج مربوط به فشار ناحیه داخلی و خارجی پاشنه نشان داد که بعد از خستگی عضلات چهارسررانی در هنگام زیر مراحل تماس و میانی استانس راه رفتن، کف پا به حالت سوپی‌نیشن در می‌آید و این می‌تواند باعث کاهش جذب بارهای تماسی کف پا شود (۱۹،۱۰). کاهش جذب بارهای تماسی کف پا باعث انتقال بار به مفاصل بالاتر و در نتیجه باعث آسیب مفاصل می‌شود (۱۸، ۱۹). افزایش فشار در نواحی استخوان‌های کف‌پایی و انگشت شست پا در طولانی مدت می‌تواند باعث شکستگی‌های فشاری (Stress fractures) این استخوان‌ها شود (۱۶، ۱۷، ۷).

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد بعد از خستگی، COP_X در زیر مرحله تماس راه رفتن به مقدار بیشتری به سمت مقادیر منفی رفته و در نتیجه پرونیشن کمتری در مفصل ساب‌تالار اتفاق افتاده است و باعث شده مرکز فشار به سمت خارج پا حرکت کند. عمل اصلی مفصل ساب‌تالار جذب چرخش اندام تحتانی در طی مرحله استانس است (۱، ۱۰). همچنین مفصل ساب‌تالار با انجام حرکت پرونیشن، باعث افزایش جذب شوک در این ناحیه می‌شود (۱، ۱۰). دلیل این حرکت مرکز فشار را با تحقیق کینماتیکی Hatfield می‌توان تفسیر نمود. هاتفیلد بیان کرد بعد از خستگی عضلات چهارسررانی چرخش خارجی درشت نی در طول مرحله استانس راه رفتن افزایش می‌یابد (۱۳). با چرخش خارجی درشت نی مفصل ساب‌تالار نیز سوپی‌نیشن انجام داده و باعث حرکت مرکز فشار به سمت خارج پا شده است (۱۰). حرکت پرونیشن پا در مرحله استانس راه رفتن ضروری است و بدن انسان با این مکانیسم نیروهای تماسی وارده از زمین را کاهش می‌دهد (۱۸، ۱۹). ممکن است تغیر ایجاد شده در مفصل ساب‌تالار باعث مکانیسم‌های افزایشی و کاهشی در گشتاور مفاصل فوقانی اندام تحتانی شده و فعالیت عضلات آن را تغییر دهد (۲۷). Goryachev و همکاران بیان داشت حرکت مرکز

فشار به طرف داخل و خارج پا باعث تغییر در گشتاور اداکشنی زانو می‌شود که می‌تواند باعث آسیب‌های مفصل زانو شود (۲۸).

Willems و همکاران تغییرات مرکز فشار و مکانیسم ایجاد اسپرین خارجی مچ پا را بررسی نمود. این پژوهش‌گران بیان داشتند در زیر مرحله تماس راه رفتن، حرکت مرکز فشار به سمت خارج پا باعث اینورشن می‌شود و در نتیجه ریسک آسیب اسپرین مچ پا افزایش می‌یابد (۱۵). در زیر مرحله میانی استانس تغییری معنی داری در حرکت مرکز فشار پا بعد از خستگی ایجاد نشده است.

بعد از خستگی در زیر مرحله پیشروی راه رفتن مرکز فشار به سمت مقادیر مثبت حرکت نموده و در نتیجه باعث پرونیشن بیشتری در مفصل ساب‌تالار شده است. پرونیشن مفصل ساب‌تالار در زیر مرحله پیشروی باعث کاهش استحکام مفصل ساب‌تالار و میدتارسال شده و در نتیجه باعث شلی مفصل می‌شود و بر نیروی پیشروی می‌تواند تأثیر گذار باشد (۱۰). کاهش سوپی‌نیشن پا باعث اختلال در چرخش خارجی ساق و اکستنشن زانو می‌شود و می‌تواند هماهنگی بین مفاصل اندام تحتانی را تحت تأثیر قرار دهد و احتمال آسیب‌هایی چون در کشککی- رانی را افزایش دهد (۱۰).

از جمله محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به عدم دسترسی به سیستم‌های جمع‌آوری داده‌های کینتیکی و کینماتیکی بود که در صورت وجود اطلاعات آن امکان تفسیر دقیق‌تر فعالیت عضلانی و مکانیزم‌های احتمالی جبرانی وجود داشت.

از نتایج این تحقیق نتیجه می‌شود که خستگی عضلات چهارسرران باعث افزایش فشارهای کف‌پایی و تغییر مکانیسم حرکتی مفاصل پا شده که این عوامل می‌توانند باعث ایجاد درد و آسیب‌دیدگی‌های اندام تحتانی شوند. آگاهی از تأثیرات خستگی بر متغیرهای بیومکانیکی راه رفتن می‌تواند در پیشگیری از آسیب‌دیدگی مفید واقع شود. پیشنهاد می‌شود که بعد از انجام فعالیت‌هایی که باعث خستگی عضلات چهارسرانی می‌شود میزان زمان مناسب برای رفع خستگی این عضلات اختصاص داده شود و از راه رفتن‌های طولانی مدت بعد از خستگی این عضلات خودداری شود.

تقدیر و تشکر

نتایج این تحقیق مستخرج از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد بیومکانیک ورزشی دانشگاه بوعلی سینا است. محققین مراتب تشکر و قدردانی خویش را از مسئولین دانشگاه اعلام می‌دارند. همچنین از همکاری و حمایت پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی برای اتمام این تحقیق سپاسگزاریم.

منابع

1. Winter DA. The Biomechanics and Motor Control of Human Gait: Normal, Elderly and Pathological. 2nd ed, Waterloo, Ontario, 1991.
2. Winter DA. Biomechanics of normal and pathological gait: Implications for understanding human locomotor control. Journal Motor Behavior 1989; 21 (4): 337-355.
3. Yoshino K, Motoshige T, Araki T, Matsuoka K. Effect of prolonged free-walking fatigue on gait and physiological rhythm. Journal of Biomechanics 2004; 37(8): 1271-1280.
4. Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. Gait & Posture 1995; 3(4): 193-214.
5. Qu X, Yeo JC. Effects of load carriage and fatigue on gait characteristics. Journal of Biomechanics 2011; 44(7): 1259-1263.
6. Paillard T. Effects of general and local fatigue on postural control: A review. Neuroscience and biobehavioral reviews 2012; 36 (1): 162-176.
7. Bisiaux M, Moretto P. The effects of fatigue on plantar pressure distribution in walking. Gait & Posture 2008; 28: 693–698.
8. Atarzadeh Hosseini R, Ebrahimi I, Gharakhanlou R, Rajabi H. A Study about The Effect of Fatigue Program on Electrical Activity on VMO and VL in Closed Kinetic Chain: Patellofemoral Pai. Harakat 2003; 17: 5-24. [Persian]
9. Shojadin S, johari K, Sadaghi H. The Effect of the Fatigue in Lower Extremity Proximal and Distal Muscles on Dynamic Balance in Male Soccer Players. Journal of Sport Medicine 2012; 2 (5): 65-80. [Persian]
10. Hamill J, Knutzen KM. Biomechanical Basis of Human Movement. 3rd Edition, Williams &

Wilkins. 2009.
11. Khayambashi Kh, Razeghi M, Abolghasemnejad A, Mojtahedi H. The Effect of Quadriceps Fatigue on Dynamic Balance While Walking. Journal of Sport Medicine 2012; 2 (5): 35-49. [Persian]
12. Parijat P, Lockhart TE. Effects of quadriceps fatigue on the biomechanics of gait and slip propensity. Gait & Posture 2008; 28 (4): 568-573.
13. Hatfield G. The Effects of Quadriceps Impairment on Lower Limb Kinematics, Kinetics And Muscle Activation During Gait In Young Adults. [Thesis] Dalhousie University Halifax, Canada, 2009.
14. Safaaeepoor Z, Ebrahimi I, Saiedi H, Kamali M. Investigation of Dynamic Plantar Pressure Distribution in Healthy Adults during Standind and Walking. Rehabilitation 2009; 10 (2): 8-15. [Persian]
15. 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: 379–387.
16. Weist R, Eils E, Rosenbaum D. The influence of muscle fatigue on electromyogram and plantar pressure patterns as an explanation for the incidence of metatarsal stress fractures. The American journal of sports medicine 2004; 32(8): 1893-1898.
17. 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) , 152-155.
18. Oatis CA. Kinesiology: the mechanics and pathomechanics of human movement. 2nd ed, Williams and Wilkins. 2009.
19. Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for physical rehabilitation. 1st ed, Mosby Inc. 2002.
20. Walsh M, Peper A, Bierbaum S, Karamanidis K, Arampatzis A. Effects of submaximal fatiguing contractions on the components of dynamic stability control after forward falls. Journal of Electromyography and Kinesiology 2011; 21(2): 270-275.
21. Reimer RC, Wikstrom EA. Functional fatigue of the hip and ankle musculature cause similar alterations in single leg stance postural control. Journal of Science and Medicine in Sport 2010; 13(1): 161-166.
22. Pincivero DM, Gandhi V, Timmons MK, Coelho AJ. Quadriceps femoris electromyogram during concentric, isometric and eccentric phases of fatiguing dynamic knee extensions. Journal of Biomechanics 2006; 39 (2): 246-254.
23. Masuda K, Masuda T, Sadoyama T, Inaki M, Katsuta S. Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. Journal of Electromyography and Kinesiology 1999; 9 (1): 39-46.
24. Gonzalez-Izal M, Malanda A, Navarro-Amezqueta , Gorostiaga E, Mallor F, Ibanez J, et al. EMG spectral indices and muscle power fatigue during dynamic contractions. Journal of Electromyography and Kinesiology 2010; 20 (2): 233-240.
25. Cifrek M, Tonković S, Medved V. Measurement and analysis of surface myoelectric signals during fatigued cyclic dynamic contractions. Measurement 2000; 27(2): 85-92.
26. Davidson BS, Madigan ML, Nussbaum MA, Wojcik LA. Effects of localized muscle fatigue on recovery from a postural perturbation without stepping. Gait & Posture 2009; 29 (4): 552-557.
27. Haim A, Rozen N, Dekel S, Halperin N,Wolf A. Control of knee coronal plane moment via modulation of center of pressure:A prospective gait analysis study. Journal of Biomechanics 2008; 41: 3010–3016.
28. Goryachev Y, Debbi EM, Haim A,Wolf A. The effect of manipulation of the center of pressure of the foot during gait on the activation patterns of the lower limb musculature. Journal of Electromyography and Kinesiology 2011; 21: 333-339.

The effect of quadriceps muscle fatigue on foot plantar pressure distribution during stance phase of walking

Behrouz Hajilo, MSc. in Sport Biomechanics, Bu Ali University, Hamedan, Iran.
Mostafa Sepehrian, Master student in Sports Biomechanics, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.
Hamed Esmaeili, PhD candidate of Sports Biomechanics, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.
***Mehrdad Anbarian,** Associate Professor of Sports Biomechanics, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran (*Corresponding author). m_anbarian@yahoo.com, anbarian@basu.ac.ir

Abstract

Background: Effects of lower limb muscles fatigue on foot plantar distribution during walking has not been documented clearly in the literature. The purpose of this study was to determine the effect of quadriceps femoris muscle fatigue on alteration of the center of pressure and plantar pressure distribution during stance phase of walking.
Methods: Twenty-two males (age: 23.5±3.17 years, weight: 78.8±3.21 kg, height: 179.2±4.64 cm) participated in the study. Leg extension machine was used to induce quadriceps fatigue with 50% of one-repetition maximum. Peak plantar pressure distribution was collected using a foot scan pressure system during stance phase of walking. Paired t-test was used for data analyses**.**
Results: Peak plantar pressure at the hallux; first, third, fourth and fifth metatarsal bones and lateral part of heel was significantly increased (respectively: p=0.001, p=0.011, p=0.001, p=0.019, p=0.013, p=0.001), while peak pressure was decreased at the medial part of heel (p=0.001) and toes $_{2\text{-}5}$ area (p=0.001) after fatigue protocol. The center of pressure location was significantly shifted toward the lateral side of the foot (p=0.003) at contact phase, while it shifted toward the medial side at loading response phase (p=0.001) after fatigue.
Conclusion: Results of this study showed that quadriceps muscle fatigue could increase foot plantar pressure characteristics, consequently influence pain and lower limb injuries

Keywords: Foot plantar pressure distribution, Center of pressure, Quadriceps muscle fatigue, Gait.