مسیر حرکت مرکز فشار طی فاز استقرار راه‌رفتن زنان و مردان سالم با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف‌پایی پدار (Pedar-X)

عباس فرجادپزشک [۱]*، حیدر صادقی [۲]

۱- کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی.

۲- استاد بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۶/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۷/۷

چکیده

مسیر حرکت مرکز فشار، طی فاز استقرار راه‌رفتن، پارامتری مهم در بررسی تعادل پویا، عملکرد پا و مچ پا، اثربخشی کفش و کفی است. هدف این تحقیق تعیین مسیر حرکت مرکز فشار طی فاز استقرار راه‌رفتن مردان و زنان سالم با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی پدار بود. در این تحقیق نیمه‌تجربی، ۲۰ زن و مرد بالغ سالم به منزلهٔ آزمودنی مشارکت کردند. مختصات مرکز فشار آزمودنی‌ها، در محورهای عمودی و افقی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف‌پایی پدار (Pedar-X) اندازه‌گیری شد. ازطریق نقاط کلیدی مختصات و بردار شتاب مرکز فشار در محور عمودی (Y)، فاز استقرار راه‌رفتن به چهار قسمت تقسیم و موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار در این قسمت‌ها محاسبه شد. از آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد)، ضریب همبستگی پیرسون و ضریب پایایی ICC برای تحلیل آماری اطلاعات استفاده شد ($P\leq0.05$). نتایج نشان داد که مرکز فشار در طی فاز استقرار راه‌رفتن در محور عمودی به سمت جلو و در محور افقی به سمت داخل تغییر می‌کند. ضریب همبستگی پیرسون رابطهٔ معکوس و معناداری را بین مختصات مرکز فشار در جهات افقی و عمودی به نمایش گذاشت ($P<0.05$). نتایج ICC پایایی بالایی را بین تکرارهای مختصات مرکز فشار در محورهای افقی و عمودی نشان داد. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌مثابهٔ هنجار مسیر حرکت مرکز فشار و پارامترهای کینماتیکی مرتبط با آن در افراد سالم و معیاری برای مقایسه مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: مرکز فشار، دستگاه پدار، راه‌رفتن، پدوباروگرافی.

The trajectory of center of pressure during stance phase of gait in healthy males and females using pedar-X system

Farjad Pezeshk, A[1]., Sadeghi, H [2].

1- Master of Science Sport Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Iran.

2- Full Professor Sport Biomechanic, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Iran.

Abstract

Introduction and Objectives. The trajectory of center of pressure (COP) during the stance phase of gait is considered as an important parameter in assessing of dynamic balance, foot and ankle function and effectiveness of shoe and orthotics. The aim of this study was to determine the COP trajectory during stance phase of gait in healthy males and females, by means of Pedar-X plantar pressure measurement apparatus.**Methods:** 15 healthy adult females who didn't have any history of injury that altered their normal gait pattern and trajectory of COP, participated in this study. The coordinate of COP in transverse (X) and vertical (Y) axes were measured using Pedar-X system. The stance phase of gait divided into the four sections by key points of acceleration vector in Y direction and then position, velocity and acceleration of COP at these portions were computed. To statically analysis, Descriptive statistic (Mean and standard deviation), Pearson correlation coefficient and ICC coefficient were used ($P\leq0.05$). **Results and Discussion:** The results indicated that during stance phase of gait, COP moves forward and medial in Y and X axes, respectively. Significant, strong but negative correlation seen between COP coordinates in X and Y axes. High Inter Class Correlation also showed between trials reliability for Pedar-X system in estimation of COP coordinates. **Conclusion:** The results of this study could be used as a standard norm of trajectory of COP in healthy adult subjects.

Keywords: Center of Pressure, Pedar-X System, Gait, Pedobarography.

*. Ehsan.farjad.pezeshk@gmail.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

مقدمه

مسیر پیشروی مرکز فشار طی فاز استقرار راه‌رفتن ازجمله پارامترهایی است که درحال حاضر جایگاه خاصی را در تجزیه و تحلیل راه‌رفتن به دست آورده است. بررسی حرکت مرکز فشار در سطح کف پا می‌تواند الگوی حرکت فرد و چگونگی تعادل پویای فرد را به نمایش بگذارد (۱). صادقی و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که در ایجاد الگوی متفاوت جذب و تولید توان مکانیکی، فاصلهٔ بین تغییرات مرکز فشار با خط مرکز ثقل اثرگذار است (۲). علاوه‌براین، مرکز فشار می‌تواند معیاری برای ارزیابی پایداری داخلی و خارجی، بررسی تأثیر اورتزها و برنامه‌های درمانی و همچنین مقایسهٔ راه‌رفتن افراد بیمار و سالم در نظر گرفته شود (۳،۴). هان و همکاران (۱۹۹۹) بیان کردند که مرکز فشار در سطح عمود ۸۳ درصد طول پا و در سطح افق ۱۸درصد طول پا را با سرعت میانگین ۲۲–۲۷ سانتی‌متر بر ثانیه می‌پیماید (۱). کارنوال و مک‌پویل (۲۰۰۰) نشان دادند که مرکز فشار در راه‌رفتن سه اوج و فرود مهم دارد که می‌توان از آن برای تقسیم‌بندی مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن استفاده کرد (۵). جیمسون و همکاران (۲۰۰۸، ۲۰۰۶) گزارش کردند که مرکز فشار تحت ناحیهٔ پاشنه ۲۳,۸، تحت ناحیهٔ وسط پا ۲۸,۳ و ناحیهٔ جلو پا ۴۷,۵ درصد زمان مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن را به خود اختصاص می‌دهد (۶،۷). دی‌کاک و همکاران (۲۰۰۸) به این نتیجه رسیدند که جابه‌جایی مرکز فشار در سطح افق تحت تأثیر ارتفاع قوس پا قرار می‌گیرد؛ به‌طوری‌که افراد با قوس پای کمتر، شیفت خارجی در مرکز فشار خود دارند (۸). خوری و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از دستکاری کف کفش به این نتیجه رسیدند که همبستگی مثبتی بین جهت قرارگیری کف پا (ایورژن و اورژن) با مسیر حرکت مرکز فشار وجود دارد (۹).

درباب تعیین مسیر حرکت مرکز فشار پاتولوژیکال نیز چندین کار انجام شده است. اشمیت و همکاران (۲۰۰۵) اثر استفاده از اندام مصنوعی (۱۰)، سمپل و همکاران (۲۰۰۷) اثر روماتوئید آرتریت (۱۱) و هاپکینز و همکاران (۲۰۱۲) اثر اسپرین مچ پا را بر مسیر حرکت مرکز فشار تحت بررسی قرار دادند (۱۲). با توجه به اهمیت و کاربرد پارامتر مرکز فشار، نیاز به وجود هنجاری برای مسیر حرکت و پارامترهای کینماتیکی مرکز فشار در فاز استقرار راه‌رفتن مردان و زنان سالم ضروری به نظر می‌رسد، تا ازاین‌طریق، انحرافات ناشی از اختلالات پاتولوژیکال و میزان بهبودی و پیشرفت درمان با آن مقایسه و شناسایی شد. بااین‌حال، درحال حاضر، تحقیقی که این پارامترها را در افراد سالم تعیین کرده باشد به چشم نمی خورد. نکتهٔ دیگری که در تحقیقات گذشته به چشم می‌خورد، ابزاری است که برای اندازه‌گیری مرکز فشار در این تحقیقات به کار رفته است. مک‌پویل و همکاران (۱۹۸۹) برای تعیین مسیر حرکت مرکز فشار از صفحهٔ نیرو استفاده کردند (۱۳). برخی محققان این پارامتر را با استفاده از سکوهای مختلف پدوباروگراف اندازه‌گیری کرده‌اند (۵،۱۲). بااین‌حال، با توجه به اینکه دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی پدار (Pedar-X) اطلاعات زیاد و معتبری را در زمینهٔ عملکرد پا با استفاده از وسیله‌های توان‌بخشی مختلف ازقبیل کفش‌های طبی و اورتزهای مختلف فراهم می‌کند و در تحقیقاتی که لازم است اندازه‌گیری به‌صورت هم‌زمان در دو اندام صورت بگیرد

(مانند بررسی تقارن دو اندام) نیز کاربرد دارد، نیاز به اطلاع از چگونگی محاسبهٔ مرکز فشار با استفاده از این دستگاه و پایایی آن در تعیین پارامترهای مرتبط با مسیر حرکت مرکز فشار احساس می‌شود. به‌همین‌منظور، این تحقیق با دو هدف: الف) تعیین مسیر حرکت و پارامترهای کینماتیکی مرکز فشار در مردان و زنان سالم، ب) پایایی‌سنجی سیستم اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی پدار در تعیین مختصات مرکز فشار انجام شد.

روش‌شناسی

در این تحقیق نیمه‌تجربی، نمونه‌ها به‌صورت ساده و دردسترس از بین دانشجویان و کارکنان دانشگاه علوم بهزیستی و توان‌بخشی انتخاب شدند. کلیهٔ متقاضیان برای مشارکت در این تحقیق ازلحاظ انحرافات کمر شامل لوردوز،[1] کایفوز[2] و اسکولیوز،[3] انحرافات زانو شامل زانوی پرانتزی[4] و ضربدری،[5] انحرافات کف پا شامل کف پای صاف،[6] گود[7] و انگشت شست کج،[8] دامنهٔ حرکتی مچ پا، درد در اندام تحتانی و شلی مفصل مچ پا،[9] مورد ارزیابی و معاینهٔ متخصص ارتوپد فنی قرار گرفتند و اگر به تشخیص متخصص، ناهنجاری فرد در حدی بود که احتمال داشت روی داده‌ها اثر بگذارد، آن فرد از نمونه‌ها حذف شد. اطلاعات فردی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. پیش‌از انجام آزمون، ابتدا مراحل آزمون برای هر فرد توضیح داده شد و مشارکت‌کنندگان فرم رضایت‌نامه را نیز تکمیل کردند.

جدول ۱. میانگین (انحراف استاندارد) مشخصات فردی آزمودنی‌ها

گروه	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	شاخص تودهٔ بدنی
مردان (n=10)	۲۷,۲۱ (۵,۲۴)	۱۷۷,۶۶ (۷,۴۸)	۷۳,۱۱ (۸,۷۲)	۲۳,۱۰ (۱,۷۰)
زنان (n=10)	۲۸,۱۴ (۶,۳۲)	۱۶۳,۱ (۶,۴۸)	۵۵,۶ (۴,۹۹)	۲۰,۹۴ (۲,۵۱)

برای اندازه‌گیری مسیر حرکت مرکز فشار در این تحقیق از دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی پدار (Pedar-X) استفاده شد (تصویر ۱). برای این منظور، کفی مخصوص این دستگاه (در اندازه‌های مختلف متناسب با شمارهٔ پای آزمودنی‌ها، که حاوی ۹۹ حسگر است، وارد کفش استاندارد (تصویر ۲) شد و دستگاه پرتابل دستگاه به کمر آزمودنی بسته شد. پس‌از آماده‌شدن آزمودنی، از او درخواست شد برای آشنایی با دستگاه و کاهش اثر آن در الگوی راه‌رفتن، چند دقیقه با وضعیت جدید راه برود. پس‌از آن، از آزمودنی‌ها

1. Lordosis 2. Kyphosis 3. Scoliosis 4. Genu Valgum 5. Genu Varum
6. Pes Planus 7. Pes Cavus 8. Hallux Valgux 9. Ankle Laxity

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

درخواست شد تا در مسیر راهرویی هفت‌متری را چهارمرتبه به‌صورت رفت‌وبرگشت راه بروند. حین راه‌رفتن آزمودنی اطلاعات از طریق امواج بی‌سیم به دستگاه مخصوص جمع‌آوری اطلاعات ارسال می‌شد. از مجموع چهار دوری که در طول مسیر راه‌رو اطلاعات جمع‌آوری شد، اطلاعات مربوط به دور اول به جهت احتمال اثر آشنایی فرد در اطلاعات حذف شد و از اطلاعات سه دور باقی‌مانده نیز گام‌های اول و آخر هر دور به‌دلیل اثر فرایند آغاز و انتهای راه‌رفتن از مجموع داده‌ها حذف شد و درمجموع، اطلاعات مربوط به دوازده گام عادی برای مراحل بعدی تجزیه و تحلیل انتخاب شد.

تصویر ۱. دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی

تصویر ۲. کفش استاندارد مورد استفاده در این تحقیق

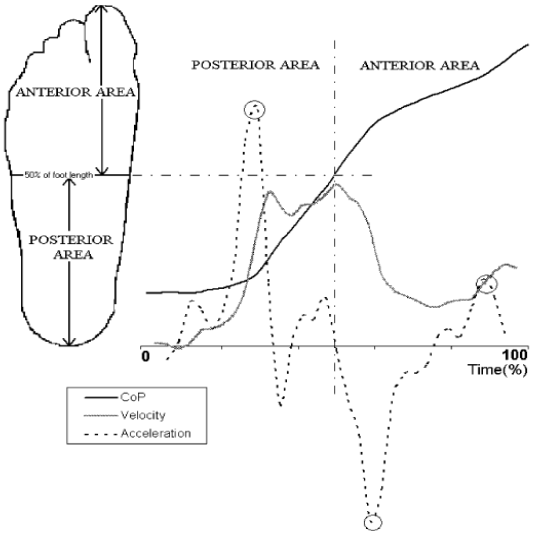
برای دوازده گام منتخب هر آزمودنی مختصات مرکز فشار در جهات X (افقی) و Y (عمودی) جمع‌آوری شد. پس‌از میانگین‌گیری از مختصات این دوازده گام برای هر آزمودنی، فرایند مشتق‌گیری اطلاعات واحد زمان انجام شد و سرعت و شتاب مرکز فشار در واحد زمان طی فاز استقرار راه‌رفتن ازطریق روابط ذیل محاسبه شد:

$$\bar{V}cop_{x,y} = \frac{Cop_{(x,y+1)} - Cop_{(x,y-1)}}{2\Delta t}$$

$$\bar{a}cop_{x,y} = \frac{\bar{V}Cop_{(x,y+1)} - \bar{V}Cop_{(x,y-1)}}{2\Delta t}$$

به‌منظور تقسیم‌بندی مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن، از روش کارناوال و مک‌پویل (۲۰۰۰) استفاده شد (۵). برای این منظور، همان‌گونه که در تصویر ۳ نشان داده شده است براساس نقاط کلیدی که در مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن در بردار جابه‌جایی مرکز فشار در محور Y رخ می‌دهد (و ازطریق نمودار شتاب مرکز فشار درجهت Y قابل شناسایی است)، فاز استقرار به چهار مرحله تقسیم شد: مدت‌زمان بین آغاز مرحلهٔ ایستا و اوج اول شتاب مرکز فشار در محور عمودی (فاز اول)، مدت‌زمان بین اوج اول شتاب تا اوج کاهش شتاب مرکز فشار در محور عمودی (فاز دوم)، مدت‌زمان بین اوج کاهش شتاب و اوج سوم شتاب مرکز فشار در محور عمودی (فاز سوم)، مدت‌زمان بین اوج سوم مرکز فشار تا انتهای مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن (فاز چهارم).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]



تصویر ۳. تعیین نقاط کلیدی مرکز فشار از طریق اوج شتاب مرکز فشار در محور Y

برای تعیین مسیر حرکت مرکز فشار زنان و مردان سالم در جهات عمودی و افقی از آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) استفاده شد. برای تعیین رابطهٔ بین مختصات مرکز فشار در جهات افقی و عمودی در فاز استنس راه‌رفتن از ضریب همبستگی پیرسون و برای تعیین پایایی بین تکرارهای مختصات مرکز فشار در جهات افقی و عمودی از ضریب ICC[1] استفاده شد. کلیهٔ آزمون‌های آماری در سطح معناداری ۰٫۰۵ اجرا شدند.

یافته‌ها

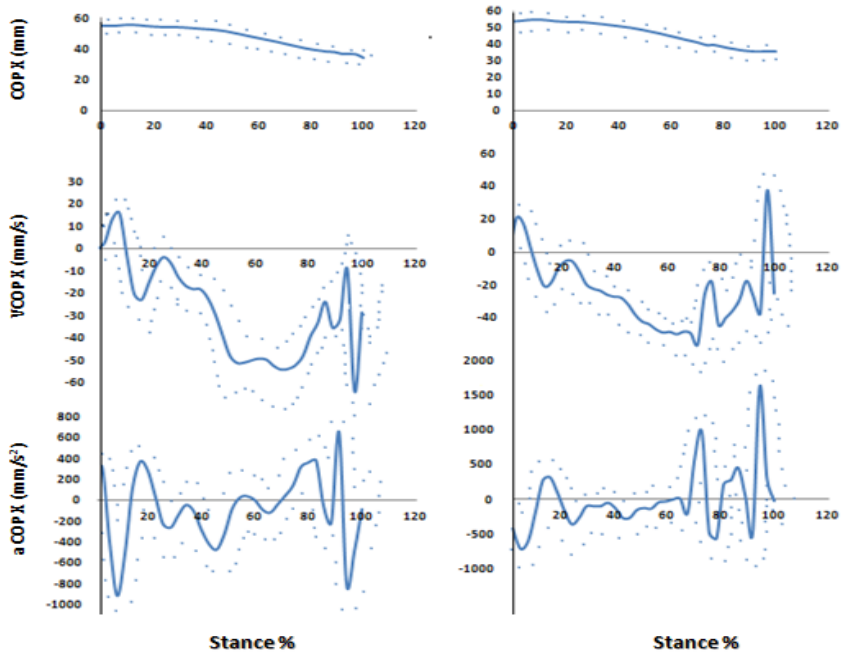
موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار به‌منزلهٔ تابعی از زمان در محورهای X و Y پای راست و چپ مردان و زنان سالم در تصویر ۳ تا ۶ به نمایش درآمده است. همان‌طور که در نمودارهای جابه‌جایی مرکز فشار مشهود است، در محور X مرکز فشار در طول مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن به سمت مقادیر کمتر و در محور Y به سمت مقادیر بالاتر سوق پیدا می‌کند. ضرایب همبستگی پیرسون بین موقعیت X و Y هر پا به‌خوبی این رابطهٔ معکوس را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که در هر دوپای زنان و مردان همبستگی بالا و منفی مشاهده شد (جدول ۵).

1. Inter Class Correlation

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

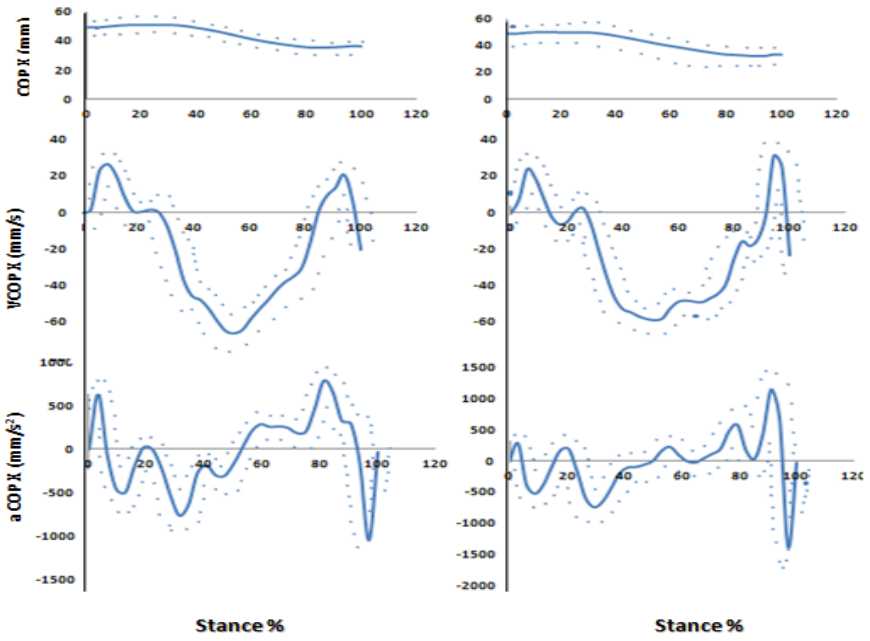
جدول ۲. میانگین (انحراف استاندارد) جابه‌جایی مرکز فشار در محورهای X و Y بر حسب میلی‌متر

گروه	اندام	جابجایی COPX	جابجایی COPY
مرد	پای راست	۱۹,۷۷ (۲,۵)	۱۷۷,۷۳ (۴۳,۷)
	پای چپ	۲۱,۰۶ (۲,۸)	۱۷۶,۲۱ (۱۸,۷)
زن	پای راست	۱۶,۰۱ (۳,۱)	۱۶۴,۵ (۱۴,۵)
	پای چپ	۱۳,۳۲ (۳,۵)	۱۵۷,۵ (۲۴,۹)

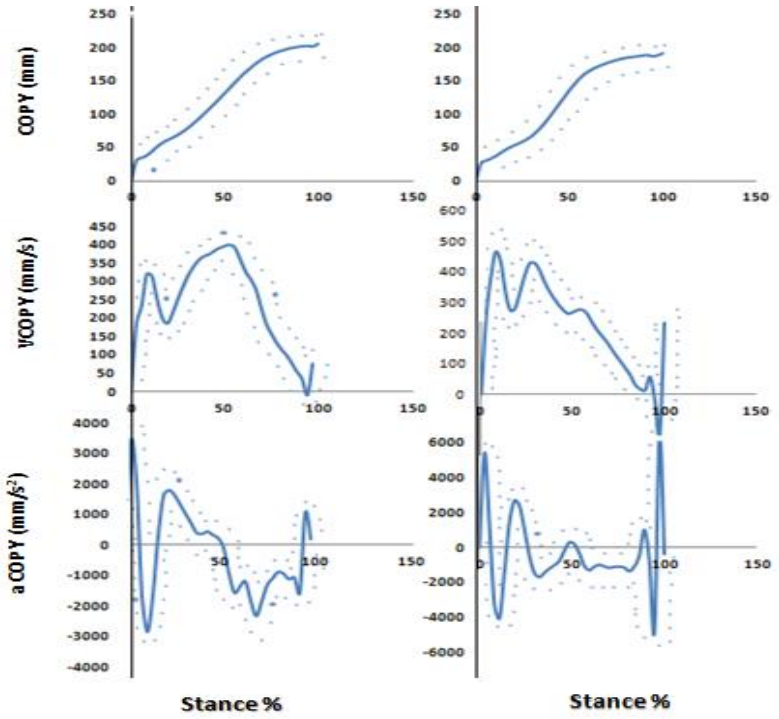


تصویر ۴. موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار پای راست (سمت راست) و پای چپ (سمت چپ) مردان در سطح افق (X) برحسب درصدی از فاز استقرار راه‌رفتن

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

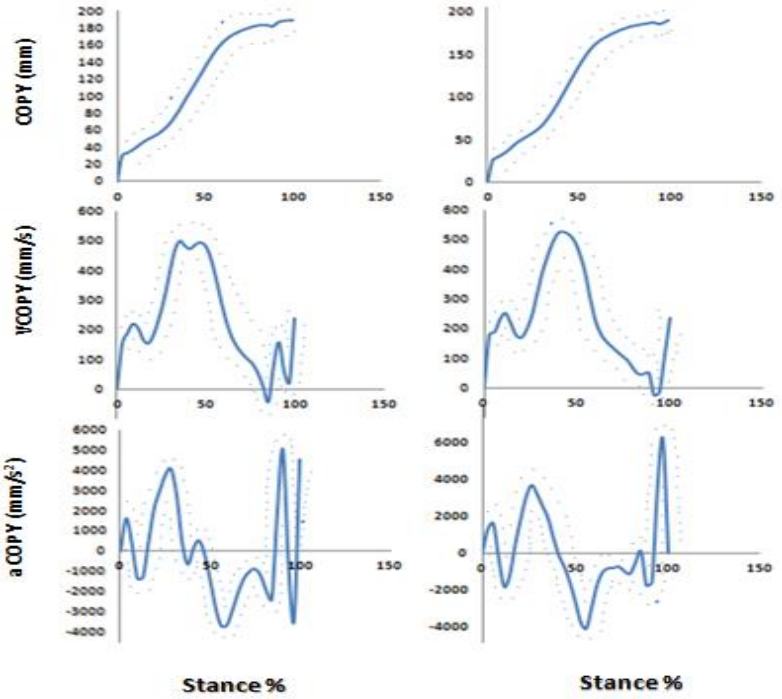


تصویر ۵. موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار پای راست (سمت راست) و پای چپ (سمت چپ) زنان در سطح افق (X) برحسب درصدی از فاز استقرار راه‌رفتن



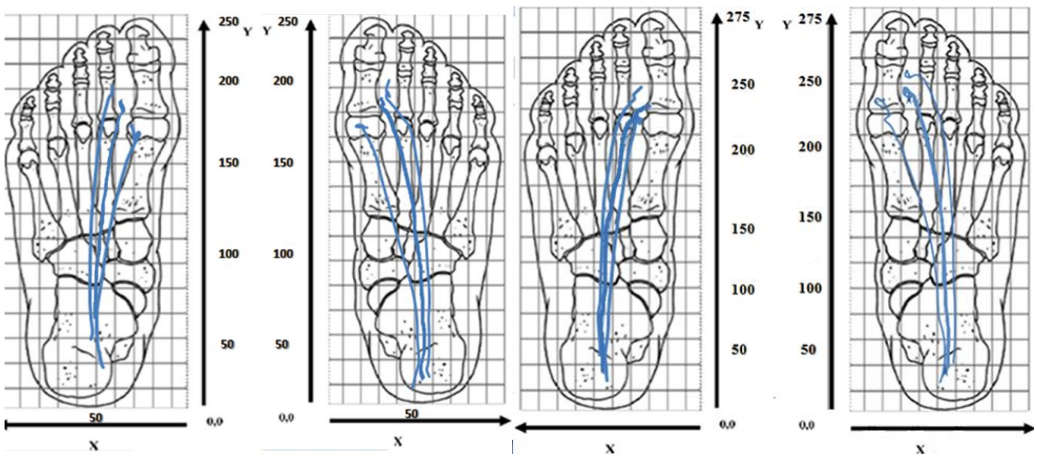
تصویر ۶. موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار پای راست (سمت راست) و پای چپ (سمت چپ) مردان در سطح عمودی (Y) برحسب درصدی از فاز استقرار راه‌رفتن

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]



تصویر ۷. موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار پای راست (سمت راست) و پای چپ (سمت چپ) زنان در سطح عمودی (Y) برحسب درصدی از فاز استقرار راه‌رفتن

مسیر حرکت مرکز فشار در کف پا در تصویر ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مرکز فشار در ابتدای مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن در مرکز پاشنه قرار دارد و به‌تدریج به ناحیهٔ داخل پا چرخش می‌کند تا انتهای مرحلهٔ استقرار که مرکز فشار به ناحیهٔ بین انگشت اول و دوم می‌رسد.



تصویر ۸. مسیر حرکت مرکز فشار (خط پررنگ میانگین و خطوط کمرنگ انحراف استاندارد) در مردان (تصویر سمت راست) و زنان سالم (تصویر سمت چپ)

پس‌از تعیین سه نقطهٔ کلیدی با استفاده از نمودار جابه‌جایی و شتاب مرکز فشار در مختصات Y، مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن افراد به چهار مرحلهٔ شروع تا رسیدن به اوج اول (P1)، اوج اول تا اوج دوم (P2)، اوج دوم

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

تا اوج سوم (P3) و اوج سوم تا انتهای مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن (P4) تقسیم می‌شود و سپس، میانگین و حداکثر جابه‌جایی، میانگین و حداکثر سرعت و شتاب و همچنین زمان سپری‌شده در هر فاز در محورهای عمودی (Y) و افقی (X) مورد محاسبه می‌شود (جدول ۴ و ۵). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مرکز فشار در طول مرحلهٔ استقرار، مسیری قدامی و داخلی را می‌پیماید. بااین‌حال، سرعت پیش‌روی مرکز فشار در محور Y ابتدا زیاد است و سپس در طول مرحلهٔ ۲ از این سرعت کاسته می‌شود تا انتهای مرحلهٔ سوم و هنگام پیش‌روی که مجدداً سرعت پیش‌روی مرکز فشار در محور Y افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۳. میانگین (M) (انحراف استاندارد) و حداکثر (MAX) جابه‌جایی مرکز فشار در جهات Y و X به همراه زمان صرف‌شده در هر فاز و لحظهٔ رسیدن به حداکثر جابه‌جایی برحسب درصدی از مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن در پای راست و چپ مردان و زنان

گروه	Y.P1 (mm)		t.P1 (%S)	Y.P2 (mm)		t.P2 (%S)	Y.P3 (mm)		t.P3 (%S)	Y.P4 (mm)		t.P4 (%S)
	M	MAX	M	M	MAX	M	M	MAX	M	M	MAX	M
مرد.ر	۵۱,۱۳ (۱۲,۵۵)	۷۵,۲۱ (۱۴,۲۱)	۲۶,۱ (۲,۱۲)	۱۱۵,۵۰ (۱۳,۵۷)	۲۰۴,۰۴ (۱۷,۲۵)	۵۵ (۳,۷۴)	۲۰۵,۷۹ (۳,۸۶)	۲۰۸,۰۴ (۸,۶۱)	۱۶,۲ (۲,۵۱)	۲۰۲,۷۳ (۳,۵۱)	۲۰۲,۷۳ (۳,۵۱)	۵,۲۸ (۱,۵
مرد. چ	۴۹,۷۶ (۸,۳۲)	۶۸,۳۷ (۱۰,۲۳)	۲۵,۶۵ (۲,۶۱)	۱۳۱,۹۵ (۱۴,۸۵)	۱۸۸,۲۴ (۲۳,۳۶)	۴۵,۶ (۳,۱۳)	۱۹۹,۱۶ (۵,۹)	۲۰۳,۷۶ (۲۱,۱۴)	۲۲,۸ (۲,۴۱)	۲۰۳,۰۲ (۹,۵۲)	۲۰۳,۰۳ (۸,۴۲)	۵,۹۵ (۰,۵)
زن.ر	۴۶,۷۲ (۸,۸۴)	۶۲,۹۵ (۱۱,۰۳)	۲۶,۴۶ (۲,۲۲)	۱۱۸,۷۲ (۱۳,۱۱)	۱۶۵,۴۷ (۱۶,۹۵)	۳۲,۳۴ (۲,۸۵)	۱۸۲,۰۷ (۹,۷۶)	۱۸۸,۵۳ (۱۲,۵۴)	۳۸,۲ (۳,۲۷)	۱۹۱,۱ (۱۵,۲۵)	۱۹۱,۰۱ (۱۱,۷۶)	۸,۵۹ (۱,۱۴)
زن.چ	۴۶,۸۸ (۱۳,۱۲)	۶۴,۸۵ (۱۶,۸۴)	۲۸,۰۸ (۲,۵)	۱۱۸,۷۶ (۱۸,۲۷)	۱۶۲,۸۹ (۲۱,۴۵)	۳۱,۲ (۳,۵۶)	۱۷۹,۰۹ (۸,۰۶)	۱۸۶,۲۹ (۱۸,۰۶)	۳۱,۰۲ (۳,۱)	۱۸۸,۸۳ (۹,۲۱)	۱۸۸,۴۵ (۸,۲۴)	۹,۵۲ (۱,۴۱)
گروه	X.P1 (mm)		t.P1 (%S)	X.P2 (mm)		t.P2 (%S)	X.P3 (mm)		t.P3 (%S)	X.P4 (mm)		t.P4 (%S)
	M	MAX	M	M	MAX	M	M	MAX	M	M	MAX	M
مرد. ر	۵۴,۳۷ (۲,۴۷)	۵۳,۶۸ (۳,۱)	۲۶,۱ (۲,۱۲)	۴۶,۷۹ (۳,۷۴)	۳۷,۹۳ (۳,۸۱)	۵۵ (۳,۷۴)	۳۶,۱۶ (۳,۴۱)	۳۵,۷۶ (۳,۷۸)	۱۶,۲ (۲,۵۱)	۳۵,۷۶ (۲,۱۵)	۳۵,۷ (۲,۱۵)	۵,۲۸ (۱,۵)
مرد.چ	۵۶,۰۶ (۲۶,۱۰)	۴۹,۶۵ (۳,۵۵)	۲۵,۶۵ (۲,۶۱)	۴۹,۶۵ (۲,۶۹)	۴۲,۴۱ (۳,۹۶)	۴۵,۶ (۳,۱۳)	۳۸,۶۲ (۳,۴۷)	۳۶,۵۵ (۴,۵۵)	۲۲,۸ (۲,۴۱)	۳۵,۱۵ (۲,۹۲)	۳۶,۲۸ (۳,۶۳)	۵,۹۵ (۰,۵)
زن.ر	۴۹,۸۲ (۲,۳۲)	۴۸,۹۶ (۳,۳۳)	۲۶,۴۶ (۲,۲۲)	۴۵,۴۰ (۳,۷۶)	۳۹,۵۰ (۵,۱۲)	۳۲,۳۴ (۲,۸۵)	۳۴,۱۷ (۳,۹۶)	۳۱,۹ (۴,۵۲)	۳۸,۲ (۳,۲۷)	۳۳,۰۵ (۳,۷۶)	۳۳,۰۵ (۴,۵۱)	۸,۵۹ (۱,۱۴)
زن.چ	۵۰,۵ (۲,۵۵)	۴۹,۰۵ (۳,۸۹)	۲۸,۰۸ (۲,۵)	۴۶,۹۵ (۳,۱۲)	۴۱,۱۶ (۴,۴۸)	۳۱,۲ (۳,۵۶)	۳۶,۸۸ (۴,۲۴)	۳۵,۳۶ (۵,۲۱)	۳۱,۰۲ (۳,۱)	۳۶,۲۶ (۲,۳۹)	۳۶,۲۸ (۳,۸۶)	۹,۵۲ (۱,۴۱)

سرعت مرکز فشار در محور X نیز ابتدا در جهت مثبت افزایشی دارد (تصویر ۳ و ۴) و سپس، از سرعت آن کاسته می‌شود تا انتهای مرحلهٔ سوم و هنگام پیش‌روی که سرعت انتقال مرکز فشار در محور X به سمت داخل پا به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

جدول ۴. میانگین (M) سرعت (V) و شتاب (a) جابه‌جایی مرکز فشار در محورهای Y و X پای راست و چپ مردان و زنان

گروه	VY.P1 (mm/s)	VY.P2 (mm/s)	VY.P3 (mm/s)	VY.P4 (mm/s)	aY.P1 (mm/s²)	aY.P2 (mm/s²)	aY.P3 (mm/s²)	aY.P4 (mm/s²)
	M	M	M	M	M	M	M	M
مرد.ر	۳۴۷,۷۰	۲۵۹,۷۶	۵,۰۸-	۲۳۵,۸۳	۵۶۶,۴۶	۸۳۰,۸۰-	۵۲,۲۹	۳۷۳,۱۱-
مرد. چ	۲۳۹,۸۹	۳۳۵,۹۵	۸۳,۸۷	۷۷,۱۴	۵۲۱,۹۰	۴۰۰,۵۴-	۸۹۶,۳۹-	۱۹۱,۲
زن. ر	۲۰۷,۵۵	۴۲۴,۲۲	۸۴,۸۴	۲۳۷,۱۰	۹۴۹,۸۶	۶۸۹,۱۰-	۱۱۱,۸۸-	۱۴,۷۲-
زن. چ	۲۰۰,۹۱	۴۴۱,۵۸	۹۸,۸	۱۰۵,۲۰	۱۴۱۲,۴۶	۸۵۱,۴۱-	۶۸۱,۳۴-	۱۷۲,۶۷
گروه	VX.P1 (mm/s)	VX.P2 (mm/s)	VX.P3 (mm/s)	VX.P4 (mm/s)	aX.P1 (mm/s²)	aX.P2 (mm/s²)	aX.P3 (mm/s²)	aX.P4 (mm/s²)
	M	M	M	M	M	M	M	M
مرد. ر	۳,۴۴-	۳۴,۹۳-	۱۸,۳۶-	۲۵,۴۲-	۱۷۳,۲۸-	۶۶,۵۶-	۳۶۹,۲۵	۱۷,۶۴-
مرد. چ	۴,۵۵-	۳۸,۳۷-	۳۴,۰۲-	۴۶,۱۸-	۹۷,۶۰-	۱۳۶,۲۸-	۱۰۲,۵۹	۲۸۲,۹۲-
زن. ر	۵,۶۴	۴۶,۰۸-	۲۲,۷۰-	۲۳,۴۵-	۱۶۳,۷۸-	۱۶۰,۸۳-	۱۹۲,۱۸	۲۲,۵۷-
زن. چ	۹,۴۷	۴۷,۹-	۲۳,۹۹-	۲,۷۱	۱۴۵,۲۰-	۲۱۰,۴۰-	۳۶۶,۹	۴۱۲,۸-

نتایج ضریب ICC در جدول ۵ نشان می‌دهد که بین تکرارهای موقعیت مرکز فشار در محورهای X و Y در گام‌های مختلف پای راست و چپ مردان و زنان همبستگی زیادی وجود دارد. ضریب همبستگی پیرسون هم رابطهٔ محکم و معکوسی را بین مختصات مرکز فشار در جهات X و Y در هر چهار گروه شناسایی کرد ($P<0.01$).

جدول ۵. ضریب ICC بین تکرارهای مرکز فشار دستگاه پدار و ضریب همبستگی پیرسون بین مختصات افقی (X) و عمودی (Y) مرکز فشار در پای راست و چپ مردان و زنان در ۱۰ گام

گروه(X)	اندام	ضریب ICC	گروه (Y)	ضریب ICC	ضریب همبستگی پیرسون بین مختصات X و Y مرکز فشار
مردان	پای راست	۰,۹۸	پای راست	۰,۹۹	-۰,۸۵
	پای چپ	۰,۹۸	پای چپ	۰,۹۹	-۰,۸۶
زنان	پای راست	۰,۹۹	پای راست	۰,۹۹	-۰,۸۸
	پای چپ	۰,۹۷	پای چپ	۰,۹۸	-۰,۹۰

نکته: کلیهٔ همبستگی‌ها در سطح ۰,۰۱ معنی‌دار بود

بحث

هدف این تحقیق تعیین مسیر حرکت مرکز فشار طی فاز استقرار راه‌رفتن مردان و زنان سالم با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی پدار و همچنین پایایی‌سنجی این دستگاه در تخمین تکرارهای مختلف مختصات مرکز فشار بود. مسیر حرکت مرکز فشار در محور x در طول فاز استقرار نشان داد که به‌طور تقریبی در مردان مرکز فشار ۲۰ سانتی‌متر و در زنان ۱۶ سانتی‌متر جابه‌جایی دارد. با توجه به طبیعی‌بودن قوس کف پای آزمودنی‌های تحقیق کنونی، می‌توان جابه‌جایی صورت‌گرفته در محور x را جابه‌جایی طبیعی در نظر گرفت که درواقع، این میزان جابه‌جایی نسبت به جابه‌جایی داخلی خارجی مرکز فشار در تحقیق هان و همکاران (۱۹۹۹)، که مرکز فشار را در افراد با پاشنهٔ صاف بررسی کرده بودند (۱۳

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

میلی‌متر برای مردان و ۱۰ میلی‌متر برای زنان)، مقداری بیشتر بود (۱). دی‌کاک و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که جابه‌جایی اندک مرکز فشار در سطح افق نشان‌دهندهٔ افزایش قوس و انعطاف‌پذیری کم قوس کف پاست و برعکس جابه‌جایی زیاد آن نشان‌دهندهٔ منعطف‌بودن قوس است (۸). ویلیامز و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که در افراد دارای قوس طولی کم پا مرکز فشار به سمت خارج چرخش می‌کند (۱۴). خوری و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از دستکاری کفش به این نتیجه رسیدند که رابطهٔ مثبتی بین تمایل (سوپینیشن-پرونیشن) کف پا و مسیر حرکت مرکز فشار وجود دارد (۹). هاپکینز و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از اندازه‌گیری هم‌زمان مسیر حرکت مرکز فشار و فعالیت عضلات مچ پا نشان دادند که جابه‌جایی داخلی-خارجی مرکز فشار ناشی از تغییر در فعالیت عضلات (خصوصاً عضلات اینورتزو و اورتور مچ پا) است (۱۲). بنابراین، تغییر در جهت طبیعی مچ پا می‌تواند بر فعالیت عضلات مچ پا و درنتیجه مسیر حرکت مرکز فشار تأثیر بگذارد. ازاین‌رو، ویلمز و همکاران (۲۰۰۵) چنین نتیجه گرفتند که تغییرات مرکز فشار در جهت افقی می‌تواند معیاری برای تشخیص ناهنجاری‌های موجود در کف و مچ پا باشد (۱۴).

نمودار سرعت جابه‌جایی مرکز فشار در محور X نشان می دهد که مرکز فشار در ابتدای مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن، افزایش سرعتی به سمت خارج پا دارد (تصویر ۳ و ۴). این مقدار به‌تدریج کاسته شده تا در نقطهٔ میانی مرحلهٔ استقرار راه‌رفتن که سرعت حرکت مرکز فشار به سمت داخل پا به اوج خود می‌رسد. این افزایش سرعت در جابه‌جایی مرکز فشار به سمت داخل را می‌توان به گشتاور اورتورها نسبت داد که به‌دلیل فاصلهٔ جانبی بین مرکز فشار و مرکز ثقل در هنگام پذیرش وزن رخ می‌دهد و هرچه نقطهٔ تماس اولیه به مرکز ثقل بدن نزدیک‌تر باشد، گشتاور اورتورها غالب‌تر خواهد بود (۲). دی‌ویت و دی‌کلر (۲۰۰۱) و همچنین دی‌کاک و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که این جابه‌جایی داخلی و افزایش سرعت متعاقب به‌دلیل فرایند پذیرش وزن صورت می‌گیرد (۱۵،۱۶). پس‌از این مرحلهٔ از سرعت جابه‌جایی داخلی کاسته و به سرعت جابه‌جایی خارجی افزوده می‌شود. این افزایش سرعت خارجی می‌تواند به‌علت فعالیت اینورتورها باشد که به‌دلیل بهتر انجام‌شدن پوش آف و تبدیل پا به اهرمی سخت در این مرحله فعال می شوند، که در این حالت نیز مرکز فشار به سمت داخل چرخش می‌کند و در لحظهٔ پوش آف این چرخش داخلی به اوج خود می‌رسد (۱۶). جابه‌جایی مرکز فشار آزمودنی‌های تحقیق کنونی در محور Y مشابه با گروه کنترل آزمودنی‌های تحقیق اشمیت و همکاران (۲۰۰۵) بود (۱۰) (۸۰درصد طول پا) و از آزمودنی‌های تحقیق هان و همکاران (۱۹۹۹) (۱) نیز بیشتر بود که دارای پاشنهٔ صاف بودند (۱۷۲ میلی‌متر برای مردان و ۱۰۰ میلی‌متر برای زنان). جابه‌جایی مرکز فشار در محور Y دارای سه نقطهٔ کلیدی است که اولین نقطه تقریباً در ۲۵درصد چرخهٔ گام‌برداری رخ می‌دهد و این اوج به‌دلیل حداکثر شتاب ناحیهٔ عقب پا در هنگام واکنش بارگذاری است. نقطهٔ دوم در بردار Y تقریباً در ۶۰درصد چرخهٔ گام‌برداری رخ می‌دهد و ناشی از کاهش شتاب ناحیهٔ جلو پا به‌علت انتقال وزن از ناحیهٔ عقب به جلو پاست. به‌عبارت دیگر، در هنگام بلندشدن پاشنه به‌دلیل جلوتر قرارگرفتن مرکز ثقل نسبت به مرکز فشار (۲) سرعت پیش‌روی مرکز فشار در این نقطه کاهش خواهد

یافت (جدول ۵) و نقطهٔ سوم نیز که تقریباً در نقطهٔ ۹۷درصد چرخه صورت می‌گیرد مربوط است حداکثر شتاب مرکز فشار زیر ناحیهٔ متاتارسال و انگشت بزرگ و این اوج به‌منظور پیش‌روی صورت می‌گیرد. بااین‌حال زمان‌بندی پیک‌های شتاب مرکز فشار در محور Y آزمودنی های این تحقیق با تحقیق مک پویل و کارن وال (۲۰۰۰) متفاوت بود که گزارش کرده بودند پیک اول در نقطهٔ ۲۰درصد، پیک دوم در نقطهٔ ۳۵درصد و پیک سوم در نقطهٔ ۹۲درصد چرخهٔ گام‌برداری صورت می‌گیرد (۵) و ازآنجایی‌که آزمودنی‌های تحقیق مک‌پویل و کارنوال (۲۰۰۰) نیز بزرگسالان سالم بودند به نظر می‌رسد عوامل عملکردی ازقبیل تفاوت سرعت راه‌رفتن بر این الگوی زمان‌بندی اثرگذار باشد.

با توجه به همبستگی معکوس و محکم (بیش‌از ۰٫۸۵) بین مختصات مرکز فشار در جهات X و Y، با پیش‌روی مرکز فشار در مختصات Y، جابه‌جایی مرکز فشار در محور X کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، هم‌زمان با پیش‌روی مرکز فشار به ناحیهٔ قدامی، مرکز فشار به ناحیهٔ داخلی کف پا نیز چرخش می‌کند و با توجه به طبیعی‌بودن الگوی راه‌رفتن آزمودنی‌های این تحقیق (با توجه به نداشتن هیچ‌گونه ناهنجاری اثرگذار بر الگوی راه‌رفتن) این ضریب را می‌توان معیاری برای الگوی طبیعی راه‌رفتن در نظر گرفت و هرگونه تغییر نتایج ضریب همبستگی بین مسیر حرکت افقی و عمودی مرکز فشار به سمت همبستگی منفی کمتر می‌تواند حاکی از خارج‌شدن الگوی راه‌رفتن فرد از وضعیت طبیعی خود باشد. بااین‌حال، تحقیقات بیشتری لازم است تا رابطهٔ مختصات مرکز فشار در جهات افق و عمود در گام‌برداری پاتولوژیکال گزارش شود. هدف دوم این تحقیق تعیین پایایی بین تکرارهای مرکز فشار دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی درون‌کفشی پدار (Pedar- X) بود. پیشتر، چسنین و همکاران (۲۰۰۰) اعتبار دستگاه پدار در تعیین مختصات مرکز فشار را با استفاده از صفحهٔ نیروی در حد پذیرفتنی گزارش کرده‌اند (۱۷). بااین‌حال، تاکنون تحقیقی دربارهٔ پایایی بین گام‌های تعیین مختصات X و Y مرکز فشار این دستگاه صورت نگرفته بود. روت استین (۱۹۸۵) گزارش کرده است که ICC شاخص پایایی‌سنجی است که ازطریق هرگونه تغییر نظام‌مند بین دو تکرار تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۸). فلیس (۱۹۹۴) گزارش کرد که ضریب پایایی بین تکرارهای ۰٫۴ تا ۰٫۷۵ نشان‌دهندهٔ پایایی خوب، و بالاتر از ۰٫۷۵ نشان‌دهندهٔ پایایی عالی است (۱۹). با توجه به اینکه در تمامی وضعیت (پای راست و چپ مرد و زن) ضریب ICC بسیار بالا گزارش شد، می‌توان نتیجه گرفت که دستگاه اندازه‌گیری پدار در تعیین مختصات مرکز فشار از پایایی مناسبی برخوردار است. بااین‌حال، ذکر این نکته ضروری است که در این تحقیق برای تعیین پایایی بین گام‌ها از گام‌های انتخابی استفاده شده بود و همان‌طور که در بخش روش‌شناسی ذکر شد، گام‌های اول و آخر هر طول مسیر به‌منظور جلوگیری از اثر فرایند آغاز و انتهای راه‌رفتن از مجموع گام‌ها حذف شده بودند. بنابراین، ضریب پایایی ذکرشده برای ده گام انتخابی محاسبه شده بود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1395.14.11.1.8]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsmt.14.11.1]

نتیجه‌گیری

مسیر حرکت، موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار در دو محور X و Y مردان و زنان سالم طی فاز استقرار راه‌رفتن، که در این تحقیق تعیین شد، می‌تواند به‌منزلهٔ معیاری برای مقایسه و تعیین اثر عوامل مختلف ازقبیل بیماری‌ها و ناهنجاری‌ها روی تغییر مسیر مرکز فشار و همچنین تعیین اثربخشی اورتز، کفش‌های طبی و برنامه‌های درمانی در بازگرداندن مسیر حرکت مرکز فشار و پارامترهای مرتبط با آن در فاز استقرار راه‌رفتن به حالت طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. پایایی بین گام‌های دستگاه پدار در تعیین مختصات مرکز فشار پای راست و چپ مردان و زنان نیز بسیار بالا گزارش شد. علاوه‌براین، معیار جدیدی که ازطریق ضریب همبستگی منفی بین مختصات مرکز فشار در جهات افقی و عمودی به‌دست آمد نیز می‌تواند به‌مثابهٔ معیاری برای الگوی طبیعی راه‌رفتن و اثربخشی دستگاه‌ها و درمان‌های بازتوانی به‌کار برده شود.

منابع

1. Han, T.R., Paik, N.J., Im M.S. (1999). Quantification of the path of center of pressure (COP) using an F-scan in-sole transducer. Gait and Posture. 10: 248-54.
2. Sadeghi, H., Allard, P., Lachance, R., Aissaoui, R., Sadeghi, S., Duhaime, M. (2002). Relationship between ankle frontal muscle powers and three-d gait patterns. American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation. 81: 1-8.
3. Ferencz, D.C., Zhenxing, J., Chizeck, H.J. (1993). Estimation of center-of-pressure during gait using an instrumented ankle-foot orthosis. Engineering in Medicine and Biology Society. Proceedings of the 15th Annual International Conference of the IEEE. 981-2.
4. Scherer, P.R., Sobiesk, G.A. (1994). The center of pressure index in the evaluation of foot orthoses in shoes. Clinical Podiatric Medicine and Surgery. 11(2): 355-63.
5. Cornwall, M.W., McPoil, T.G. (2000). Velocity of the center of pressure during walking. Journal of American Podiatric Medicine Associated. 90(7): 334-8.
6. Jameson, G., Anderson, J., Davis, R., Davids, J., Christopher, L. (2006). A comparison for methods for using center of pressure progression in the classification of foot deformity. Gait and Posture. 24: 83-93.
7. Jameson, G., Davids, J.R., Anderson, J.P., Davis, R.B., Blackhurst, D.W., Christopher, L.M. (2008). Dynamic pedobarography for children: use of the center of pressure progression. Journal of Pediatric Orthopedic. 28: 254-8.
8. De cock, A., Vanrenterghem, J., Willems, T., Witvrouw, E., De clercq, D. (2008) The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function. Gait and Pusture. 27: 669-75.
9. Khourv, M., Wolf, A., Debbi, M.E., Harmen, A., Haim, A. (2013). Foot center of pressure trajectory alteration by biomechanical manipulation of shoe design. Foot and Ankle international. 28: 245-8.
10. Schmid, M., Beltrami, G., Zambarbieri, D., Verni, G. (2005). Centre of pressure displacements in trans-femoral amputees during gait. Gait and Posture. 21: 255-62.
11. Semple, R., Turner, D., Helliwell, P., Woodburn, J. (2007). Regionalised centre of pressure analysis in patients with rheumatoid arthritis. Clinical Biomechanics. 22: 127-9.
12. Hopkins, J., Coglianese, M., Glasgow, P., Reese, S., Seeley, M. (2012). Alteration in evertor/ invertor muscle activation and center of pressure trajectory in participants with functional ankle instability. Journal of Electromyography and Kinesiology. 22 (2): 280-5.
13. Mc Poil, T., Adrian, M., Pidcoe, P. (1989). Effect of foot orthoses on center-of-pressure patterns in woman. Physical Therapy. 69: 149-54.
14. Williams, D.S., McClay, I.S., Hamill, J. (2001). Arch structure and injury patterns in runners. Clinical Biomechanics. 16: 341-7.
15. De Wit, B., De Clercq, D. (2000). Timing of lower extremity motions during barefoot and shod running at three velocities. Journal of Applied Biomechanics. 16: 169–79.
16. De Cock, A., De Clercq, D., Willems, T., Witvrouw, E. (2005). Temporal characteristics of foot roll-over during barefoot jogging: reference data for young adults. Gait and Posture. 21: 423-39.
17. Chesnin, K.J., Selby-Silverstein, L., Besser, M.P. (2000). Comparison of an in-shoe pressure measurement device to a force plate: concurrent validity of center of pressure measurements. Gait and Posture. 12(2): 128-33.
18. Rothstein, J. (1985). Measurement and clinical practice: theory and application. In: Rothstein J, editor. Measurement in Physical Therapy. New York: Churchill Livingstone. 1-46.
19. Fleiss, J.L. (1994). The design and Analysis of Clinical Experiments. New York: John Wiley & Sons. 1-32.