

بررسی توزیع فشار کف پا در افراد بزرگسال سالم هنگام ایستادن و راه رفتن

*زهرا صفایی پور^۱، اسماعیل ابراهیمی^۲، حسن سعیدی^۳، محمد کمالی^۴

چکیده

هدف: مطالعه حاضر به منظور بررسی توزیع فشار کف پا در افراد بزرگسال سالم انجام گردید تا بر اساس آن معیار مناسبی در زمینه توزیع طبیعی فشار کف پا معرفی شود. روش بررسی: در این مطالعه توصیفی-تحلیلی، ۸۰ مرد و زن با پای سالم از نمونه‌های در دسترس به صورت ساده انتخاب و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فشار RS-Scan فشار کف پا در نه منطقه آناتومیکی هنگام ایستادن و راه رفتن اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل با استفاده از آزمون‌های آماری تی زوجی و تی مستقل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. یافته‌ها: مناطق پاشنه با ۳۱/۴۳، سرهای استخوان‌های کف پای دوم و سوم با ۳۰/۸۶ و ۲۸/۰۰ و انگشت شست با ۲۳/۵۱ نیوتن بر سانتی متر مربع دارای بیشترین فشار حین راه رفتن بوده و کمترین فشار در انگشت دو تا پنج و ناحیه میانی پا قرار داشت. میزان فشار استاتیک در ناحیه جلوی پای چپ ($P < ۰/۰۰۱$)، درصد تماس در ناحیه عقب هر دو پا ($P < ۰/۰۰۱$) و ناحیه میانی پای راست ($P = ۰/۰۲$) و مقدار حداکثر فشار طی راه رفتن در نواحی استخوان‌های کف پای چهارم پای راست ($P = ۰/۰۵$) و چپ ($P = ۰/۰۴$) و پنجم پای راست ($P = ۰/۰۲$) و پاشنه هر دو پا ($P < ۰/۰۰۱$) بین مردان و زنان تفاوت معناداری داشت. نتیجه‌گیری: تفاوت‌های زیادی بین نحوه توزیع و میزان فشار کف پای زنان و مردان وجود دارد که باید در موارد مختلف از جمله طراحی کفش، روندهای درمانی و توانبخشی و همچنین پاهای در معرض خطر مانند افراد دیابتی مورد توجه قرار گیرد. کلید واژه‌ها: فشار کف پا / دستگاه اندازه‌گیری فشار / بیومکانیک پا / مقادیر طبیعی

۱- دانشجوی دکترای بیومکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
 ۲- دکترای فیزیوتراپی، استاد دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی ایران
 ۳- کارشناس ارشد ارتز و پروتز، عضو هیئت علمی دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی ایران
 ۴- دکترای آموزش بهداشت، دانشیار دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۶/۱۶
 تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۲/۷

* آدرس نویسنده مسئول:

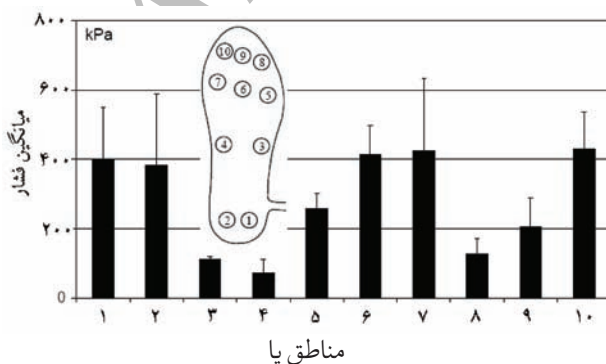
تهران، میدان پونک، بلوار میرزا بابایی، بلوار عدل، گلزار یکم ب، دانشکده مهندسی پزشکی، آزمایشگاه بیومکانیک
 تلفن: ۷۷۸۴۸۱۱۸

*E-mail: saface_zahra@yahoo.com



توسط پاشنه ۶۰ درصد، ناحیه میانی پا ۸ درصد، جلوی پا ۲۸ درصد و سهم انگشتان ۴ درصد بود (۵). در مطالعه‌ای هنیگ با استفاده از سیستم Emed با قدرت تفکیک (resolution) بالاتر توانست فشارها را طی ایستادن در پای ۴۹ مرد و ۶۲ زن بررسی کند. فشارها در ناحیه جلویی پا در زیر سر استخوان کف پای ۳ بیشتر بود و در ناحیه میانی پا فشار پای زنان در حالت ایستاده نسبت به مردان کمتر بود (۶).

از نقطه نظر توزیع فشار هنگام راه رفتن با استفاده از سیستم اندازه‌گیری فشار، هنیگ و همکاران در سال ۱۹۹۱ به مطالعه روی فشارهای کف پا در ۱۱۱ فرد بزرگسال سالم پرداختند. نتایج نشان داد که حداکثر فشارها زیر سر استخوان کف پای دو در جلوی پا از سایر استخوان‌های کف پای بیشتر بود که تئوری Tripod (مساوی بودن فشارها زیر سر همه استخوان‌های کف پای) که قبلاً در برخی مراجع ذکر گردیده بود، در این مطالعه مشاهده نگردید. حداکثر فشار زیر سر استخوان کف پای (متاتارس) ۳ از ۵ بیشتر بود. بین زنان و مردان در ناحیه میانی پا تفاوت چشمگیری از نقطه نظر فشار وجود داشت که محقق علت را ضعیف تر بودن لیگامان‌های قوس طولی داخلی در زنان نسبت به مردان هنگام تحمل وزن معرفی کرده است. فشار کف پا در ناحیه میانی و پرونیشن عقب پا در زنان نسبت به مردان بیشتر بود (۶). جمع آوری اطلاعات ۱۲ مقاله نرمال‌گیری نشان داد که حداکثر فشارها در ناحیه پاشنه، جلوی پا و انگشت بزرگ بوده و در حالی که کمترین فشارها زیر ناحیه میانی پا و انگشتان خارجی معرفی گردید. بیشترین فشارها در ناحیه پاشنه در اوائل فاز Stance و حداکثر فشارها زیر سر استخوان‌های کف پای در اواخر فاز رخ می‌دهد. مقایسه حداکثر فشارها در چندین مقاله به صورت خلاصه در نمودار (۱) آمده است (۲).



نمودار ۱- مقایسه حداکثر فشار در مناطق مختلف پا بر اساس مطالعات انجام شده

- 1- Metatarsus
- 2- Foot loading pattern
- 3- Plantar pressure measurement

پا تنها ساختار آناتومیکی بدن است که با زمین در تماس بوده و به عنوان انتهایی‌ترین بخش زنجیره‌اندام تحتانی در برابر نیروهای اعمالی مقاومت می‌کند (۱). توزیع نامناسب نیروها سبب ایجاد حرکت غیرطبیعی و اعمال استرس زیاد شده و آسیب بافت و عضلات پا را دنبال دارد و لذا می‌تواند طیف گسترده‌ای از ناهنجاری‌های پا را موجب شود. براین اساس آگاهی از نیروهای عمل‌کننده بر کف پا نه تنها به فهم دقیق ارتباط ساختار و عملکرد پا کمک می‌کند، بلکه در ارزیابی بسیاری از شرایط پاتولوژیک مانند پای دیابتی و ناهنجاری‌های اسکلتی-عضلانی پا اهمیت بسزایی دارد. اندازه‌گیری فشار کف پا در افراد مبتلا به نوروپاتی دیابتی ارتباطی را بین افزایش فشار به صورت موضعی و ایجاد زخم در زیر سرهای استخوان‌های کف پا نشان می‌دهد. در مطالعات متعددی سودمند بودن روش‌های اندازه‌گیری فشار جهت ارزیابی منظم پای این بیماران و ارائه برنامه درمانی مناسب بر اساس آن گزارش شده است (۲، ۳).

به منظور ارزیابی شرایط پاتولوژی پا منطقی به نظر می‌رسد که ابتدا اطلاعات دقیقی راجع به ساختار، عملکرد و حرکت طبیعی پا داشته باشیم و سپس انحرافات عمده را به عنوان حالت پاتولوژیک معرفی کنیم. براین اساس استانداردهایی مورد نیاز است تا افراد با آن مطالعه شوند. مطالعات نشان می‌دهد که آگاهی از نحوه توزیع بارگذاری کف پا طی ایستادن و راه رفتن معیار مناسبی برای بررسی وضعیت طبیعی پا می‌باشد (۴). روش‌های زیادی جهت مطالعه بارگذاری کف پا موجود می‌باشد. از متداولترین و جدیدترین این روش‌ها می‌توان به اندازه‌گیری فشار کف پا^۲ در حالت ایستاده و راه رفتن با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار اشاره نمود که مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته است. در حالی که بیشتر مطالعات تأثیر عوامل ساختاری مانند سن، شاخص توده بدن و یا متدولوژی مانند انواع روش‌های اندازه‌گیری فشار و همچنین کاربرد دستگاه‌های متفاوت در اندازه‌گیری فشار مانند کفی مجهز به حسگر (sensor) یا صفحه اندازه‌گیری فشار را مورد بررسی قرار داده‌اند، اطلاعات در ارتباط با دامنه استاندارد فشار به علت مطالعات کم در این زمینه به طور مشخص در دسترس نیست. نتایج تحقیقاتی که تاکنون در این زمینه انجام شده نشان می‌دهد که از نقطه نظر توزیع فشار در حالت ایستاده نتایج بحث برانگیزی در مطالعات وجود دارد. کاوانا در سال ۱۹۸۷ با استفاده از سیستم اندازه‌گیری فشار مجهز به حسگرهای خازنی فشار کف پا را در ۱۰۷ پای سالم در حالت ایستاده بررسی نمود. طبق نتایج وی پاشنه ۲/۶ برابر جلوی پا در تحمل وزن شرکت دارد. تحمل فشار



از جدیدترین مطالعات نرمال‌گیری می‌توان به مطالعه پوتی در سال ۲۰۰۶ اشاره کرد. در این مطالعه که اندازه‌گیری فشارهای کف پا در ۵۳ نفر با پای سالم هنگام پوشیدن کفش با استفاده از کفی اندازه‌گیری فشار کف پا صورت گرفت، مقادیر حداکثر فشارها به ترتیب زیر انگشت شست، پاشنه و استخوان‌های کف پای اول، دوم و سوم بود. منطقه تماس در زیر پاشنه از سایر نواحی بیشتر بود (۷).

با توجه به آنچه ذکر شد، از نقطه نظر توزیع فشار در حالت ایستاده نتایج بحث برانگیزی وجود دارد. در برخی مطالعات ذکر شده که پاشنه حدود ۲ تا ۳ برابر جلوی پا وزن را تحمل می‌کند و برخی دیگر معتقدند که پاشنه مشابه جلوی پا در تحمل وزن شرکت دارد. گرچه مطالعات بسیاری در ارتباط با توزیع نرمال فشار کف پا در حالت ایستاده وجود دارد، با این وجود بررسی فشار هنگام راه رفتن اطلاعات بیشتری را در اختیار قرار می‌دهد (۸).

بررسی کلی مطالعات نشان می‌دهد که طی راه رفتن محل حداکثر فشار در پا در برخی مقالات انگشت شست و در برخی دیگر پاشنه معرفی گردیده است. بنا به مطالعات پیشین ثابت شده است که از نقطه نظر عوامل نژادی تفاوت‌هایی بین ساختار پای افراد در مناطق مختلف جهان وجود دارد (۹). همچنین تعداد افراد شرکت کننده در آزمون سن افراد و تفاوت در نوع خصوصیات دستگاه اندازه‌گیری که از موارد تفاوت در مطالعات بالا بوده است از عوامل مؤثر بر فشار کف پا شمرده شده است (۲).

علی‌رغم کاربردهای زیاد این تکنولوژی تاکنون اطلاعاتی در مورد مقادیر نرمال فشار کف پا در ایران گزارش نشده است و با توجه به گسترش روزافزون استفاده از این تکنیک در ارزیابی پا در شرایط کلینیکی و تحقیقاتی، مطالعه روی گروهی از افراد با پای سالم جهت فهم عملکرد دقیق تحمل وزن کف پا اساسی به نظر می‌رسد.

در این راستا مطالعه حاضر جهت بررسی نحوه توزیع فشارهای کف پا در افراد بزرگسال سالم و همچنین مقایسه زنان و مردان در ایران با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فشار کف پا انجام گردید تا بر اساس آن معیار مناسبی در زمینه توزیع طبیعی فشار کف پا معرفی گردد.

روش بررسی

بررسی حاضر به صورت توصیفی - تحلیلی بوده و نمونه‌ها به صورت ساده و در دسترس و متشکل از ۸۰ فرد بزرگسال با پای سالم از میان دانشجویان و کارکنان دانشگاه علوم پزشکی ایران انتخاب شدند. پیش از انجام آزمون اصلی ابتدا مراحل آزمون برای هر فرد توضیح داده شد و فرم رضایت توسط شرکت‌کنندگان پر شد. اطلاعات مورد نیاز از طریق

سوالات حضوری و پرسش نامه و معاینات بالینی بر اساس فرم استاندارد معاینه پا^۱ جمع‌آوری گردید. این فرم توسط انجمن آمریکایی ارتوپدی پا در سال ۱۹۹۴ ارائه شد و به طور وسیعی در ارزیابی‌های بالینی جهت تعیین پای سالم مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که این پرسشنامه از روائی و پایایی بالایی برخوردار است به گونه‌ای که روائی آن با استفاده از آزمون ضریب همبستگی درون‌گروهی^۲ بزرگتر از ۰/۴^۳ و همچنین پایایی آن بر اساس ضریب کوهن بزرگتر از ۰/۴ می‌باشد (۱۰). پرسشنامه شامل ۴ جدول بوده که نواحی مختلف شامل مچ و عقب پا، ناحیه میانی پا، مفاصل پاشنه‌ای - کف پای^۳ و مفاصل بین انگشتان را از نظر ۳ معیار درد، عملکرد و راستا مورد ارزیابی قرار می‌دهد. بر اساس این فرم کسب نمره ۱۰۰ از ۱۰۰ نشان دهنده پای سالم است (۱۱). معیارهای ورود به مطالعه شامل محدوده سنی بین ۱۸ تا ۴۰ سال، نمره کلی ۱۰۰ بر اساس فرم استاندارد معاینه پا، معیار سلامتی عمومی، عدم سابقه ابتلا به نارسایی عروقی و سایر بیماری‌های اسکلتی - عضلانی و نورولوژیک، نداشتن ترومای اندام تحتانی و جراحی، نداشتن اختلاف طول اندام، نداشتن انحرافات ستون مهره‌ها و نداشتن موارد مربوط به هماهنگی، تعادل و مشکلات شنیداری و بینایی و معیار خروج از مطالعه کسب نمره کمتر از ۱۰۰ از پرسشنامه بود. در این مطالعه از دستگاه RS-Scan جهت اندازه‌گیری و ثبت فشار کف پا در دو وضعیت ایستاده و راه رفتن استفاده شد (۱۲). سیستم شامل پرینتر، مانیتور، صفحه‌اندازه‌گیری فشار، منبع تغذیه و اتصالات بین مانیتور و صفحه‌اندازه‌گیری فشار است (شکل ۱-الف). صفحه‌اندازه‌گیری دارای ابعاد ۵۰×۴۰ سانتی‌متر، سطح فعال حسگری^۴ به مساحت ۴۸×۳۲ سانتی‌متر مربع، تعداد ۴۰۹۶ حسگر و فرکانس نمونه‌گیری ۱۶۵ هرتز می‌باشد (۱۲). جهت اهداف این مطالعه پا به ۹ منطقه آناتومیکی شامل پاشنه، ناحیه میانی پا، سرهای پنج استخوان کف پا، انگشت شست و انگشت ۲ تا ۵ تقسیم بندی شد و از میان متغیرها حداکثر فشار، درصد تماس و ابعاد پا اندازه‌گیری گردید (شکل ۱-ب).

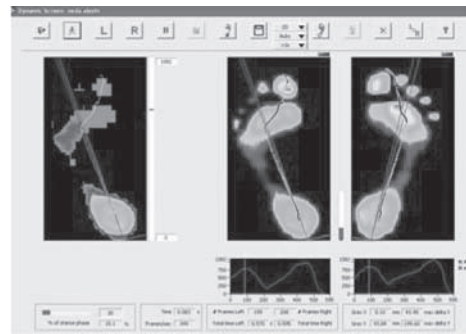


شکل ۱-الف: آزمایشگاه بیومکانیک پا

1-American Orthopedic Foot and Ankle Society Clinical Rating System
2-Intraclass Correlation Coefficient (ICC)
3-Tarsometatarsal
4-sensor



تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده از نرم افزار اس.پی.اس.اس. نسخه ۱۲ و اکسل استفاده شد. روش‌های آماری به کار گرفته شده شامل آزمون آماری ضریب همبستگی درون گروهی جهت بررسی تکرارپذیری دستگاه و محاسبه میانگین، انحراف معیار و مقادیر حداقل و حداکثر دامنه، آزمون تی زوجی جهت مقایسه میانگین متغیرهای مورد بررسی در دو اندام و آزمون تی مستقل جهت مقایسه میانگین متغیرهای مورد بررسی در دو گروه زن و مرد بود.



شکل ۱- ب: بخشی از نرم افزار دستگاه

به منظور انجام آزمایشی آزمون و مشخص شدن اشکالات احتمالی و همچنین تعیین تکرارپذیری دستگاه در دو نوبت اندازه‌گیری یک پیش آزمون انجام شد. جهت بررسی تکرارپذیری دستگاه اندازه‌گیری فشار، از روش آزمون مجدد استفاده گردید. تکرارپذیری به این صورت انجام شد که از ۱۶ فرد واجد شرایط در دو روز متوالی با سه تکرار در هر روز، آزمون راه رفتن روی مسیر مورد نظر گرفته شد و داده‌های مربوطه از دستگاه استخراج گردید. نرم افزار دستگاه امکان کالیبراسیون را بر اساس وزن مشخص در اختیار قرار می‌داد که این کار هر دو هفته یکبار صورت می‌گرفت.

آزمون اصلی: جهت اندازه‌گیری فشار در حالت ایستاده^۱ به منظور ایجاد تعادل و ممانعت از اعمال بیش از حد فشار روی یک اندام از فرد خواسته شد به یک نقطه ثابت روی دیوار روبرو نگاه کند. هنگام ایستادن روی صفحه فشار فاصله بین دو پا ۸ سانتی متر تنظیم گردید و وقتی که فشار روی یک پا ۵۰ درصد کل فشار بود، اندازه‌گیری ثبت می‌شد (۱۳). اندازه‌گیری فشار طی راه رفتن با روش قدم میانی صورت گرفت. به این منظور از افراد خواسته می‌شد که با سرعت طبیعی راه رفتن خود، مسیر ۹ متری را که در فاصله ۴/۵ متری آن صفحه حساس به فشار قرار داشت، به صورت پابره‌نه و در راستای مستقیم طی کنند، به گونه‌ای که اطلاعات مربوط به قدم چهارم ثبت می‌گردید. پیش از انجام آزمون اصلی، جهت آشنایی فرد با آزمون چند بار مسیر توسط فرد به صورت آزمایشی طی شده و پس از ۳ دقیقه استراحت آزمون اصلی انجام می‌گرفت و اطلاعات مربوط به هر دو پا به صورت جداگانه ثبت می‌گردید. به طور میانگین برای هر پا ۳ بار تکرار آزمون انجام می‌شد و بین دفعات تکرار ۳۰ ثانیه استراحت صورت می‌گرفت (۱۴). در هر مرحله از آزمون در صورتی که پای فرد به صورت ناقص روی دستگاه قرار می‌گرفت، آزمون مجدداً تکرار می‌گردید. به منظور جلوگیری از نشانه‌گیری دستگاه توسط فرد، کل مسیر حرکتی توسط یک پوشش نازک پلاستیکی پوشیده شد. جمع‌آوری داده‌ها دو ماه به طول انجامید. در پایان این دوره جهت انجام

یافته‌ها

در جدول (۱) شاخص‌های توصیفی و توزیع فراوانی مربوط به جنس، سن و شاخص توده بدن ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بین دو جنس اختلاف معناداری از نظر سن و میانگین شاخص توده بدن یافت نشد.

جدول ۱- مقایسه دو گروه از نظر سن و شاخص توده بدنی

متغیر	زنان	مردان	مقدار احتمال
سن (سال)	۲۴/۰۸±۴/۳۷	۲۴/۸۵±۴/۹۴	۰/۴۶
شاخص توده بدن (Kg/m ²)	۲۲/۲۵±۲/۲۱	۲۲/۷۲±۱/۹۶	۰/۷۴

در جدول (۲) ضرایب مربوط به تکرارپذیری دستگاه در نواحی نه‌گانه پا درج گردیده که حاکی از تکرارپذیری مطلوب آن است. در بررسی توزیع فشار در حالت ایستاده، میانگین درصد توزیع فشار در حالت ایستاده در ناحیه عقب پا ۶۴/۲۶ درصد و در ناحیه جلوی پا ۳۵/۸۷ درصد به دست آمد. از نقطه نظر توزیع فشار هنگام راه رفتن بررسی متغیرهای مربوط به راه رفتن نشان داد که مناطق پاشنه، سرهای استخوان‌های کف پای اول تا چهارم و انگشت شست دارای بیشترین فشار بوده و کمترین فشار در انگشت دو تا پنجم و ناحیه میانی پا قرار داشت (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تکرارپذیری دستگاه

متغیر	ضریب همبستگی درون طبقه‌ای	مقدار احتمال
فشار انگشت شست	۰/۹۵	<۰/۰۰۱
فشار انگشت ۲-۵	۰/۶۸	<۰/۰۰۱
فشار استخوان‌های کف پای ۱	۰/۸۹	<۰/۰۰۱
فشار استخوان‌های کف پای ۲	۰/۹۶	<۰/۰۰۱
فشار استخوان‌های کف پای ۳	۰/۹۲	<۰/۰۰۱
فشار استخوان‌های کف پای ۴	۰/۹۳	<۰/۰۰۱
فشار استخوان‌های کف پای ۵	۰/۸۷	<۰/۰۰۱
فشار ناحیه میانی پا	۰/۹۵	<۰/۰۰۱
فشار پاشنه	۰/۸۸	<۰/۰۰۱

I- Static measurement



مقایسه بین دو گروه زن و مرد نشان داد که میانگین اندازه طول و عرض جلوی پا در گروه مردان بیشتر از زنان است (جدول ۵).

متغیر	زن	مرد	مقدار احتمال
طول پای راست	24/19 ± 1/20	27/01 ± 1/46	<0/001
طول پای چپ	24/13 ± 1/26	26/88 ± 1/05	<0/001
عرض جلوی	7/75 ± 0/64	8/33 ± 0/82	<0/001
عرض جلوی	7/68 ± 0/59	8/21 ± 0/87	<0/001

هنگام ایستادن، مردان درصد فشار بیشتری به ناحیه عقب پا اعمال می‌کنند، در صورتی که درصد فشارهای ناحیه جلوی پا در زنان بیشتر است (جدول ۶).

متغیر	زن	مرد	مقدار احتمال
عقب پای	31/83 ± 0/64	33/64 ± 4/29	0/12
عقب پای	31/01 ± 4/99	32/02 ± 6/75	0/45
جلو پای	18/44 ± 0/70	17/29 ± 4/04	0/32
جلو پای	18/93 ± 4/89	15/87 ± 4/71	<0/001

مقایسه میانگین مقادیر حداکثر فشار بین دو گروه زن و مرد هنگام راه رفتن حاکی از وجود تفاوت معنادار آماری در نواحی استخوان‌های کف پای چهارم هر دو پا، پنجم پای راست و پاشنه هر دو پا است (جدول ۷).

جدول ۷ - مقایسه میانگین حداکثر فشار طی راه رفتن در دو گروه زن و مرد

منطقه پا	پای راست		مقدار احتمال	پای چپ		مقدار احتمال
	مرد	زن		مرد	زن	
انگشت شست	23/29 ± 7/54	23/81 ± 6/83	0/74	23/14 ± 7/79	23/70 ± 6/58	0/68
انگشت ۲-۵	6/66 ± 3/69	6/33 ± 2/35	0/62	6/74 ± 3/57	6/08 ± 2/17	0/31
استخوان کف پای ۱	24/24 ± 9/02	20/70 ± 9/15	0/09	23/82 ± 8/96	20/80 ± 8/93	0/14
استخوان کف پای ۲	30/17 ± 0/90	31/71 ± 6/28	0/27	29/83 ± 0/20	31/29 ± 6/65	0/29
استخوان کف پای ۳	29/30 ± 0/76	27/32 ± 7/20	0/19	28/87 ± 0/17	27/07 ± 7/05	0/21
استخوان کف پای ۴	19/79 ± 0/90	17/18 ± 0/70	0/05	19/61 ± 0/26	17/18 ± 0/38	0/04
استخوان کف پای ۵	9/05 ± 4/68	7/15 ± 4/16	0/02	8/93 ± 0/21	7/08 ± 3/94	0/07
ناحیه میانی	2/13 ± 1/02	2/45 ± 1/14	0/19	2/05 ± 0/98	2/33 ± 0/96	0/20
پاشنه	29/34 ± 0/07	32/93 ± 4/89	<0/001	29/20 ± 4/89	33/13 ± 4/97	<0/001

جدول ۳ - شاخص‌های توصیفی فشار* هنگام راه رفتن

منطقه پا	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
انگشت شست	23/51	7/05	11/70	39/73
انگشت ۲-۵	6/42	2/86	1/93	13/88
استخوان کف پای ۱	22/14	8/99	5/20	38/42
استخوان کف پای ۲	30/86	5/93	13/62	40/55
استخوان کف پای ۳	28/00	6/15	10/08	41/13
استخوان کف پای ۴	18/25	5/61	5/65	33/06
استخوان کف پای ۵	8/01	4/48	0/00	19/17
ناحیه میانی	2/26	0/97	0/77	4/42
پاشنه	31/43	5/04	18/37	45/04

* میزان فشار در واحد نیوتن بر سانتی متر مربع ارائه شده است.

نواحی جلو، عقب و میانی یا بیشترین درصد تماس با سطح را دارا بودند. در مقایسه درصد فشار استاتیک، بین پای راست و چپ افراد تفاوت معناداری حاصل نشد (جدول ۴).

منطقه پا	پای راست	پای چپ	مقدار احتمال
ناحیه عقب پا	32/09 ± 0/16	31/94 ± 0/78	0/67
ناحیه جلوی پا	17/95 ± 0/07	17/64 ± 0/02	0/41

مقایسه متغیرهای مربوط به میانگین ابعاد پا، درصد تماس و حداکثر فشار طی راه رفتن بین پای چپ و راست تفاوت معناداری را نشان نداد. از نقطه نظر جنس و با در نظر گرفتن میانگین سنی یکسان،



بحث

در پژوهش حاضر میانگین درصد فشار استاتیک در ناحیه عقب پا ۶۴/۲۶ و در ناحیه جلوی پا ۳۵/۸۷ درصد به دست آمد. در مطالعه تونا نیز مشخص گردید که فشارها در پاشنه در حالت استاتیک در مقایسه با جلوی پا بیشتر است که یافته‌های مطالعه ما را تأیید می‌کند (۱۵). در کل از نظر آناتومیک هنگام ایستادن روی دو پا، استخوان قاپ^۱ ۵۰ درصد وزن بدن را دریافت می‌کند. از مقدار باری که توسط قاپ (تالوس) دریافت می‌شود حدود ۵۰ درصد آن از طریق مفصل زیرقاپی^۲ خلفی به استخوان پاشنه^۳ منتقل شده و ۵۰ درصد دیگر آن از طریق دو مسیر کلی به جلوی پا منتقل می‌گردد (۱۶). در برخی مراجع بیان شده که پاشنه حدود ۲ تا ۳ برابر جلوی پا وزن تحمل می‌کند و در برخی دیگر اعتقاد بر این است که پاشنه مشابه جلوی پا در تحمل وزن شرکت دارد (۱۷). با توجه به آنچه ذکر شد از نقطه نظر توزیع فشار در حالت ایستاده نتایج بحث انگیزی وجود دارد. در برخی مقالات علت این تفاوت‌ها این‌گونه بیان شده است که به علت انحراف جانبی فرد هنگام ایستادن روی صفحه اندازه‌گیری ناشی از تفاوت در ریتم قلبی، تنفس یا انسداد گردش عروق در پا، میزان توزیع وزن در نواحی جلو و عقب پا متغیر است. برخی از افراد هنگام ایستادن به سمت جلو خم شده و برخی دیگر بیشتر به طرف عقب خم می‌شوند (۴). به این ترتیب و بر اساس این ادعا که که رادیوگرافی استاتیک تنها ۶۵ درصد از فشار داینامیک را در افراد پیش‌بینی می‌کند (۸)، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که گرچه مطالعات بسیاری در ارتباط با توزیع نرمال فشار کف پا در حالت ایستاده وجود دارد، اما در حالت ایستاده به دلیل تقسیم وزن بدن بین دو اندام، فشار کمتری به هر پا اعمال شده و اطلاعات کمتری در اختیار قرار می‌گیرد و داینامیک راه‌رفتن به عنوان یکی از عوامل مؤثر در تعیین فشارهای کف پا می‌باشد.

بررسی متغیرهای مربوط به راه‌رفتن نشان داد که مناطق پاشنه، سرهای استخوان‌های کف‌پایی و انگشت شست دارای بیشترین فشار بوده و کمترین فشار در انگشت دو تا پنجم ناحیه میانی پا قرار داشت. نواحی جلو، عقب و میانی پا بیشترین درصد تماس با سطح را دارا بودند. فشارها در ناحیه میانی از سایر نواحی کمتر بود و در میان استخوان‌های کف‌پایی فشار سر استخوان کف‌پایی دوم از سایرین بیشتر بود. یافته‌های تحقیق حاضر با یافته‌های محققینی مانند روزنهام، ویرینگ و زو همسوئی دارد. در این مطالعات مناطقی با حداکثر فشارها به ترتیب زیر پاشنه، جلوی پا و انگشتان قرار داشته و انگشتان ۲ تا ۵ و ناحیه میانی پا دارای کمترین فشار بودند (۲). هنگام برخورد پا با زمین

پاشنه بار زیادی را تحمل می‌کند. پد پاشنه در شرایط عادی بارگذاری، سفتی کمی دارد، اما با بارگذاری بیشتر در اثر درهم‌گیر کردن فیبرهای کلاژن، حرکت بافت چربی محدود و سبب افزایش سفتی پد پاشنه در جهت طبیعی می‌گردند. چنین تفاوت‌های ساختاری پاشنه نسبت به دیگر مناطق پا سبب ضخیم‌تر شدن بافت نرم این منطقه می‌گردد (۱۸). به همین علت اولین قله فشار در هنگام برخورد پا با زمین و در منطقه پاشنه، جایی که دارای مقاومت زیادی در برابر اعمال فشار است رخ می‌دهد. پس از پاشنه، وزن بدن از ناحیه میانی پا به جلوی پا منتقل می‌گردد. عبور وزن از این ناحیه سریع صورت گرفته که از علل احتمالی آن کاهش سطح تماس ناحیه میانی پا است که سبب کاهش بیشتر فشار در این ناحیه نسبت به سایر نواحی می‌گردد (۱۷). بالا بودن فشار در ناحیه سر استخوان کف‌پایی دوم به این دلیل است که این متاتارس نقش مهمی در انتقال وزن نسبت به سایر استخوان‌های متاتارس داشته که به دلیل خصوصیات خاص این استخوان است. اتصال محکم این استخوان با ناحیه میانی پا و بلندتر و ضخیم‌تر بودن آن سبب شده که یک پایه محکم در ناحیه جلو برای پا ایجاد شده و این متاتارس نسبت به سایر استخوان‌های کف‌پایی در تحمل وزن بیشتری شرکت کند و فشار بالاتری را تحمل نماید (۱۹). در میان انگشتان، انگشت شست نسبت به سایرین در تحمل وزن بیشتری شرکت دارد. از علت این امر می‌توان به بزرگتر بودن و متحرک‌تر بودن این انگشت اشاره کرد (۲). در عین حال از مطالعات متناقض می‌توان به مطالعه هنیگ و مطالعه پوتی اشاره کرد. براساس نتایج گزارش شده در این بررسی‌ها انگشت شست نسبت به سایر نواحی دارای حداکثر فشار بوده و استخوان کف‌پایی دوم، پاشنه و سایر استخوان‌های کف‌پایی در مراتب بعدی قرار داشتند (۶، ۷). مطالعات نشان می‌دهد در افراد آسیایی عرض جلوی پا پهن‌تر و ارتفاع قوس طولی پا کوتاه‌تر بوده، در حالی که پا درون‌گردی^۴ بیشتری دارد. این عوامل می‌تواند سبب شود که با عرض پای بیشتر، فشار در منطقه وسیع‌تری توزیع گردد، در نتیجه حداکثر فشار در جلوی پا نسبت به عقب پا در جمعیت آسیایی کمتر باشد (۹). با توجه به این امر که مطالعه حاضر در جمعیت ایرانی صورت گرفته مشاهده این تفاوت منطقی به نظر می‌رسد. از سوی دیگر عنوان شده که روش گردآوری اطلاعات نیز روی نتایج بررسی توزیع فشار مؤثر است. مطالعه هنیگ با روش گام ابتدایی بود، در صورتی که مطالعه حاضر با روش گام میانی صورت گرفته است. بر اساس تحقیقات انجام شده فشار پاشنه با روش گام ابتدایی نسبت

1- Talus 2- Subtalar
3- Calcaneus 4- Pronation



ساختارهای لیگامانی در زنان سبب کلاپس قوس طولی و افزایش تماس در ناحیه میانی پا می‌شود. در نتیجه در پای زنان چرخش به داخل (پرونیشن) بیشتر شده، تماس لبه خارجی پا با سطح کاهش یافته و فشار کمتری در مقایسه با مردان در این ناحیه اعمال می‌گردد (۲۱).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش منجر به تعیین مقادیر حداکثر فشار کف پا در افراد بزرگسال با پای سالم و دامنه طبیعی آن می‌باشد. از این دامنه می‌توان جهت مقایسه فشارهای اندازه‌گیری شده در شرایط کلینیکی استفاده کرد و هرگونه انحراف از دامنه طبیعی را تعیین و در شناسایی پاهای در معرض خطر مانند دیابت مورد استفاده قرار داد. اما تأکید بر این نکته ضروری است که هنگام استفاده از این دامنه مرجع باید دقت کافی صورت گیرد و همه شرایط بالینی فرد جهت تصمیم‌گیری نهایی در نظر گرفته شود.

فهم بیومکانیک پا در تعیین نیازهای خاص هر گروه مانند مرد و زن مهم است. با توجه به نتایج حاصل شده از مطالعه در مقایسه متغیرهای فشار کف پا بین دو جنس این‌گونه به نظر می‌رسد که هنگام ساخت کفش و کفی توجه به مناطقی با حداکثر فشار در هر گروه مفید است. لازم به ذکر است که تحقیق حاضر مانند هر تحقیق دیگری به لحاظ امکانات و شرایط انجام کار دچار محدودیت‌های اجتناب‌ناپذیری بوده که قابلیت تعمیم و کاربرد نتایج را محدود می‌سازد. کوتاه بودن ابعاد صفحه اندازه‌گیری فشار سبب می‌شد که مراحل تکرار آزمون افزایش یابد. قابلیت‌های دستگاه RS-Scan جهت اندازه‌گیری فشار در حالت ایستاده محدود بوده و نرم‌افزار مربوطه به گونه‌ای طراحی شده است که تنها فشار را در این وضعیت به صورت درصد در ناحیه عقب و جلوی پا در اختیار قرار می‌دهد و توزیع فشار در نواحی چندانگانه پا هنگام ایستادن را نشان نمی‌دهد. با در نظر گرفتن این امر که بررسی حاضر در افراد بزرگسال با پای سالم با دامنه سنی ۱۸ تا ۴۰ سال و میانگین شاخص توده بدن ۲۲/۴۵ کیلوگرم بر متر مربع صورت گرفته و قابل تعمیم برای همه گروه‌های سنی نمی‌باشد، به نظر می‌رسد که انجام تحقیقات بیشتری در دامنه سنی گروه کودکان و افراد پیر که الگوی راه رفتن متفاوتی دارند و همچنین تعیین دامنه فشار در شرایط پاتولوژیک مانند دیابت ضروری باشد.

تشکر و قدردانی

کلیه بررسی‌های اجرایی مربوط به این پژوهش در آزمایشگاه

به گام میانی حدود ۴/۷ درصد کمتر بوده، در حالی که در ناحیه جلوی پا با روش گام میانی فشار در حدود ۷ تا ۱۳ درصد کمتر است. در مقایسه میانگین ابعاد پا، درصد فشار استاتیک، درصد تماس و حداکثر فشار طی راه رفتن بین پای راست و چپ افراد تفاوت معناداری حاصل نشد. این نتایج با مطالعه تونا مطابقت دارد. وی برای ثبت فشار کف پای ۵۰ دختر و پسر سالم نشان داد که تفاوت معناداری بین فشارهای دو اندام وجود ندارد (۱۵). تحقیقات حاکی از آن است که وجود پاتولوژی از عوامل تغییر در الگوی بارگذاری متقارن می‌باشد (۲). با در نظر گرفتن این موضوع که در پژوهش حاضر از فرم استاندارد معاینه پا جهت معاینه یکسان هر دو پا استفاده شد، هرگونه عدم تقارن و پاتولوژی حذف می‌گردد. از نقطه نظر مقایسه در دو جنس نتایج مطالعه بر این موضوع دلالت دارد که میانگین اندازه طول و عرض جلوی پا در گروه مردان بیشتر از زنان بود. در بیشتر مطالعات نتایجی مانند یافته‌های بررسی حاضر ذکر شده است. کراس با مطالعه روی ۴۲۳ مرد و ۴۲۴ زن با اسکتر سه بعدی به تعیین اندازه، عرض و محیط جلوی پا، طول و ارتفاع انگشتان و عرض پاشنه پرداخت. نتایج نشان داد که پای زنان در پاشنه و جلوی پا باریکتر از پای مردان است (۲۰). از نقطه نظر مقایسه فشار هنگام ایستادن، نتایج این مطالعه بر این موضوع دلالت دارد که در حالت ایستاده مردان درصد فشار بیشتری به ناحیه عقب پا اعمال می‌کنند. در صورتی که درصد فشارهای ناحیه جلوی پا در زنان بیشتر است. هنگام راه رفتن، با در نظر گرفتن متغیرهای مورد بررسی، درصد تماس پا در ناحیه عقب پای مردان بیشتر از زنان بود، اما در ناحیه میانی پا درصد تماس در گروه زنان بیشتر از مردان بود. اندازه‌گیری مقادیر حداکثر فشار در ۹ منطقه آناتومیکی پا هنگام راه رفتن تفاوت زیادی را بین دو گروه نشان نداد. در این میان تنها فشار در استخوان‌های کف پای چهار و پنج در مردان بیشتر و فشار پاشنه در زنان بیشتر بود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در آناتومی پا تفاوت‌هایی بین دو جنس در قوس طولی، بخش خارجی، انگشت اول و ناحیه جلوی پا وجود دارد. پای زنان در مقایسه با مردان استوانه‌ای‌تر بوده و پاشنه در مقایسه با جلوی پا باریکتر است. ابعاد پاشنه پای مردان بزرگتر بوده و درصد تماس بیشتری با سطح دارد که سبب کاهش فشار این ناحیه در مقایسه با گروه زنان می‌شود (۹). با در نظر گرفتن ارتباط بین هورمون‌های جنسی و شلی لیگامانی، در مطالعات ذکر گردیده است که هورمون‌های استروژن، پروژسترون و استرادیول در ایجاد شلی لیگامانی در زنان مؤثر بوده و سبب کاهش ارتفاع قوس طولی و افزایش درصد تماس در این ناحیه می‌گردد. بر این اساس ضعیف‌تر بودن



صورت گرفته است که بدین وسیله از اعضای این مرکز تشکر و قدردانی می‌شود

بیومکانیک پا واقع در گروه ارتوپدی فنی دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی ایران و با حمایت‌های همه جانبه آن مرکز

منابع:

- 1-Ledoux WR, Hillstrom HJ. The distributed plantar vertical force of neutrally aligned and pes planeus feet. *Gait and Posture* 2002;15:1-9.
- 2-Jarmo P. Foot loading in normal and pathological walking. Jyväskylä:MS Thesis. University of Jyväskylä; 2002.
- 3- Orlin MN, Mcpoil TG. Plantar pressure assessment. *Physical therapy* 2000;80(4):399-409.
- 4-Nikolopoulos C. Normal motion and normal foot. [Online].[2006] [cited 2006 jul 10] Available at: URL:http://figroup.com/pdf/CPO30012_A.PDF .
- 5-Cavanagh PR, Rodgers Iiboshi A. Pressure distribution under symptom free feet during barefoot standing. *Foot ankle* 1987;7:262-276.
- 6-Hennig EM, Rosenbaum D. Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot Ankle International* 1991;15:35-40.
- 7-Putti AB, Arnold GP, Cochrane L. The pedar in-shoe system: Repeatability and normal pressure values. *Gait and Posture* 2006; 25(3): 401-5.
- 8-Cavanagh PR, Morag E, Boulton AJM. The relationship of static foot structure to dynamic foot function. *Journal of biomechanics* 1997;30(3):243-50.
- 9-Hennig E.M. The human foot during locomotion -Applied research for footwear; Invited Wei Lun Public Lecture. 10 October. Hong Kong. 2002.
- 10-Niki H, Aoki H, Inokuchi S, Ozeki S. Development and reliability of a standard rating system for outcome measurement of foot and ankle disorders II: interclinician and intraclinician reliability and validity of the newly established standard rating scales and Japanese Orthopaedic Association rating scale. *J Orthop Sci.* 2005;10:466-74.
- 11-Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: The foot posture index. *Clinical Biomechanics* 2006; 21: 89-98.
- 12-Available in :[http:// www.Rsscan.com/products.28/jan/2007](http://www.Rsscan.com/products.28/jan/2007).
- 13-Birtane M, Tuna H. The evaluation of plantar pressure distribution in obese and non-obese adults. *Clinical biomechanics* 2004;19: 1055-9.
- 14-Wearing SC, Urry S, Smeathers JE. A comparison of gait initiation and termination methods for obtaining plantar foot pressure. *Gait and Posture* 1999;10:255-63
- 15-Tuna H, Yildiz M, Celtic C, Koniko S. Static and dynamic plantar pressure measurement in adolescents. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2004;38(3):200-5.
- 16-Levangie PL, Norkin CC. Joint structure and function. Third ed. F.A.Davis company.philadelphia; 2001, p:367-403
- 17-Nikolopoulos C. Normative pressure measurement studies. [Online].[2006] [cited 2006 jul 10] Available at: URL:http://figroup.com/pdf/CPO30012_A.PDF .
- 18-Young JEM, Duncan NA, Baroud G. Material properties of the human calcaneal fat pad in compression:Experiment and theory. *Journal of biomechanics* 2002;35:1523-31.
- 19-Levangie PL, Norkin CC. Joint structure and function. Third ed. F.A.Davis company.philadelphia; 2001, p:367-403
- 20-Krauss I, Grau S, Maiwald C. Gender differences in foot shape. *Comfort, Ergonomics* 2001;37(1): 187-96.
- 21-Machado DB, Hennig E. Plantar pressure distribution during the menstrual cycle of young women. 7th symposium on footwear biomechanics. July 27.2005