Arch Scientific Journal of Rehabilitation Medicine

June, July 2021 Vol 10. Num 2

Research Paper

Effects of Foot Sole on Ground Reaction Forces During Walking in Male Athletes With Flexible Flat Foot

*Heydar Sadeghi[1,2], Farnaz Mohseni Zonouzi[3], Maghsoud Peeri[4]

1. Department of Biomechanics and Sport Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Science, Kharazmi University, Tehran, Iran.
2. Department of Sport Biomechanics, Kinesiology Research Center, Kharazmi University, Tehran, Iran.
3. Department of Sport Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Science, Tehran-Center Branch, Azad Islamic University, Tehran, Iran.
4. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Science, Tehran-Center Branch, Azad Islamic University, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Sadeghi H, Mohseni Zonouzi F, Peeri M. [Effects of Foot Sole on Ground Reaction Forces During Walking in Male Athletes With Flexible Flat Foot (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2021; 10(2):220-233. https://dx.doi.org/10.22037/jrm.2020.113736.2426

http://dx.doi.org/10.22037/jrm.2020.113736.2426

CC BY NC

Received: 26 May 2020
Accepted: 09 Jun 2020
Available Online: 01 Jun 2021

Keywords:
Flatfoot, Medical sole, Gait, Ground reaction force

ABSTRACT

Background and Aims Flatfoot is a structural disorder in which the height of medial longitudinal arch are declined and subsequently causes biomechanical changes in foot. The common treatment method is the use of medial soles. This study aims to compare the effects of medial soles on Ground Reaction Forces (GRFs) during walking in male athletes with a flexible flatfoot.

Methods Participants were 15 male athletes with flexible flatfoot (Mean±SD age= 21.33±3.39 years, Mean±SD height=178.72±5.28 cm, and Mean±SD weight= 71.76±8.04 kg). Vertical and anterior-posterior GRFs were evaluated during walking in 3 conditions (barefoot, shoe without sole, and shoe with sole). Data analysis was performed in SPSS software using repeated measures ANOVA with and Bonferroni post hoc test, considering the significance level at 0.05.

Results GRF changed when using shoes with medical soles at both vertical and anterior-posterior directions compared to two other conditions, such that as the heel raised from the ground, GRF increased (P=0.00) and the vertical GRF decreased at mid-stance phase (P=0.02). In comparing the anterior-posterior GRF in three conditions, results showed that the posterior force was significantly higher when using shoes with medical soles compared to the barefoot condition (P=0.001), while the difference was not significant for the anterior force (P=1.16).

Conclusion By controlling the amount of pronation and eversion in the foot while walking using sandals with custom medical soles, the pattern of reaction force distribution can be changed at the vertical and anterior-posterior directions compared to the barefoot condition, indicating the effect of using a custom medical sole on the force distribution in the sole of the foot and subsequently on other joints. Therefore, it is recommended to study the kinetic changes of the joints following the use of medical soles.

Extended Abstract

1. Introduction

The structure of the foot is mentioned as one of the determining factors of lower limb function. In case of any structural disorder, it can affects static (standing) and dynamic (walking) activities. Medial longitudinal arch of the foot is one of the most diverse bony structures of the body, which is characterized by its height relative to the ground. Low medical longitudinal arch of the foot is called flatfoot. Flatfeet cause biomechanical ineffi-

* Corresponding Author:
Heydar Sadeghi, PhD.
Address: Department of Biomechanics and Sport Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Science, Kharazmi University, Tehran, Iran.
Tel: +98 (21) 88329220-3
E-Mail: sadeghih@yahoo.com

www.SID.ir

ciencies in the foot, ankle, and gait. Studies have been conducted on the relationship between Ground Reaction Force (GRF) and flatfoot disorder which show that the GRF is different in people with flatfoot than in healthy individuals. One of the common ways to control extra foot movement and improve biomechanical performance is the use of soles (foot orthosis) and proper sandals.

In this study, we aim to compare the effect of using soles in three conditions: bare feet, using sandals with medical soles and sandals without medical soles. Assuming the effect of sole use on the GRF while walking, an attempt was made to answer the question of whether the use of medical sole affects the GRF while walking in people with flexible flatfoot (Figure 1).

2. Methods

The study population consists of all male athletes aged 18-25 years. Of these, 15 with flexible flatfoot (Mean±SD age= 21.33±3.39 years, Mean±SD height= 178.72±5.28 cm, and Mean±SD weight= 71.76±8.04 kg) were selected using a convenience sampling method after initial assessments and based on inclusion criteria. After familiarizing them with the study methods, the study was conducted under three conditions: barefoot, using sandals with soles, and without soles (Figure 2). They were asked to walk on the walkway for 3 meters three times at normal speed. A force plate (KISTLER, Switzerland) with a frequency of 1200 Hz was used to record the desired data. After recording, the data analysis was performed in Nexus and MATLAB applications. In the data processing stage, after checking the correctness of the steps and recording the data, in order to reduce noise and error, the 4th order low-pass butterworth filter was used. In order to standardize data and have the ability to compare them, they were normalized based on body weight and a complete walking cycle period. In this study, the peak points of the GRF curve in both vertical and anterior-posterior directions were used, which are important points in terms of function [22]. These peaks are shown in Figure 3. Mean and standard deviation was used for describing data, Shapiro-Wilk test to evaluate the normality of data distribution, repeated measures ANOVA to compare the effect of sole use in each condition, and Bonferroni post hoc test if the difference in mean scores was significant. All analyses were done in SPSS software, considering the significance level at 0.05.

3. Results

Based on the results presented in Table 1, the difference among the three conditions was significant in terms of vertical (V1, V2, V3). The results of Bonferroni post hoc test (Figure 3) showed that the difference was significant among the three study conditions in terms of parameter V1 which had increased, but the difference was no significant between the use of sandals with and without medical soles. Regarding the parameter V2, the difference was significant only between two conditions of barefoot and use of sandals with medical soles, which had decreased. Regarding the parameter V3, the difference was significant only between two conditions of the use of sandals with and without medical soles, which had increased.

Anterior-posterior GRF component of A-P1 had lower value in the barefoot condition than in the other two conditions, and the difference among the three conditions was significant. Although the mean of A-P2 was lower when using sandals with and without soles than in barefoot condition, the difference was not significant. Based on the results, the hypothesis 1 stating that the use of soles affects the parameters of GRF in the three test modes, was confirmed at a significance level of 0.05 (Figure 4).

Figure 1. 3D molding of the foot for cutting the sole (right) and a sample of made medical soles (left).

www.SID.ir

Scientific Journal of Rehabilitation Medicine

Figure 2. Sandals with medical lodge and removable sole

4. Discussion and Conclusion

According to the findings of the present study, it can be said that the use of soles can affect the GRF at vertical direction. The increase in the first peak of the vertical GRF when using sandals with medical soles in our study can be due to the heel height of the sandal. As the length of the lower limb increased, the amount of the first peak increased compared to the barefoot condition. The minimum amount of GRF is generated in the mid-stance phase of gait. This amount is higher in people with flatfoot compared to normal people because of the looseness of foot structures in these people. The intervention in the present study could reduce its amount and was able to provide adequate structural support for the foot. The third peak represents the force exerted when heel rises from the ground. This parameter was increased when using sandals with medical soles, which could be due to the increase in plantar flexor torque.

Table 1. Mean and standard deviation of selected peak points of GRF during walking in different conditions

Variable		Group	Mean±SD	Min.	Max.	F	Sig.
Vertical GRF (N/kg)	V1	Sandal with medical sole	1.11±0.08	0.98	1.34	4.15	0.001*
		Barefoot	1.09±0.08	0.96	1.30		
		Sandal without medical sole	1.11±0.07	0.96	1.33		
	V2	Sandal with medical sole	0.82±0.08	0.66	1.02	2.73	0.02*
		Barefoot	0.86±0.07	0.73	1.03		
		Sandal without medical sole	0.82±0.08	0.65	1.00		
	V3	Sandal with medical sole	1.15±0.08	1.04	1.38	4.33	0.002*
		Barefoot	1.11±0.08	0.97	1.33		
		Sandal without medical sole	1.13±0.07	1.01	1.36		
Anterior-posterior GRF (N/kg)	A-P1	Sandal with medical sole	-0.15±0.03	-0.27	-0.10	14.22	0.001*
		Barefoot	-0.12±0.02	-0.20	-0.06		
		Sandal without medical sole	-0.14±0.03	-0.22	-0.10		
	A-P2	Sandal with medical sole	0.17±0.02	0.13	0.26	1.65	1.16
		Barefoot	0.17±0.02	0.12	0.24		
		Sandal without medical sole	0.17±0.02	0.11	0.23		

*P≤ 0/05

Scientific Journal of Rehabilitation Medicine

www.SID.ir

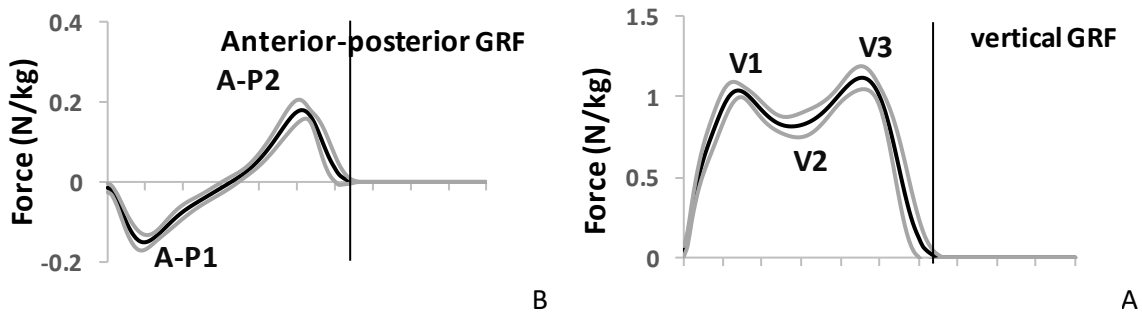


Figure 3. Mean and standard deviation of GRF while walking and selected peak points (A) in vertical and (B) in anterior-posterior directions

The results of the present study showed that the amount of posterior GRF increased when using sandals and medical soles. This can be due to the increase in the level of foot contact with the ground, which is followed by increased friction. The amount of anterior GRF also increased when using sandals with soles compared to the barefoot condition, but the difference was not significant. This can be due to better

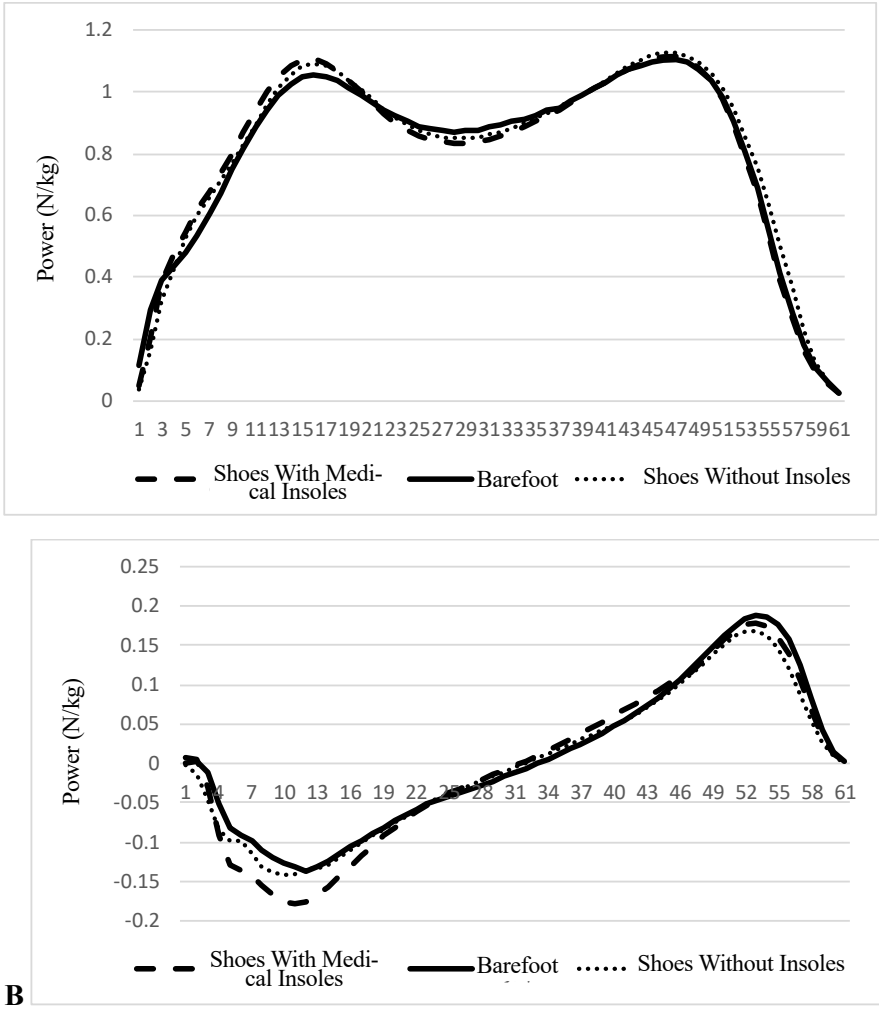


Figure 4. Changes in the GRF when walking at (A) vertical and (B) anterior-posterior directions in three conditions

www.SID.ir

foot control when using the sole because in the second gait phase it can create more forward force for the person [34].

By controlling the amount of pronation and eversion in the foot while walking using sandals with custom medical soles, the pattern of reaction force distribution can be changed in the vertical and anterior-posterior directions compared to the barefoot condition, indicating the effect of using a custom medical sole on the force distribution in the sole of the foot and subsequently on other joints. Therefore, it is recommended to study the kinetic changes of the joints following the use of medical soles. This study had some limitations. For example, not use of a muscle activity recorder, no female subjects, and no evaluation of the long-term effects of soles on the study parameters.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The ethical principles, such as obtaining informed consent from the participants, the confidentiality of their information, and letting them to be free to leave the study were observed. Ethical approval was obtained from the Kinesiology Research Center of Kharazmi University (Code: IR.KHU.KRC.1000.100-1).

Funding

This study was extracted from the PhD. dissertation of second author at the Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Islamic Azad University of Central Teheran Branch.

Authors' contributions

Conceptualization, investigation, editing & review: All authors; methodology and writing original draft: Farnaz Mohseni Zonouzi and Heydar Sadeghi.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank Roshan Gait Analysis Center for providing the equipment for data collection and processing and the study participants for their cooperation.

www.SID.ir

مقاله پژوهشی

اثر کفی طبی بر نیروی عکس‌العمل زمین هنگام راه رفتن افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف

*حیدر صادقی[۱،۲]، فرناز محسنی زنوزی[۳]، مقصود پیری[۴]

۱. گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.
۲. گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشکده علوم حرکتی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.
۳. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تهران، ایران.
۴. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۰۶ خرداد ۱۳۹۹
تاریخ پذیرش: ۲۰ خرداد ۱۳۹۹
تاریخ انتشار: ۱۱ خرداد ۱۴۰۰

چکیده

اهداف از آنجا که صافی کف پا اختلالی ساختاری است که در آن ارتفاع قوس طولی داخلی کاهش می‌یابد و به تبع آن، تغییرات بیومکانیکی در پا ایجاد می‌شود، استفاده از کفی طبی به عنوان یکی از روش‌های درمانی رایج مورد توجه درمانگران قرار گرفته است. هدف از پژوهش حاضر، تأثیر استفاده از کفی طبی بر نیروی عکس‌العمل زمین هنگام راه رفتن در ورزشکاران مرد مبتلا به کف پای صاف منعطف ۱۸ تا ۲۵ سال بود.

مواد و روش‌ها پانزده مرد ورزشکار مبتلا به صافی کف پای منعطف با میانگین سنی ۳/۳۹±۲۱/۳۳ سال، قد ۵/۲۸±۱۷۸/۷۲ سانتی‌متر و وزن ۸/۰۴±۷۱/۷۶ کیلوگرم در تحقیق حاضر به عنوان آزمودنی شرکت کردند. مؤلفه عمودی و قدامی خلفی نیروی عکس‌العمل زمین هنگام راه رفتن در سه حالت پا (برهنه، کفش بدون کفی و کفش با کفی) ارزیابی شد. تحلیل داده‌ها با روش آماری آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی در نرم‌افزار SPSS در سطح P≤۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در افراد مبتلا به صافی کف پا، نیروی عکس‌العمل زمین هنگام استفاده از کفش و کفی طبی سفارشی (که بر اساس ساختار پای فرد طراحی و ساخته شده است) در دو راستای عمودی و قدامی خلفی، در مقایسه با حالت پای برهنه و استفاده از کفش بدون کفی تغییر می‌کند، به طوری که در مرحله انتقال وزن روی پاشنه و جدا شدن پا از زمین نسبت به حالت دیگر، نیروی عکس‌العمل زمین به طور معناداری افزایش یافت (P=۰/۰۰۱ و P=۰/۰۰۱) و در مرحله میانی فاز اتکا میزان نیروی عکس‌العمل عمودی کمتر از حالت دیگر (پای برهنه و استفاده از کفش بدون کفی) بود (P=۰/۰۲). همچنین در مقایسه نیروی عکس‌العمل قدامی خلفی در سه حالت آزمون، میزان نیروی خلفی هنگام استفاده از کفش و کفی طبی در مقایسه با حالت پای برهنه به طور معنادار، بیشترین مقدار بوده است (P=۰/۰۰۱)، در حالی که در متغیر قدامی این اختلاف معنادار نبوده است (P=۱/۱۶).

نتیجه‌گیری نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که با کنترل میزان پرونیشن و اورژن در پا هنگام راه رفتن با استفاده از کفش و کفی طبی سفارشی می‌توان الگوی توزیع نیروی عکس‌العمل را در راستای عمودی و قدامی خلفی نسبت به حالت پای برهنه تغییر داد که نشان‌دهنده تأثیر استفاده از کفی طبی سفارشی بر شیوه توزیع نیرو در کف پا و متعاقب آن بر سایر مفاصل است. از این رو، بررسی تغییرات کینتیکی مفاصل متعاقب استفاده از کفی پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها:
صافی کف پا، کفی طبی، راه رفتن، کینتیک

مقدمه

از ساختار پا به عنوان یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده عملکرد اندام تحتانی یاد می‌شود که در صورت وجود هر گونه اختلال ساختاری، حالت استاتیک (ایستادن) و داینامیک (راه رفتن) را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱].

امروزه اعتقاد بر این است که اختلالات ساختاری در پا تنها محدود به پا نیست و می‌تواند بر سایر قسمت‌های اندام تحتانی تأثیر بگذارد و فرد را مستعد آسیب کند [۲،۳]. قوس طولی داخلی پا یکی از متنوع‌ترین ساختارهای استخوانی بدن است که بر اساس ارتفاع آن نسبت به سطح زمین، تقسیم‌بندی می‌شود. کاهش ارتفاع قوس طولی داخلی پا صافی کف پا نامیده می‌شود [۴-۶].

* **نویسنده مسئول:**
دکتر حیدر صادقی
نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی تهران، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی.
تلفن: ۳-۸۸۳۲۹۲۲۰ (۲۱) ۹۸+
رایانامه: sadeghih@yahoo.com

www.SID.ir

صافی کف پا باعث ناکارآمدی‌های بیومکانیکی در پا و مچ پا و نیز راه رفتن می‌شود [۷]. افراد دارای کف پای صاف، هنگام راه رفتن با تغییراتی از قبیل چرخش طولانی‌مدت پاشنه[1]، افزایش چرخش داخلی درشتنی[2]، افزایش ابداکشن جلوی پا[3] و دیگر تغییرات هنگام راه رفتن روبه‌رو می‌شوند [۸، ۹]؛ بنابراین، فرض می‌شود که درنتیجه این حرکات غیرطبیعی سایر ساختارها نیز متحمل فشار زیادتر شود. یکی از راهکارهای رایج برای کنترل حرکات اضافی در پا استفاده از کفی[4] (ارتزهای پا)[5] و کفش‌های مناسب است [۱۰، ۱۱].

کفی طبی وسیله‌ای است کمکی که بین کفش و پای فرد قرار می‌گیرد. کفی طبی انواع و جنس‌های مختلفی دارد و از طریق فرایندهای مختلفی طراحی و ساخته می‌شود [۱۲، ۱۳]، هدف اصلی استفاده از کفی کنترل بهتر حرکات پا هنگام ایستادن، راه رفتن و فعالیت است.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات انجام‌شده در رابطه با اثر کفی بر حرکات مفاصل اندام تحتانی این گونه به نظر می‌رسد که استفاده از کفی‌های طبی تا حدودی عملکردهای حرکتی مفاصل را اصلاح می‌کند [۱۵-۱۱].

از جمله می‌توان به مطالعه جعفرنژاد و همکاران اشاره کرد که بیان کردند، استفاده از کفی می‌تواند باعث کاهش نیروهای وارد بر مفاصل اندام تحتانی هنگام راه رفتن شود [۱۴] و هو و همکاران گزارش کرده‌اند که استفاده از ارتزهای پا اثرات قابل‌توجهی بر ساختار و عملکرد مفاصل اندام تحتانی دارد [۱۵].

در این بین نیز افرادی نظیر چن و همکاران گزارش کرده‌اند که کفی و کفش‌های طبی اثر معناداری بر نیروهای وارد بر مفصل زانو و ران ندارند [۱۶]. تاکنون مطالعات زیادی در مورد تأثیر کفی‌ها بر توزیع فشار سطح پلانتار افرادی که دارای کف پای صاف هستند نیز انجام شده است.

هان و همکاران در بررسی‌ای که روی افراد مبتلا به صافی کف پا انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که توزیع فشار در افراد مبتلا در قسمت داخلی (در ناحیه پاشنه و قسمت میانی پا) نسبت به افراد سالم بیشتر است [۱۷].

سایر تحقیقات انجام‌شده در این رابطه، از جمله ابوترابی و همکاران و نیز هان و همکاران نیز تفاوت بین توزیع فشار در افراد سالم و مبتلا به صافی کف پا را بیان کرده‌اند [۱۷، ۱۸]. مطالعات پیشین در زمینه تأثیر استفاده از کفی طبی بر نیروی عکس‌العمل زمین، تغییرات نیروی عکس‌العمل زمین را در راستای عمودی بررسی و همچنین در دو حالت استفاده از کفی طبی و عدم استفاده از کفی طبی را مقایسه کرده‌اند.

با توجه به اینکه کفش خود نیز می‌تواند بر توزیع نیروی عکس‌العمل زمین تأثیرگذار باشد، در تحقیق حاضر به مقایسه پابرهنه با حالت کفش با کفی طبی و کفش بدون کفی طبی نیز پرداخته شد و از آنجا که نیروی عکس‌العمل زمین در راستای قدامی خلفی می‌تواند بر پیشروی فرد در راه رفتن تأثیرگذار باشد، در این مطالعه تأثیر استفاده از کفی طبی در این راستا نیز بررسی شد.

در این تحقیق با فرض تأثیر استفاده از کفی بر نیروی عکس‌العمل زمین هنگام راه رفتن، تلاش شد تا به این پرسش پاسخ داده شود که آیا استفاده از کفی طبی بر نیروی عکس‌العمل زمین هنگام راه رفتن در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف تأثیرگذار است یا خیر؛ بنابراین هدف از انجام تحقیق کنونی، تأثیر استفاده از کفی طبی بر نیروی عکس‌العمل زمین هنگام راه رفتن در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف بود.

مواد و روش‌ها

آزمودنی‌ها

تحقیق حاضر به علت غیرقابل کنترل بودن عوامل اثرگذار از نوع شبه‌آزمایشگاهی[6]، مدل تحقیق تأثیرسنجی (علّی مقایسه‌ای)[7] و نوع آن کاربردی بود. جامعه آماری تحقیق حاضر مردان ورزشکار ۱۸ تا ۲۵ سال بودند که از بین آن‌ها پانزده نفر مبتلا به صافی کف پا منعطف با روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند.

پس از انجام ارزیابی‌ها و اندازه‌گیری‌های لازم و تأیید معیارهای ورود که شامل صافی کف پای شدید از نوع منعطف، عدم داشتن سابقه شکستگی، پیچ‌خوردگی در اندام تحتانی در طی شش ماه گذشته، عدم داشتن سابقه جراحی، به‌ویژه در اندام تحتانی در طی یک سال گذشته و عدم ابتلا به بیماری‌هایی که می‌تواند روی عملکرد فرد تأثیر بگذارد، بود؛ در مطالعه حاضر شرکت کردند.

تمامی مراحل قبل از انجام تست به افراد توضیح داده شد و افراد با آگاهی کامل از نحوه انجام مراحل و تکمیل فرم رضایت‌نامه در این تحقیق شرکت کردند. به آزمودنی‌ها توضیح داده شد که از لحاظ آزمایش و نیز از نظر روش‌های اندازه‌گیری، خطر و آسیبی برای آن‌ها وجود ندارد.

آزمودنی‌ها در هر مرحله از تحقیق قادر بودند تا به هر علتی یا بدون علت تحقیق را ترک کنند. پس از آشنایی، مراحل ارزیابی به ترتیب زیر برای هر فرد انجام شد.

برای ارزیابی ساختاری پا از شاخص پاسچر پا[8] استفاده

1. Prolonged Pronation
2. Tibia Internal Rotation
3. Forefoot Abduction
4. Sole
5. Foot Orthosis
6. Quasi-experimental
7. Influence Measurement
8. Foot Posture Index

www.SID.ir

تصویر ۱. قالب‌گیری سه‌بُعدی از پا برای برش کفی (چپ) و نمونه‌ای از کفی‌های طبی ساخته‌شده (راست)

طب‌توانبخشی

می‌شود [۱۹]. افرادی که شاخص پاسچر پای آن‌ها بیش از شش بود، وارد مراحل بعدی تحقیق شدند. برای تشخیص نوع صافی کف پای منعطف یا سخت از افراد خواسته شد که روی پنجه بایستند، اگر قوس در پا ایجاد و والگوس در پاشنه از بین می‌رفت، به عنوان فرد مبتلا به صافی کف پای منعطف وارد مرحله عملی آزمون می‌شدند [۲۰].

پس از ارزیابی پیش‌آزمون، با استفاده از دستگاه قالب‌گیری سه‌بُعدی کفی (Amfit Inc، SL Digitizer و آمریکا) و نرم‌افزار پیش‌فرض CAD-CAM کفی طبی منطبق با ساختار پای هر فرد طراحی و ساخته شد. جنس کفی‌ها نیمه‌سخت و از ترموپلاستیک پلی‌پروپلین با روکش پارچه‌ای بود (تصویر شماره ۱).

این کفی باعث حمایت قوس طولی داخلی پا می‌شود و در سمت پاشنه برای حمایت بیشتر پاشنه کمی عمق دارد. برای حذف تأثیر انواع کفش بر عملکرد مفاصل و توزیع نیروی عکس‌العمل از یک صندل پیش‌ساخته با لژ طبی استفاده شد (تصویر شماره ۲) که ضمن یکسان بودن نوع کفش برای افراد، بتوان کفی معمولی آن را با کفی طبی افراد جابه‌جا کرد.

در این مطالعه، تأثیر آنی استفاده از کفی طبی بررسی شد و افراد با سرعت معمول در سه حالت پابرهنه، با کفش بدون کفی و کفش با کفی در Walkway به طول سه متر با سه تکرار راه می‌رفتند. برای ثبت داده‌های مورد نظر از دستگاه صفحه نیرو KISTLER ساخت سوئیس با فرکانس ۱۲۰۰ هرتز استفاده شد. پس از ثبت اطلاعات توسط سیستم، فرایند تحلیل اطلاعات توسط نرم‌افزار Nexus و متلب انجام گرفت.

مراحل اجرا و پردازش داده‌ها

پردازش داده‌ها در چهار مرحله چک کردن، فیلتر کردن، نرمال‌سازی و آنالیز داده‌ها انجام شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا داده‌ها بررسی اولیه شدند تا از صحت نمونه‌برداری اطمینان حاصل شود. سپس به منظور کاهش نویز و خطا از فیلتر باترورث پایین‌گذر[9] مرتبه چهار استفاده شد. به منظور یکسان‌سازی و قابل مقایسه شدن داده‌ها، اطلاعات حاصل بر اساس وزن بدن و یک دوره سیکل کامل راه رفتن نرمال‌سازی شد. در مطالعه حاضر برای بررسی تأثیر کفی، آزمون راه رفتن در حالت‌های پابرهنه و کفش بدون کفی و کفش با کفی انجام شد. ترتیب انجام تست‌ها در حالات مختلف به صورت تصادفی انجام گرفت.

به منظور کاهش تأثیر خستگی بین هر حالت آزمون، پنج دقیقه استراحت در نظر گرفته شد و همچنین ترتیب انجام آزمون به صورت تصادفی انجام شد. از آزمایش‌های مختلف (پابرهنه، استفاده از کفش بدون کفی و استفاده از کفش با کفی طبی) برای راه رفتن طبیعی از نقاط اوج منحنی متغیر نیروی عکس‌العمل زمین استفاده شده است. این نقاط اوج در تصویر شماره ۱ نشان داده شده است. باید توجه داشت که این نقاط از نظر عملکردی نقاط مهمی بوده، همچنین بر اساس نتایج مطالعات مشابه در این زمینه انتخاب شده است [۲۱].

تحلیل آماری

به منظور سازمان‌بندی، خلاصه کردن و محاسبه میانگین و انحراف استاندارد اطلاعات کمّی از آمار توصیفی، برای ارزیابی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک و برای مقایسه تأثیر استفاده از کفی در هر حالت از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر[10] در سطح معناداری P≤۰/۰۵ استفاده شد و در صورت معنادار بودن تفاوت میانگین‌ها از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

یافته‌ها

جامعه آماری تحقیق کنونی را مردان ورزشکار ۱۸ تا ۲۵ سال مبتلا به صافی کف پای منعطف تشکیل دادند که در این تحقیق

9. Low Pass Butterworth Filter
10. ANOVA With Repeated Measures Analysis

www.SID.ir

تصویر ۲. صندل با لژ طبی با قابلیت تعویض کفی

طب‌توانبخشی

پانزده مرد ورزشکار ۱۸ تا ۲۵ سال مبتلا به صافی کف پای منعطف مشارکت داشتند که میانگین سن ۲۱/۳۳±۳/۳۹ سال، قد ۱۷۸/۷۲±۵/۲۸ سانتی‌متر و وزن ۷۱/۷۶±۸/۰۴ کیلوگرم بود.

از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و همچنین آزمون تعقیبی بونفرونی به منظور بررسی تفاوت بین حالات مختلف تحقیق استفاده شد. میانگین و انحراف معیار و نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای متغیرهای مورد نظر در حالات مختلف آزمون در جدول شماره ۱ آورده شده است.

بر اساس اطلاعات ارائه‌شده در جدول شماره ۱ از نظر پارامترهای A-P1 و V3، V2، V1 تفاوت بین حالت‌های تحقیق معنادار بوده است. بر این اساس، به منظور انجام آزمون تعقیبی از آزمون بونفرونی استفاده شد که نتایج آن در تصویر شماره ۳ ارائه شده است.

نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد پارامتر V1 تفاوت بین پای برهنه و استفاده از کفش همراه با کفی طبی و بدون کفی معنادار است و باعث افزایش میزان مقدار این پارامتر شده است، اما بین استفاده از کفش با کفی طبی و کفش بدون استفاده از کفی تفاوت معنادار نبود.

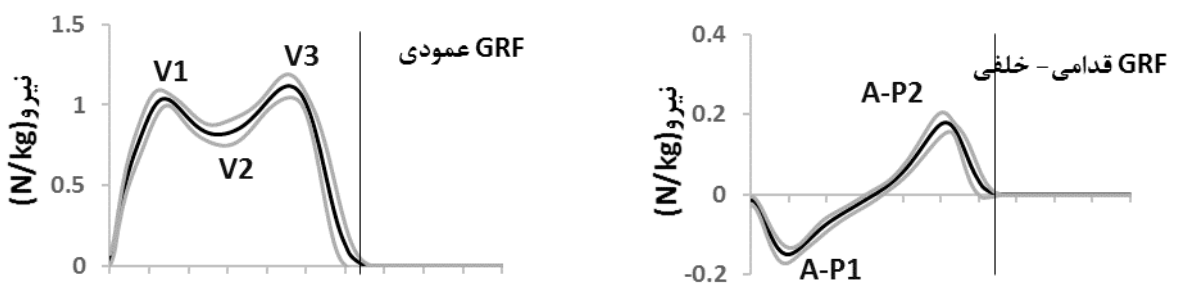
در مورد V2 تنها تفاوت بین پای برهنه و استفاده از کفش با کفی طبی معنادار بود و میزان این پارامتر در حالت استفاده از کفش با کفی طبی در مقایسه با پای برهنه کاهش یافته بود. تفاوت بین سه حالت (پابرهنه، کفش با کفی طبی و کفش بدون کفی طبی) در مورد پارامتر V3 تنها هنگام استفاده از کفش با کفی طبی و کفش بدون کفی طبی معنادار بود که نسبت به حالت پای برهنه مقدار آن‌ها افزایش یافته بود.

در راستای قدامی خلفی در مورد پارامتر A-P1 مقدار آن در حالت پای برهنه کمتر از دو حالت دیگر بود و اختلاف بین استفاده از کفش با کفی طبی و پابرهنه و کفش بدون کفی معنادار بود. هرچند هنگام استفاده از کفش با کفی و بدون کفی مقدار A-P2 کمتر از حالت پای برهنه بود، اما تفاوت در مورد پارامتر A-P2 معنادار نبود.

بر اساس اطلاعات ارائه‌شده فرض یک که مبنی بر استفاده از کفی بر پارامترهای نقاط اوج منحنی‌های نیروی عکس‌العمل زمین در سه حالت آزمون تأثیرگذار است، در سطح معناداری ۰/۰۵ تأیید شد.

بحث

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی تأثیر استفاده از کفی طبی بر نیروی عکس‌العمل زمین هنگام راه رفتن در ورزشکاران مرد



طب‌توانبخشی

تصویر ۳. میانگین و انحراف معیار نیروی عکس‌العمل زمین، نقاط پیک انتخابی نمودارهای هنگام راه رفتن A در راستای عمودی و B در راستای قدامی خلفی

www.SID.ir

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار نقاط اوج انتخابی نمودارهای نیروی عکس‌العمل زمین هنگام راه رفتن طبیعی در حالت‌های مختلف و نتایج آماری

پارامتر		گروه	میانگین±انحراف معیار	حداقل	حداکثر	F	P
مؤلفه عمودی (N/kg)	V1	کفش همراه با کفی طبی	۱/۱۱±۰/۰۸	۰/۹۸	۱/۳۴	۴/۱۵	۰/۰۰۱*
		پای برهنه	۱/۰۹±۰/۰۸	۰/۹۶	۱/۳۰		
		کفش بدون کفی	۱/۱۱±۰/۰۷	۰/۹۶	۱/۳۳		
	V2	کفش همراه با کفی طبی	۰/۸۲±۰/۰۸	۰/۶۶	۱/۰۲	۲/۷۳	۰/۰۳*
		پای برهنه	۰/۸۶±۰/۰۷	۰/۷۳	۱/۰۳		
		کفش بدون کفی	۰/۸۲±۰/۰۸	۰/۶۵	۱/۰۰		
	V3	کفش همراه با کفی طبی	۱/۱۵±۰/۰۸	۱/۰۴	۱/۳۸	۴/۳۳	۰/۰۰۲*
		پای برهنه	۱/۱۱±۰/۰۸	۰/۹۷	۱/۳۳		
		کفش بدون کفی	۱/۱۳±۰/۰۷	۱/۰۱	۱/۳۶		
مؤلفه قدامی - خلفی (N/kg)	A-P1	کفش همراه با کفی طبی	-۰/۰۱۵±۰/۰۳	-۰/۲۷	-۰/۱۰	۱۴/۲۲	۰/۰۰۱*
		پای برهنه	-۰/۱۲±۰/۰۲	-۰/۲۰	-۰/۰۶		
		کفش بدون کفی	-۰/۰۱۴±۰/۰۳	-۰/۲۲	-۰/۱۰		
	A-P2	کفش همراه با کفی طبی	۰/۱۷±۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۲۶	۱/۶۵	۱/۱۶
		پای برهنه	۰/۱۷±۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۲۴		
		کفش بدون کفی	۰/۱۷±۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۲۳		

*سطح معناداری P≤۰/۰۵

طب توانبخشی

مبتلا به کف پای صاف منعطف ۱۸ تا ۲۵ سال بود. با توجه به یافته‌های آماری تحقیق حاضر، می‌توان گفت که استفاده از کفی می‌تواند بر نیروی عکس‌العمل زمین تأثیر گذارد.

طبق بررسی‌های انجام‌شده، هنگام راه رفتن، نیروی عکس‌العمل زمین در دو راستای عمودی و قدامی خلفی مورد بررسی قرار گرفت. نمودار نیروی عکس‌العمل زمین در راستای عمودی در حالت نرمال هنگام راه رفتن دو مقدار بیشینه و یک مقدار کمینه دارد که در این تحقیق نیز این مقادیر در حالات مختلف مقایسه و بررسی شد.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که استفاده از کفش با کفی طبی بر متغیرهای نیروی عکس‌العمل در جهت عمودی تأثیرگذار است و باعث افزایش بیشینه اول و بیشینه سوم و کاهش کمینه دوم شده است [۷].

افزایش میزان قله اول نیروی عکس‌العمل عمودی هنگام استفاده از کفش با کفی طبی می‌تواند به دلیل پوشیدن کفش و افزایش طول پا باشد. به نظر می‌رسد که با پوشیدن کفش به دلیل ارتفاع پاشنه کفش، بلندتر شدن طول اندام تحتانی نسبت به حالت پابرهنه میزان مقدار قله اول افزایش یافته است که این نتایج با نتایج یانگ هی و همکاران و نیز کین و همکاران همسو است که دلیل افزایش این مقدار را پوشیدن کفش و جابه‌جایی مرکز جرم بدن به بالا را بیان کرده بودند [۲۲، ۲۳].

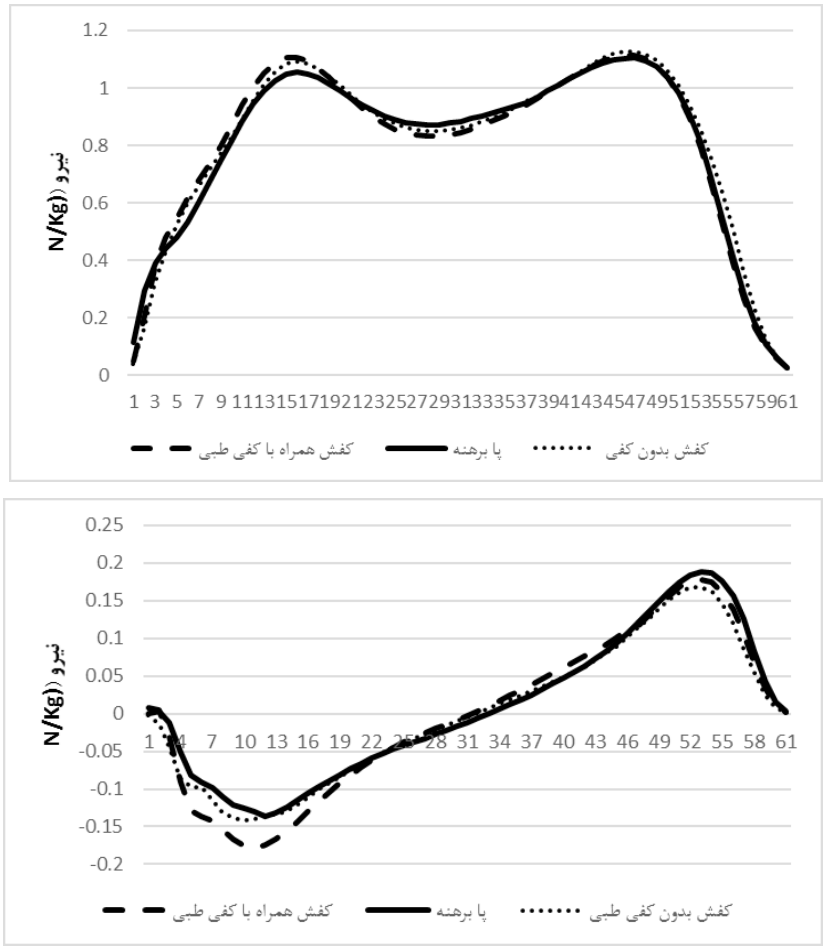
حداقل مقدار نیروی عکس‌العمل زمین که در مرحله میانی فاز ایستایش راه رفتن ایجاد می‌شود، در بررسی انجام‌شده توسط رزاقی و همکاران، این میزان در افراد مبتلا به صافی کف پا در مقایسه با افراد نرمال بیشتر بوده است که دلیل آن هم شُلی ساختارهای پا در این افراد است.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر که میزان آن در هنگام استفاده از کفش با کفی طبی کاهش یافته است، می‌توان نتیجه گرفت که این آزمایش‌ها توانسته حمایت ساختاری مناسبی برای پا فراهم آورد [۲۴].

قله سوم نشان‌دهنده نیروی اعمال‌شده در مرحله جدا شدن پاشنه از زمین است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که این پارامتر از نیروی عمودی زمین در صورت استفاده از کفش با کفی طبی افزایش داشته است.

بر اساس تحقیقات انجام‌شده این متغیر تحت تأثیر عملکرد عضلات پلانتارفلکسور پا در جهت ایجاد گشتاور مناسب است که این میزان در افراد مبتلا به صافی کف پا در هنگام استفاده

www.SID.ir



طب توانبخشی

تصویر ٤. تغییرات نیروی عکس‌العمل زمین در راستای عمودی A و راستای قدامی خلفی B هنگام راه رفتن در سه حالت

از کفی طبی افزایش می‌یابد (تصویر شماره ۴) [۲۷-۲۵]. پس با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان گفت افزایش میزان این متغیر در پی افزایش گشتاور پلانتار فلکسوری هنگام استفاده از کفش با کفی طبی است.

این یافته‌ها، با نتایج تحقیق نگرون و همکاران تا حدودی تطابق داشت، زیرا آن‌ها در تحقیق خود اختلاف معناداری بین حالت‌های مختلف کفی و تأثیر آن بر نیروی عکس‌العمل زمین یافت نکردند، هرچند که میزان میانگین استفاده از کفی باعث افزایش مقدار اوج نیروی عکس‌العمل در راستای عمودی شده بود.

این تفاوت می‌تواند به نوع کفی و یا کفشی که افراد هنگام تست استفاده کرده بودند، مربوط شود [۲۸]. در این بین، تحقیقاتی با نتایج مغایر نیز به چشم می‌خورد، از جمله اسلامی و همکاران بیان کردند که استفاده از کفی باعث کاهش قله نیروی عمودی نیروی عکس‌العمل می‌شود که این تفاوت می‌تواند به خاطر نوع کفی باشد، زیرا جنس و نوع کفی مورد استفاده در آن تحقیق متفاوت بوده است [۲۹].

درخصوص نیروی عکس‌العمل در راستای قدامی خلفی تحقیقات انجام‌شده نشان داده است که بزرگی نیروی عکس‌العمل در جهت قدامی خلفی به عواملی نظیر سرعت، احساس اطمینان فرد هنگام راه رفتن، پوشیدن کفش و طول گام ارتباط دارد [۲۲].

نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده افزایش میزان نیروی خلفی هنگام استفاده از کفش و کفی طبی است، از آنجا که اختلاف معناداری بین حالت پابرهنه و استفاده از کفش وجود دارد، می‌توان گفت که استفاده از کفش منجر به افزایش سطح تماس پا با زمین می‌شود و درنتیجه می‌تواند باعث افزایش نیروی خلفی با دلیل افزایش اصطکاک با زمین شود.

این یافته‌ها با نتایج کنیان و همکاران و نیز کوئین و همکاران تطابق دارد [۳۰، ۳۱]، اما با نتایج ساکو و همکاران که بیان داشتند استفاده از کفی بر نیروی خلفی نیروی عکس‌العمل زمین تأثیر چشمگیری ندارد [۳۲]، متناقض بود که می‌تواند به دلیل تفاوت در جنس کفی و کفش هنگام انجام تست باشد.

در مورد متغیر قدامی نیروی عکس‌العمل زمین، نتایج نشان

www.SID.ir

می‌دهد که هنگام استفاده از کفش با کفی در مقایسه با حالت پابرهنه در میانگین نیروی قدامی افزایش داشته است، اما اختلاف معناداری بین حالت مختلف وجود ندارد. دلیل آن می‌تواند به خاطر کنترل بهتر پا هنگام استفاده از کفی باشد، زیرا در فاز دوم می‌تواند نیروی پیشروی بیشتری برای فرد ایجاد کند [۳۳].

برای انجام مطالعه حاضر محدودیت‌هایی وجود داشت که می‌توان به عدم استفاده از دستگاه ثبت فعالیت عضلانی، عدم حضور جنس مؤنث و بررسی اثرات طولانی‌مدت کفی بر این پارامترها اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که با کنترل میزان پرونیشن و اورژن در پا هنگام راه رفتن با استفاده از کفش و کفی طبی سفارشی می‌توان الگوی توزیع نیروی عکس‌العمل را در راستای عمودی و قدامی خلفی نسبت به حالت پابرهنه تغییر داد که نشان‌دهنده تأثیر استفاده از کفی طبی سفارشی بر شیوه توزیع نیرو در کف پا و متعاقب آن بر سایر مفاصل است. از این رو، بررسی تغییرات کینتیکی مفاصل متعاقب استفاده از کفی پیشنهاد می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این بررسی افراد به صورت آگاهانه در این تحقیق شرکت کرده بودند. پس از آشنایی افراد با مراحل آزمون و امضای فرم رضایت‌نامه روند تحقیق و نقش آزمودنی‌ها به طور شفاف توضیح داده شد. همچنین افراد در صورت عدم تمایل می‌توانستند در هر مرحله از تحقیق از ادامه انصراف دهند. شرایط اخلاقی توسط کمیته اخلاق پژوهشکده علوم حرکتی دانشگاه خوارزمی بررسی و تایید شده بود (کد اخلاق: IR-KHU.KRC.1000.100-1).

حامی مالی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده دوم از گروه بیومکانیک ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، استخراج شده است.

مشارکت نویسندگان

تحقیق و بررسی، تحلیل داده‌ها: فرناز محسنی زنوزی، حیدر صادقی؛ ویراستاری و نهایی‌سازی نوشته: تمامی نویسندگان.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مرکز تجزیه و تحلیل روشن گیت برای ارائه تجهیزات جمع‌آوری و پردازش داده‌ها تشکر می‌کنند.

www.SID.ir

Refrence

[1] Harrison PL, Littlewood C. Relationship between pes planus foot type and postural stability. Indian Journal of Physiotherapy and Occupational Therapy. 2010; 4(3):21-4. http://www.i-scholar.in/index.php/ijpot/article/view/48142

[2] Noh B, Masunari A, Akiyama K, Fukano M, Fukubayashi T, Miyakawa S. Structural deformation of longitudinal arches during running in soccer players with medial tibial stress syndrome. European Journal of Sport Science. 2015; 15(2):173-81. [DOI:10.1080/17461391.2014.932848] [PMID]

[3] Farahpour N, Jafarnezhadgero A, Allard P, Majlesi M. Muscle activity and kinetics of lower limbs during walking in pronated feet individuals with and without low back pain. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2018; 39(1):35-41. [DOI:10.1016/j.jelekin.2018.01.006] [PMID]

[4] Roth S, Roth A, Jotanovic Z, Madarevic T. Navicular index for differentiation of flatfoot from normal foot. International Orthopaedics. 2013; 37(6):1107-12. [DOI:10.1007/s00264-013-1885-6] [PMID] [PMCID]

[5] Chuckpaiwong B, Nunley JA, Queen RM. Correlation between static foot type measurements and clinical assessments. Foot and Ankle International. 2009; 30(3):205-12. [DOI:10.3113/FAI.2009.0205] [PMID]

[6] Bourdet C, Seringe R, Adamsbaum C, Glorion C, Wicart P. Flatfoot in children and adolescents. Analysis of imaging findings and therapeutic implications. Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research (OTSR). 2013; 99(1):80-7. [DOI:10.1016/j.otsr.2012.10.008] [PMID]

[7] Prachgosin T, Chong DY, Leelasamran WI, Smithmaitrie P, Chatpun SU. Medial longitudinal arch biomechanics evaluation during gait in subjects with flexible flatfoot. Acta of Bioengineering and Biomechanics. 2015; 17(4);121-30. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26898763/

[8] Aminian G, Safaeepour Z, Farhoodi M, Pezeshk AF, et al. The effect of prefabricated and proprioceptive foot orthoses on plantar pressure distribution in patients with flexible flatfoot during walking. Prosthetics and Orthotics International. 2013; 37(3):227-32. [DOI:10.1177/0309364612461167] [PMID]

[9] Cote KP, Brunet ME, II BM, Shultz SJ. Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. Journal of Athletic Training. 2005; 40(1):41-6. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1088344/

[10] Kido M, Ikoma K, Hara Y, Imai K, et al. Effect of therapeutic insoles on the medial longitudinal arch in patients with flatfoot deformity: A three-dimensional loading computed tomography study. Clinical Biomechanics (Bristol, Avon). 2014; 29(10):1095-8. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2014.10.005] [PMID] [PMCID]

[11] Simkin A, Leichter I, Giladi M, Stein M, Milgrom C. Combined effect of foot arch structure and an orthotic device on stress fractures. Foot and Ankle. 1989; 10(1):25-9. [DOI:10.1177/107110078901000105] [PMID]

[12] Goonetilleke RS. The science of footwear, 1st edition. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2012. [DOI:10.1201/b13021]

[13] Blake RL, Ferguson H. Foot orthosis for the severe flatfoot in sports. Journal of the American Podiatric Medical Association. 1991; 81(10):549-55. [DOI:10.7547/87507315-81-10-549] [PMID]

[14] Jafarnezhadgero AA, Shad MM, Majlesi M. Effect of foot orthoses on the medial longitudinal arch in children with flexible flatfoot deformity: A three-dimensional moment analysis. Gait and Posture. 2017; 55:75-80. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2017.04.011] [PMID]

[15] Ho M, Kong PW, Chong LJ, Lam WK. Foot orthoses alter lower limb biomechanics but not jump performance in basketball players with and without flat feet. Journal of Foot and Ankle Research. 2019; 12(1):12-24. [DOI:10.1186/s13047-019-0334-1] [PMID] [PMCID]

[16] Chen YC, Lou SZ, Huang CY, Su FC. Effects of foot orthoses on gait patterns of flat feet patients. Clinical Biomechanics (Bristol, Avon). 2010; 25(3):265-70. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2009.11.007] [PMID]

[17] Han JT, Koo HM, Jung JM, Kim YJ, Lee JH. [Differences in plantar foot pressure and COP between flat and normal feet during walking (Persian)]. Journal of Physical Therapy Science. 2011; 23(4):683-5. [DOI:10.1589/jpts.23.683]

[18] Aboutorabi A, Saeedi H, Kamali M, Farahmand B, et al. Immediate effect of orthopedic shoe and functional foot orthosis on center of pressure displacement and gait parameters in juvenile flexible flat foot. Prosthetics and Orthotics International. 2014; 38(3):218-23. [DOI:10.1177/0309364613496111] [PMID]

[19] Morrison SC, Ferrari J. Inter-rater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) in the assessment of the paediatric foot. Journal of Foot and Ankle Research. 2009; 2(1):26-45. [DOI:10.1186/1757-1146-2-26] [PMID] [PMCID]

[20] Mosca VS. Flexible flatfoot and skewfoot. The Journal of Bone and Joint Surgery. 1995; 77(12):1937-45. [DOI:10.2106/00004623-199512000-00021]

[21] Winter DA. Biomechanics of human movement with applications to the study of human locomotion. Critical Reviews in Biomedical Engineering. 1984; 9(4):287-314. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6368126/

[22] Keenan GS, Franz JR, Dicharry J, Della Croce U, Kerrigan DC. Lower limb joint kinetics in walking: the role of industry recommended footwear. Gait and Posture. 2011; 33(3):350-5. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2010.09.019] [PMID]

[23] Yung-Hui L, Wei-Hsien H. Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking. Applied Ergonomics. 2005; 36(3):355-62. [DOI:10.1016/j.apergo.2004.11.001] [PMID]

[24] Razeghi M, Batt ME. Biomechanical analysis of the effect of orthotic shoe inserts. Sports Medicine. 2000; 29(6):425-38. [DOI:10.2165/00007256-200029060-00005] [PMID]

[25] Hunt AE, Smith RM. Mechanics and control of the flat versus normal foot during the stance phase of walking. Clinical Biomechanics. 2004; 19(4):391-7. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2003.12.010] [PMID]

www.SID.ir

[26] Levinger P, Murley GS, Barton CJ, Cotchett MP, et al. A comparison of foot kinematics in people with normal-and flat-arched feet using the Oxford Foot Model. Gait & Posture. 2010; 32(4):519-23. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2010.07.013] [PMID]

[27] Mantashloo Z, Sadeghi H, Khaleghitazji M. [Comparison of ground reaction forces and muscles electrical activity of the ankle during running in young men with pronation and normal foot (Persian)]. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences. 2017; 16(4):353-64. http://journal.rums.ac.ir/browse.php?a_id=3744&sid=1&slc_lang=fa&html=1

[28] Gijon-Nogueron G, Palomo-Toucedo I, Gil-Tinoco A, Ortega-Avila AB, Munuera-Martínez PV. Effect produced on ground reaction forces by a prefabricated, weight-bearing and non-weight-bearing foot orthosis in the treatment of pronated foot: Pilot study. Medicine. 2018; 97(22):1-7. [DOI:10.1097/MD.0000000000010960] [PMID] [PMCID]

[29] Eslami M, Begon M, Hinse S, Sadeghi H. Effect of foot orthoses on magnitude and timing of rearfoot and tibial motions, ground reaction force and knee moment during running. Journal of Science and Medicine in Sport. 2009; 12(6):679-84. [DOI:10.1016/j.jsams.2008.05.001] [PMID]

[30] Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation. e-book, 3rd edition. Elsevier Health Sciences; 2013. https://www.elsevier.com/books/kinesiology-of-the-musculoskeletal-system/neumann/978-0-323-28753-1

[31] Queen RM. The effect of positive posterior heel flare on muscle activation, kinetics, and kinematics during running gait. [PhD. dissertation]. Carolina: The University of North Carolina at Chapel Hill, 2004. https://www.proquest.com/openview/7b4485a1b7ab2f391ede3fcf30f20d81/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y

[32] Sacco IC, Akashi PM, Hennig EM. A comparison of lower limb EMG and ground reaction forces between barefoot and shod gait in participants with diabetic neuropathic and healthy controls. BMC Musculoskeletal Disorders. 2010; 11(1):24-38. [DOI:10.1186/1471-2474-11-24] [PMID] [PMCID]

[33] Hamill J, Knutzen KM. Biomechanical basis of human movement. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006. https://www.amazon.com/Biomechanical-Basis-Movement-Joseph-Hamill/dp/1451177305

www.SID.ir