

مسیر حرکت مرکز فشار طی فاز استقرار راه رفتن زنان و مردان سالم با استفاده از دستگاه اندازه گیری توزیع فشار کف پایی پدار (Pedar-X)

عباس فرجاد پژشك^{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 پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۷/۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۶/۱۱

چکیده

مسیر حرکت مرکز فشار، طی فاز استقرار راه رفتن، پارامتری مهم در بررسی تعادل پویا، عملکرد پا و مج پا، اثربخشی کفش و کفی است. هدف این تحقیق تعیین مسیر حرکت مرکز فشار طی فاز استقرار راه رفتن مردان و زنان سالم با استفاده از دستگاه اندازه گیری توزیع فشار کف پایی پدار بود. در این تحقیق نیمه تجربی، ۲۰ زن و مرد بالغ سالم به منزله آزمودنی مشارکت کردند. مختصات مرکز فشار آزمودنیها، در محورهای عمودی و افقی با استفاده از دستگاه اندازه گیری توزیع فشار کف پایی پدار (Pedar-X) اندازه گیری شد. از طریق نقاط کلیدی مختصات و بردار شتاب مرکز فشار در محور عمودی (Y)، فاز استقرار راه رفتن به چهار قسم تقسیم و موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار در این قسمت ها محاسبه شد. از آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد)، ضریب همبستگی پیرسون و ضریب پایایی ICC برای تحلیل آماری اطلاعات استفاده شد ($P \leq 0.05$). نتایج نشان داد که مرکز فشار در طی فاز استقرار راه رفتن در محور عمودی به سمت جلو و در محور افقی به سمت داخل تغییر می کند. ضریب همبستگی پیرسون رابطه 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 می تواند به مثابة 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، راه رفتن، پدوباروگرافی.

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

Farjad Pezeshk, A¹, Sadeghi, H².

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 ($P \leq 0.05$). **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

مقدمه

مسیر پیش روی مرکز فشار طی فاز استقرار راه رفتن از جمله پارامترهایی است که در حال حاضر جایگاه خاصی را در تجزیه و تحلیل راه رفتن به دست آورده است. بررسی حرکت مرکز فشار در سطح کف پا می تواند 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، فاصله بین تغییرات مرکز فشار با خط مرکز ثقل اثرگذار است (۲). علاوه بر این، مرکز فشار می تواند معیاری برای ارزیابی پایداری داخلی و خارجی، بررسی تأثیر اورتزاها و برنامه های درمانی و همچنین مقایسه راه رفتن 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 ۱۸ درصد طول پا را با سرعت میانگین ۲۷-۲۲ سانتی متر بر ثانیه می پیماید (۱). کارنوال و مکپویل (۲۰۰۰) نشان دادند که مرکز فشار در راه رفتن سه اوج و فرود مهم دارد که می توان از آن برای تقسیم بندی مرحله استقرار راه رفتن استفاده کرد (۵). جیمسون و همکاران (۲۰۰۶، ۲۰۰۸) گزارش کردند که مرکز فشار تحت ناحیه پاشنه ۲۳,۸، تحت ناحیه وسط پا ۲۸,۳ و ناحیه جلو پا ۴۷,۵ درصد زمان مرحله استقرار راه رفتن را به خود اختصاص می دهد (۶،۷). دی کاک و همکاران (۲۰۰۸) به این نتیجه رسیدند که جایه جایی مرکز فشار در سطح افق تحت تأثیر ارتفاع قوس پا قرار می گیرد؛ به طوری که افراد با قوس پای کمتر، شیفت خارجی در مرکز فشار خود دارند (۸). خوری و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از دستکاری کف کفش به این نتیجه رسیدند که همبستگی مثبتی بین جهت قرار گیری کف پا (ایورزن و اورزن) با مسیر حرکت مرکز فشار وجود دارد (۹).

دریاب این مسیر حرکت مرکز فشار پاتولوژیکال نیز چندین کار انجام شده است. اشمت و همکاران (۲۰۰۵) اثر استفاده از اندام مصنوعی (۱۰)، سمپل و همکاران (۲۰۰۷) اثر روماتوئید آرتیت (۱۱) و هاپکینز و همکاران (۲۰۱۲) اثر اسپرین مج 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 راه رفتن مردان و زنان سالم ضروری به نظر می رسد، تا از این طریق، انحرافات ناشی از اختلالات پاتولوژیکال و میزان بهبودی و پیشرفت درمان با آن مقایسه و شناسایی شد. با این حال، در حال حاضر، تحقیقی که این پارامترها را در افراد سالم تعیین کرده باشد به چشم نمی خورد. نکته دیگری که در تحقیقات گذشته به چشم می خورد، ابزاری است که برای اندازه گیری مرکز فشار در این تحقیقات به کار رفته است. مکپویل و همکاران (۱۹۸۹) برای تعیین مسیر حرکت مرکز فشار از صفحه نیرو استفاده کردند (۱۳). برخی محققان این پارامتر را با استفاده از سکوهای مختلف پدوبارو گراف اندازه گیری کردند (۱۲، ۱۵). با این حال، با توجه به اینکه دستگاه اندازه گیری توزیع فشار کف پایی پدار (Pedar-X) اطلاعات زیاد و معتبری را در زمینه عملکرد پا با استفاده از وسیله های توانبخشی مختلف از قبیل کفشهای طبی و اورتزاها مختلف فراهم می کند و در تحقیقاتی که لازم است اندازه گیری به صورت هم زمان در دو اندام صورت بگیرد

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

روش‌شناسی

در این تحقیق نیمه‌تجربی، نمونه‌ها به صورت ساده و در دسترس از بین دانشجویان و کارکنان دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی انتخاب شدند. کلیه متقاضیان برای مشارکت در این تحقیق از لحاظ انحرافات کمر شامل لوردوز،^۱ کایفوز^۲ و اسکولیوز^۳ انحرافات زانو شامل زانوی پرانتزی^۴ و ضربدری^۵ انحرافات کف پا شامل کف پای صاف^۶ گود^۷ و انگشت شست کج^۸ دامنه حرکتی مچ پا، درد در اندام تحتانی و شلی مفصل مچ پا،^۹ مورد ارزیابی و معاینة متخصص ارتوپد فنی قرار گرفتند و اگر به تشخیص متخصص، ناهنجاری فرد در حدی بود که احتمال داشت روى داده‌ها اثر بگذارد، آن فرد از نمونه‌ها حذف شد. اطلاعات فردی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. پیش از 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 توده پذیری
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 شماره پای آزمودنی‌ها، که حاوی ۹۹ حسگر است، وارد کفش استاندارد (تصویر ۲) شد و دستگاه پرتابل دستگاه به کمر آزمودنی بسته شد. پس از آماده‌شدن آزمودنی، از او درخواست شد برای آشنایی با دستگاه و کاهش اثر آن در الگوی راه‌رفتن، چند دقیقه با وضعیت جدید راه برود. پس از آن، از آزمودنی‌ها

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

درخواست شد تا در مسیر راه رویی هفت‌متری را چهار مرتبه به صورت رفت و برگشت راه بروند. حین راه رفتن آزمودنی اطلاعات از طریق امواج بی‌سیم به دستگاه مخصوص جمع‌آوری اطلاعات ارسال می‌شد. از مجموع چهار دوری که در طول مسیر راه رو 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 به دلیل اثر فرایند آغاز و انتهای راه رفتن از مجموع داده‌ها حذف شد و در مجموع، اطلاعات مربوط به دوازده گام عادی برای مراحل بعدی تجزیه و تحلیل انتخاب شد.



تصویر ۲. کفش استاندارد مورد استفاده در این تحقیق



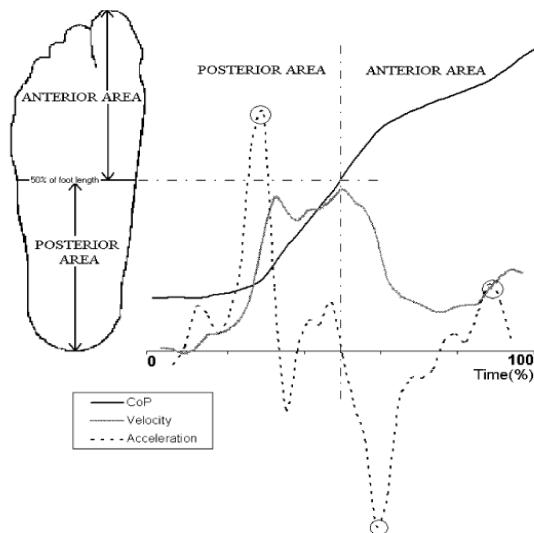
تصویر ۱. دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی

برای دوازده گام منتخب هر آزمودنی مختصات مرکز فشار در جهات X (افقی) و Y (عمودی) جمع‌آوری شد. پس از 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 راه رفتن از طریق روابط ذیل محاسبه شد:

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

$$\bar{acop}_{x,y} = \frac{\bar{VCop}_{(x,y+1)} - \bar{VCop}_{(x,y-1)}}{2\Delta t}$$

به منظور تقسیم‌بندی مرحله استقرار راه رفتن، 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 مرحله استقرار راه رفتن در بردار جایه‌جایی مرکز فشار در محور Y رخ می‌دهد (و از طریق نمودار شتاب مرکز فشار درجهت Y قابل شناسایی است)، فاز استقرار به چهار مرحله تقسیم شد: مدت زمان بین آغاز مرحله ایستا و اوج اول شتاب مرکز فشار در محور عمودی (فاز اول)، مدت زمان بین اوج اول شتاب تا اوج کاهش شتاب مرکز فشار در محور عمودی (فاز دوم)، مدت زمان بین اوج سوم مرکز فشار تا انتهای مرحله استقرار راه رفتن (فاز چهارم).



تصویر ۳. تعیین نقاط کلیدی مرکز فشار از طریق اوج شتاب مرکز فشار در محور ۷

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 رابطه بین مختصات مرکز فشار در جهات افقی و عمودی در فاز استننس را رفتار از ضریب همبستگی پیرسون و برای تعیین پایایی بین تکرارهای مختصات مرکز فشار در جهات افقی و عمودی از ضریب^۱ ICC استفاده شد. کلیه آزمون‌های آماری در سطح معناداری ۰,۰۵ اجرا شدند.

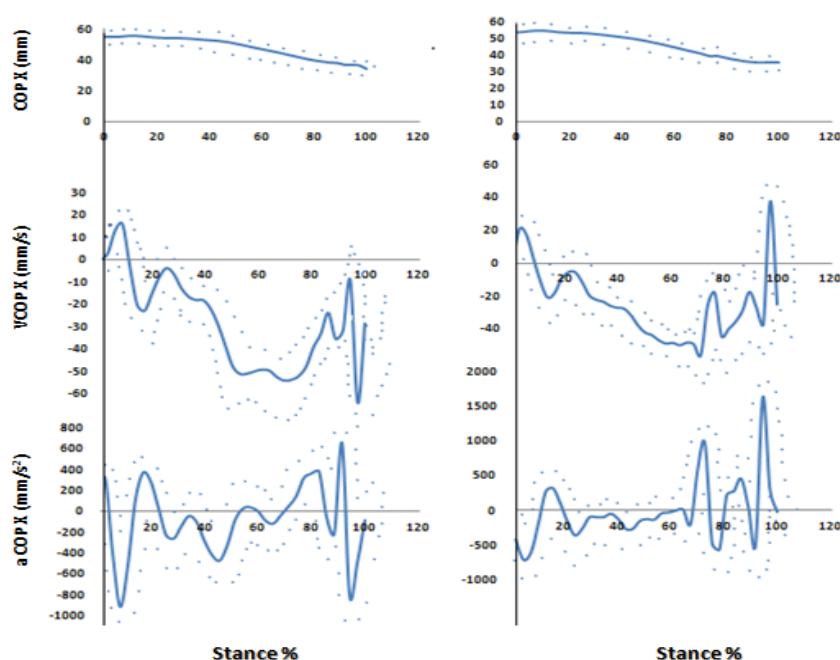
یافته‌ها

موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار به منزله 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 جایه‌جایی مرکز فشار مشهود است، در محور X مرکز فشار در طول مرحله استقرار را رفتار 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 به خوبی این رابطه معکوس را نشان می‌دهد؛ به طوری که در هر دو پای زنان و مردان همبستگی بالا و منفی مشاهده شد (جدول ۵).

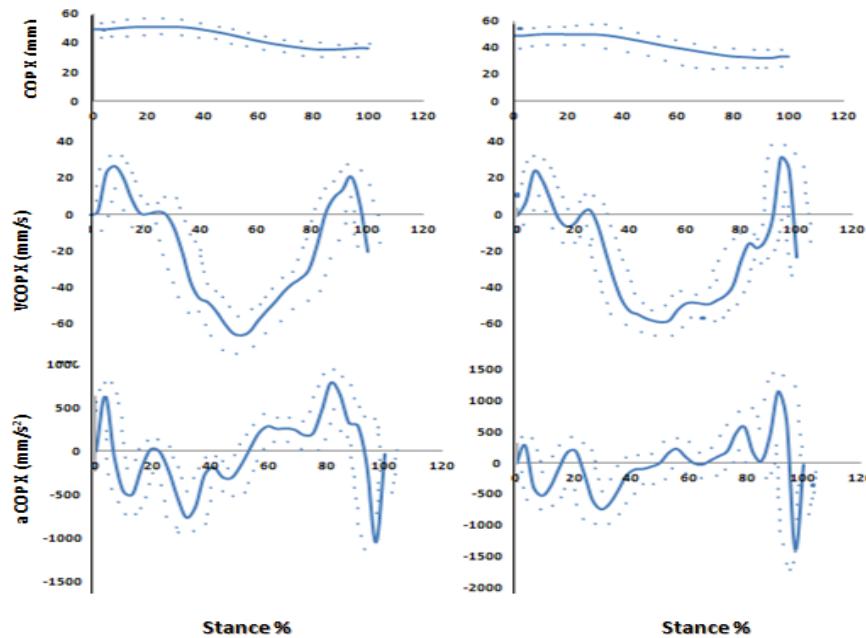
1. Inter Class Correlation

جدول ۲. میانگین (انحراف استاندارد) جایه جایی مرکز فشار در محورهای X و Y بر حسب میلی متر

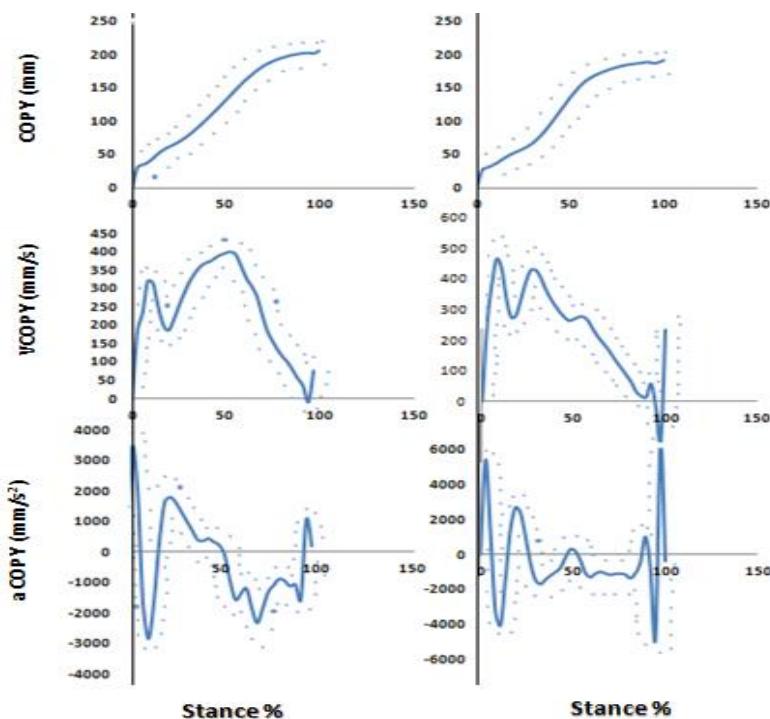
COPY جایه جایی	COPX جایه جایی	اندام	گروه
۱۷۷,۷۳ (۴۳,۷)	۱۹,۷۷ (۲,۵)	پای راست	مرد
۱۷۶,۲۱ (۱۸,۷)	۲۱,۰۶ (۲,۸)	پای چپ	
۱۶۴,۵ (۱۴,۵)	۱۶,۰۱ (۳,۱)	پای راست	زن
۱۵۷,۵ (۲۴,۹)	۱۳,۳۲ (۳,۵)	پای چپ	



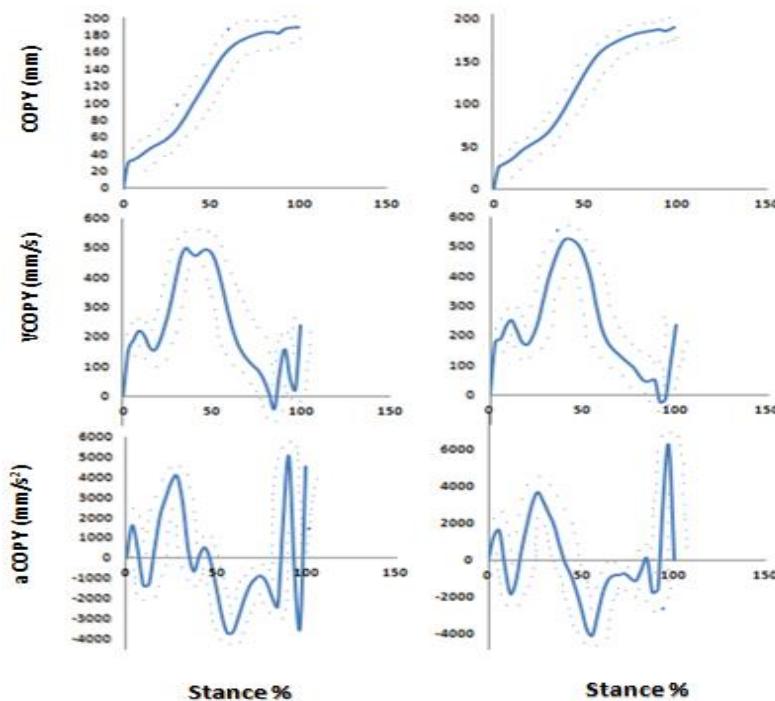
تصویر ۴. موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار پای راست (سمت راست) و پای چپ (سمت چپ) مردان در سطح افق (X) بر حسب درصدی از فاز استقرار راه رفتن



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

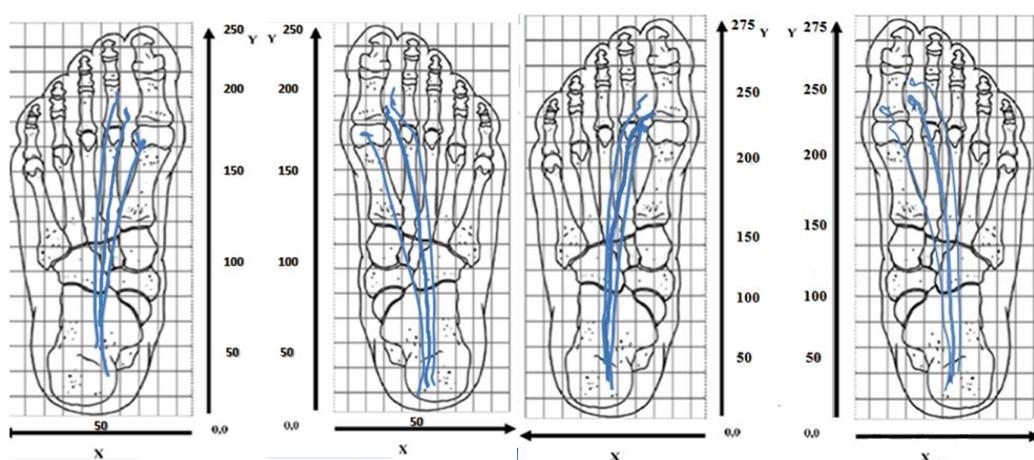


تصویر ۶. موقعیت، سرعت و شتاب مرکز فشار پای راست (سمت راست) و پای چپ (سمت چپ) مردان در سطح عمودی (Y) بر حسب درصدی از فاز استقرار راه رفتن



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

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



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

پس از تعیین سه نقطه کلیدی با استفاده از نمودار جابه‌جایی و شتاب مرکز فشار در مختصات ۷، مرحله استقرار راه رفتن افراد به چهار مرحله شروع تا رسیدن به اوج اول (P1)، اوج اول تا اوج دوم (P2)، اوج دوم

تا اوج سوم (P3) و اوج سوم تا انتهای مرحله استقرار راهرفتن (P4) تقسیم می‌شود و سپس، میانگین و حداقل جابه‌جایی، میانگین و حداقل سرعت و شتاب و همچنین زمان سپری شده 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 مرحله استقرار، مسیری قدامی و داخلی را می‌پیماید. با این حال، سرعت پیش‌روی مرکز فشار در محور ۷ ابتدا زیاد است و سپس در طول مرحله ۲ از این سرعت کاسته می‌شود تا انتهای مرحله سوم و هنگام پیش‌روی که مجدداً سرعت پیش‌روی مرکز فشار در محور ۷ افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۳. میانگین (M) (انحراف استاندارد) و حداقل (MAX) جابه‌جایی مرکز فشار در جهات ۷ و X به همراه زمان صرف شده در هر فاز و لحظه رسیدن به حداقل جابه‌جایی بر حسب درصدی از مرحله استقرار راهرفتن در پای راست و چپ مردان و زنان

t.P4 (%S)	Y.P4 (mm)		t.P3 (%S)	Y.P3 (mm)		t.P2 (%S)	Y.P2 (mm)		t.P1 (%S)	Y.P1 (mm)		گروه
	M	MAX		M	MAX		M	MAX		M	MAX	
۵,۲۸ (۱,۵)	۲۰۲,۷۳ (۳,۵۱)	۲۰۲,۷۳ (۳,۵۱)	۱۶,۲ (۲,۵۱)	۲۰۸,۰۴ (۸,۶۱)	۲۰۵,۷۹ (۳,۸۶)	۵۵ (۳,۷۴)	۲۰۴,۰۴ (۱۷,۲۵)	۱۱۵,۵۰ (۱۳,۵۷)	۲۶,۱ (۲,۱۲)	۷۵,۲۱ (۱۴,۲۱)	۵۱,۱۳ (۱۲,۰۵)	مرد. ر
۵,۹۵ (۰,۵)	۲۰۳,۰۲ (۹,۵۲)	۲۰۳,۰۳ (۸,۴۲)	۲۲,۸ (۲,۴۱)	۲۰۳,۷۶ (۲۱,۱۴)	۱۹۹,۱۶ (۵,۹)	۴۵,۶ (۳,۱۳)	۱۸۸,۲۴ (۲۲,۳۶)	۱۳۱,۹۵ (۱۴,۸۵)	۲۵,۶۵ (۲,۶۱)	۶۸,۳۷ (۱۰,۲۳)	۴۹,۷۶ (۸,۳۲)	
۸,۵۹ (۱,۱۴)	۱۹۱,۱ (۱۰,۲۵)	۱۹۱,۰۱ (۱۱,۷۶)	۳۸,۲ (۳,۷۷)	۱۸۸,۰۳ (۱۲,۰۴)	۱۸۲,۰۷ (۹,۷۶)	۳۲,۳۴ (۲,۸۵)	۱۶۰,۴۷ (۱۶,۹۵)	۱۱۸,۷۷ (۱۳,۱۱)	۲۶,۴۶ (۲,۲۲)	۶۲,۹۵ (۱۱,۰۳)	۴۶,۷۲ (۸,۸۴)	زن. ر
۹,۵۲ (۱,۴۱)	۱۸۸,۸۳ (۹,۲۱)	۱۸۸,۴۵ (۸,۴۴)	۳۱,۰۲ (۳,۱)	۱۸۶,۲۹ (۱۸,۰۶)	۱۷۹,۰۹ (۸,۰۶)	۳۱,۲ (۳,۵۶)	۱۶۲,۸۹ (۲۱,۴۵)	۱۱۸,۷۶ (۱۸,۲۷)	۲۸,۰۸ (۲,۵)	۶۴,۸۵ (۱۶,۸۴)	۴۶,۸۸ (۱۳,۱۲)	زن. ج
t.P4 (%S)	X.P4 (mm)		t.P3 (%S)	X.P3 (mm)		t.P2 (%S)	X.P2 (mm)		t.P1 (%S)	X.P1 (mm)		گروه
M	MAX	M	M	MAX	M	M	MAX	M	M	MAX	M	
۵,۲۸ (۱,۵)	۳۵,۷ (۲,۱۵)	۳۵,۷۶ (۲,۱۵)	۱۶,۲ (۲,۵۱)	۳۵,۷۶ (۳,۷۸)	۳۶,۱۶ (۳,۴۱)	۵۵ (۳,۷۴)	۳۷,۹۳ (۳,۸۱)	۴۶,۷۹ (۳,۷۴)	۲۶,۱ (۲,۱۲)	۵۳,۶۸ (۳,۱)	۵۴,۳۷ (۲,۴۷)	مرد. ر
۵,۹۵ (۰,۵)	۳۶,۲۸ (۳,۶۳)	۳۵,۱۵ (۲,۹۲)	۲۲,۸ (۲,۴۱)	۳۶,۰۵ (۴,۵۵)	۳۸,۶۲ (۳,۴۷)	۴۵,۶ (۳,۱۳)	۴۲,۴۱ (۳,۹۶)	۴۹,۶۵ (۲,۶۹)	۲۵,۶۵ (۲,۶۱)	۴۹,۶۵ (۳,۵۵)	۵۶,۰۶ (۲۶,۱۰)	مرد. ج
۸,۵۹ (۱,۱۴)	۳۳,۰۵ (۴,۵۱)	۳۳,۰۵ (۳,۷۶)	۳۸,۲ (۳,۲۷)	۳۱,۹ (۴,۵۲)	۳۴,۱۷ (۳,۹۶)	۳۲,۳۴ (۲,۸۵)	۳۹,۵۰ (۵,۱۲)	۴۵,۴۰ (۳,۷۶)	۲۶,۴۶ (۲,۲۲)	۴۸,۹۶ (۳,۳۳)	۴۹,۸۲ (۲,۳۲)	زن. ر
۹,۵۲ (۱,۴۱)	۳۶,۲۸ (۳,۸۶)	۳۶,۲۶ (۲,۳۹)	۳۱,۰۲ (۳,۱)	۳۵,۳۶ (۵,۲۱)	۳۶,۸۸ (۴,۲۴)	۳۱,۲ (۳,۵۶)	۴۱,۱۶ (۴,۴۸)	۴۶,۹۵ (۳,۱۲)	۲۸,۰۸ (۲,۵)	۴۹,۰۵ (۳,۸۹)	۵۰,۰۵ (۲,۵۵)	زن. ج

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 مرحله سوم و هنگام پیش‌روی که سرعت انتقال مرکز فشار در محور X به سمت داخل پا به حداقل مقدار خود می‌رسد.

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

aY.P4 (mm/s ²)	aY.P3 (mm/s ²)	aY.P2 (mm/s ²)	aY.P1 (mm/s ²)	VY.P4 (mm/s)	VY.P3 (mm/s)	VY.P2 (mm/s)	VY.P1 (mm/s)	گروه
M	M	M	M	M	M	M	M	
۳۷۳,۱۱-	۵۲,۲۹	۸۳۰,۸۰-	۵۶۶,۴۶	۲۲۵,۸۳	۵,۰۸-	۲۵۹,۷۶	۲۴۷,۷۰	مرد. ر
۱۹۱,۲	۸۹۶,۳۹-	۴۰۰,۵۴-	۵۲۱,۹۰	۷۷,۱۴	۸۳,۸۷	۳۳۵,۹۵	۲۳۹,۸۹	مرد. ج
۱۴,۷۲-	۱۱۱,۸۸-	۶۸۹,۱۰-	۹۴۹,۸۶	۲۲۷,۱۰	۸۴,۸۴	۴۲۴,۲۲	۲۰۷,۵۵	زن. ر
۱۷۲,۶۷	۶۸۱,۳۴-	۸۵۱,۴۱-	۱۴۱۲,۴۶	۱۰۵,۲۰	۹۸,۸	۴۴۱,۵۸	۲۰۰,۹۱	زن. ج
aX.P4 (mm/s ²)	aX.P3 (mm/s ²)	aX.P2 (mm/s ²)	aX.P1 (mm/s ²)	VX.P4 (mm/s)	VX.P3 (mm/s)	VX.P2 (mm/s)	VX.P1 (mm/s)	گروه
M	M	M	M	M	M	M	M	
۱۷,۶۴-	۳۶۹,۲۵	۶۶,۵۶-	۱۷۳,۲۸-	۲۵,۴۲-	۱۸,۳۶-	۳۴,۹۳-	۳,۴۴-	مرد. ر
۲۸۲,۹۲-	۱۰۲,۵۹	۱۳۶,۲۸-	۹۷,۶۰-	۴۶,۱۸-	۳۴,۰۲-	۳۸,۳۷-	۴,۵۵-	مرد. ج
۲۲,۵۷-	۱۹۲,۱۸	۱۶۰,۸۳-	۱۶۳,۷۸-	۲۳,۴۵-	۲۲,۷۰-	۴۶,۰۸-	۵,۶۴	زن. ر
۴۱۲,۸-	۳۶۶,۹	۲۱۰,۴۰-	۱۴۵,۲۰-	۲,۷۱	۲۳,۹۹-	۴۷,۹-	۹,۴۷	زن. ج

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 پرسون هم رابطه 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 پرسون بین مختصات افقی (X) و عمودی (Y) مرکز فشار در پای راست و چپ مردان و زنان در ۱۰ گام

ضریب همبستگی پرسون بین مختصات X و Y مرکز فشار	ICC	ضریب (Y)	گروه (Y)	ضریب ICC	ضریب (X)	اندام	گروه (X)
-0,۸۵	0,۹۹	پای راست	پای راست	0,۹۸	پای راست	مردان	
-0,۸۶	0,۹۹	پای چپ		0,۹۸	پای چپ		
-0,۸۸	0,۹۹	پای راست	پای راست	0,۹۹	پای راست	زنان	
-0,۹۰	0,۹۸	پای چپ		0,۹۷	پای چپ		

نکته: کلیه همبستگی‌ها در سطح ۰,۰۱ معنی دار بود

بحث

هدف این تحقیق تعیین مسیر حرکت مرکز فشار طی فاز استقرار راه رفتن 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 به طور تقریبی در مردان مرکز فشار ۲۰ سانتی‌متر و در زنان ۱۶ سانتی‌متر جابه‌جایی صورت‌گرفته در محور X را طبیعی‌بودن قوس کف پای آزمودنی‌های تحقیق کنونی، می‌توان جابه‌جایی صورت‌گرفته در محور X را جابه‌جایی طبیعی در نظر گرفت که در واقع، این میزان جابه‌جایی نسبت به جابه‌جایی داخلی خارجی مرکز فشار در تحقیق هان و همکاران (۱۹۹۹)، که مرکز فشار را در افراد با پاشنه صاف بررسی کرده بودند (۱۳)

میلی متر برای مردان و ۱۰ میلی متر برای زنان)، مقداری بیشتر بود (۱). دی کاک و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که جابه جایی اندک مرکز فشار در سطح افق نشان دهنده افزایش قوس و انعطاف پذیری کم قوس کف پاست و بر عکس جابه جایی زیاد آن نشان دهنده منعطف بودن قوس است (۸). ویلیامز و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که در افراد دارای قوس طولی کم پا مرکز فشار به سمت خارج چرخش می کند (۱۴). خوری و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از دستکاری کفش به این نتیجه رسیدند که رابطه مثبتی بین تمایل (سوپینیشن-پروپینیشن) کف پا و مسیر حرکت مرکز فشار وجود دارد (۹). هاپکینز و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از اندازه گیری هم زمان مسیر حرکت مرکز فشار و فعالیت عضلات مج پا نشان دادند که جابه جایی داخلی-خارجی مرکز فشار ناشی از تغییر در فعالیت عضلات (خصوصاً عضلات اینورترو و اورتور مج پا) است (۱۲). بنابراین، تغییر در جهت طبیعی مج پا می تواند بر فعالیت عضلات مج پا و درنتیجه مسیر حرکت مرکز فشار تأثیر بگذارد. از این رو، ویلمز و همکاران (۲۰۰۵) چنین نتیجه گرفتند که تغییرات مرکز فشار در جهت افقی می تواند معیاری برای تشخیص ناهنجاری های موجود در کف و مج پا باشد (۱۴).

نمودار سرعت جابه جایی مرکز فشار در محور X نشان می دهد که مرکز فشار در ابتدای مرحله استقرار را رفت، افزایش سرعتی به سمت خارج پا دارد (تصویر ۳ و ۴). این مقدار به تدریج کاسته شده تا در نقطه میانی مرحله استقرار را رفته است که سرعت حرکت مرکز فشار به سمت داخل پا به اوج خود می رسد. این افزایش سرعت در جابه جایی مرکز فشار به سمت داخل را می توان به گشتاور اورتورها نسبت داد که به دلیل فاصله جانبی بین مرکز فشار و مرکز ثقل در هنگام پذیرش وزن رخ می دهد و هرچه نقطه تماس اولیه به مرکز ثقل بدن نزدیکتر باشد، گشتاور اورتورها غالبتر خواهد بود (۲). دی ویت و دی کلر (۲۰۰۱) و همچین دی کاک و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که این جابه جایی داخلی و افزایش سرعت متعاقب به دلیل فرایند پذیرش وزن صورت می گیرد (۱۵، ۱۶). پس از این مرحله از سرعت جابه جایی داخلی کاسته و به سرعت جابه جایی خارجی افزوده می شود. این افزایش سرعت خارجی می تواند به علت فعالیت اینورتورها باشد که به دلیل بهتر انجام شدن 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 می کند و در لحظه پوش آف این چرخش داخلی به اوج خود می رسد (۱۶). جابه جایی مرکز فشار آزمودنی های تحقیق کنونی در محور ۷ مشابه با گروه کنترل آزمودنی های تحقیق اشمیت و همکاران (۲۰۰۵) بود (۱۰) (۱۰ درصد طول پا) و از آزمودنی های تحقیق هان و همکاران (۱۹۹۹) (۱) نیز بیشتر بود که دارای پاشنه صاف بودند (۱۷۲ میلی متر برای مردان و ۱۰۰ میلی متر برای زنان). جابه جایی مرکز فشار در محور ۷ دارای سه نقطه کلیدی است که اولین نقطه تقریباً در ۲۵ درصد چرخه گام برداری رخ می دهد و این اوج به دلیل حداکثر شتاب ناحیه عقب پا در هنگام واکنش بارگذاری است. نقطه دوم در بردار ۷ تقریباً در ۶۰ درصد چرخه گام برداری رخ می دهد و ناشی از کاهش شتاب ناحیه جلو پا به علت انتقال وزن از ناحیه عقب به جلو پاست. به عبارت دیگر، در هنگام بلند شدن پاشنه به دلیل جلو تر قرار گرفتن مرکز ثقل نسبت به مرکز فشار (۲) سرعت پیش روی مرکز فشار در این نقطه کاهش خواهد

یافت (جدول ۵) و نقطه سوم نیز که تقریباً در نقطه ۹۶درصد چرخه صورت می‌گیرد مربوط است حداکثر شتاب مرکز فشار زیر ناحیه متاتارسال و انگشت بزرگ و این اوج به منظور پیش‌روی صورت می‌گیرد. با این حال زمان‌بندی پیک‌های شتاب مرکز فشار در محور ۷ آزمودنی‌های این تحقیق با تحقیق مک‌پویل و کارن وال (۲۰۰۰) متفاوت بود که گزارش کرده بودند پیک اول در نقطه ۲۰درصد، پیک دوم در نقطه ۳۵درصد و پیک سوم در نقطه ۹۲درصد چرخه گام‌برداری صورت می‌گیرد (۵) و از آنجایی که آزمودنی‌های تحقیق مک‌پویل و کارنوال (۲۰۰۰) نیز بزرگ‌سالان سالم بودند به نظر می‌رسد عوامل عملکردی از قبیل تفاوت سرعت راه رفتن بر این الگوی زمان‌بندی اثرگذار باشد.

با توجه به همبستگی معکوس و محکم (بیش از ۸۵٪) بین مختصات مرکز فشار در جهات X و Z، با پیش‌روی مرکز فشار در مختصات Z، جایه‌جایی مرکز فشار در محور X کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، همزمان با پیش‌روی مرکز فشار به ناحیه قدامی، مرکز فشار به ناحیه داخلی کف پا نیز چرخش می‌کند و با توجه به طبیعی بودن الگوی راه رفتن آزمودنی‌های این تحقیق (با توجه به نداشتن هیچ‌گونه ناهنجاری اثرگذار بر الگوی راه رفتن) این ضریب را می‌توان معیاری برای الگوی طبیعی راه رفتن 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 خارج شدن الگوی راه رفتن فرد از وضعیت طبیعی خود باشد. با این حال، تحقیقات بیشتری لازم است تا رابطه مختصات مرکز فشار در جهات افقی و عمود در گام‌برداری پاتولوژیکال گزارش شود. هدف دوم این تحقیق تعیین پایایی بین تکرارهای مرکز فشار دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پایی درون‌کفسی پدار (Pedar-X) بود. پیشتر، چسینین و همکاران (۲۰۰۰) اعتبار دستگاه پدار در تعیین مختصات مرکز فشار را با استفاده از صفحه نیروی در حد پذیرفتنی گزارش کردند (۱۷). با این حال، تاکنون تحقیقی درباره پایایی بین گام‌های تعیین مختصات X و Z مرکز فشار این دستگاه صورت نگرفته بود. روت استین (۱۹۸۵) گزارش کرده است که ICC شاخص پایایی‌سنجی است که از طریق هرگونه تغییر نظاممند بین دو تکرار تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۸). فلیس (۱۹۹۴) گزارش کرد که ضریب پایایی بین تکرارهای ۰,۷۵ تا ۰,۷۵ نشان‌دهنده پایایی خوب، و بالاتر از ۰,۷۵ نشان‌دهنده 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. با این حال، 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 به منظور جلوگیری از اثر فرایند آغاز و انتهای راه رفتن از مجموع گام‌ها حذف شده بودند. بنابراین، ضریب پایایی ذکر شده برای ده گام انتخابی محاسبه شده بود.

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 به منزله معياری برای مقایسه و تعیین اثر عوامل مختلف از قبیل بیماری‌ها و ناهنجاری‌ها روی تغییر مرکز فشار و همچنین تعیین اثربخشی اورتنز، 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. پایاًی بین گام‌های دستگاه پدار در تعیین مختصات مرکز فشار پای راست و چپ مردان و زنان نیز بسیار بالا گزارش شد. علاوه‌براین، معيار جدیدی که از طریق ضریب همبستگی منفی بین مختصات مرکز فشار در جهات افقی و عمودی به دست آمد نیز می‌تواند به مثابة معياری برای الگوی طبیعی راهرفتن و اثربخشی دستگاه‌ها و درمان‌های بازتوانی به کار برده شود.

منابع

- 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.
- 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.
- 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.
- Scherer, P.R., Sobieski, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 Posture*. 27: 669-75.
- Khoury, 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.
- 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.
- Semple, R., Turner, D., Helliwell, P., Woodburn, J. (2007). Regionalised centre of pressure analysis in patients with rheumatoid arthritis. *Clinical Biomechanics*. 22: 127-9.
- 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.
- Mc Poil, T., Adrian, M., Pidcoe, P. (1989). Effect of foot orthoses on center-of-pressure patterns in woman. *Physical Therapy*. 69: 149-54.
- Williams, D.S., McClay, I.S., Hamill, J. (2001). Arch structure and injury patterns in runners. *Clinical Biomechanics*. 16: 341-7.
- 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.
- 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.
- Chesnín, 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.
- Rothstein, J. (1985). Measurement and clinical practice: theory and application. In: Rothstein J, editor. *Measurement in Physical Therapy*. New York: Churchill Livingstone. 1-46.
- Fleiss, J.L. (1994). *The design and Analysis of Clinical Experiments*. New York: John Wiley & Sons. 1-32.