

## Research Paper

## Evaluation of Appropriate Metatarsal Pad Length on Mechanical Parameters of Diabetic Foot Ulcer During Walking

Ebrahim Abdi<sup>1</sup>, Mansour Islami<sup>2</sup>, \*Mohammad Taghipour<sup>3</sup>, Ali Bakhtiari<sup>4</sup>

1. Department of Sport Biomechanics, Education Center and Faculty of Sport Sciences, Kavoshgaran Danesh and Pouyesh Vieira, Tehran, Iran.
2. Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, University of Mazandaran, Mazandaran, Iran.
3. Department of Physiotherapy, Mobility Impairment Research Center, Babol University of Medical Sciences, Mazandaran, Iran.
4. Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.



**Citation:** Abdi E, Islami M, Taghipour M, Bakhtiari A. [Check the Appropriate Length of the Metatarsal Pad on the Reduction of Diabetic Foot Ulcer Mechanical Parameters in Walking (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics. 2018; 4(3):38-51. <https://doi.org/10.32598/biomechanics.4.3.38>

**doi** <https://doi.org/10.32598/biomechanics.4.3.38>



## Article Info:

Received: 27 Aug 2018

Accepted: 03 Nov 2019

Available Online: 01 Dec 2018

## Keywords:

Diabetics foot ulcer,  
Peak plantar pressure,  
Time-pressure inte-  
gral, Metatarsal pad

## ABSTRACT

**Objective:** Studies have reported that the best strategy for reducing the peak pressure on metatarsals is to increase the surface area with the metatarsal pad. but the optimal length of metatarsal pads is still unclear. The purpose of this study was to evaluate the appropriate length of metatarsal pad and its effect on the reduction of diabetic foot ulcer mechanical parameters while walking.

**Methods:** Participants were 15 male patients with diabetes mellitus (Mean±SD=63.3±2.01 years). Hand-made metatarsal pads with a length equal to 18, 20, 23 and 25% of foot length were used. Patients wearing these pads passed the RS-scan foot scan in 5 separate conditions and their data were recorded. Repeated measures Analysis of Variance (ANOVA) was used for analyzing data.

**Results:** Peak pressure significantly decreased in metatarsal regions 1, 3 and 4 ( $P=0.001$ ), but no significant difference was observed in regions 2 and 5 ( $P<0.05$ ). A significant difference was observed in pressure-time integral between the five conditions in all metatarsal pads ( $P=0.001$ ), but its change between the type of pad and metatarsal region was different. In the metatarsal regions 1 and 2 with pads of 18 and 20% of foot length, the peak time pressure was significantly reduced, while in the pads of 23 and 25% of foot length, it significantly increased. In the metatarsal regions 3, 4 and 5 with a pad of 18% of foot length, the peak time pressure increased, while with the pads of 20, 23, and 25 of foot length, a reduction was observed.

**Conclusion:** As the pad length increases, the pressure peak in the metatarsal areas decreases, but the effect of pad length on the time pressure depends on the metatarsal region and the pad length. The length of the pad relative to the size of the foot is a step forward for the insole design. Insole designers are recommended to use a metatarsal pad with 23% of foot length for diabetic patients.

## Extended Abstract

## 1. Introduction

**T**

he worldwide prevalence of diabetes has dramatically increased, and 10% of the Iranian population has this disease [1]. According to the World Health Organiza-

tion's report in 2003, 194 million people were estimated to have diabetes worldwide, predicted to reach 366 million by 2030. In the 2010 census, this rate increased to 374 million worldwide [1, 2]. The major problems in diabetic patients consist of foot infection and ulcer, ultimately leading to amputation [4]. Studies suggested that 20% of hospitalized Iranian diabetic patients experience foot problems [3].

## \* Corresponding Author:

Mohammad Taghipour, PhD.

Address: Department of Physiotherapy, Mobility Impairment Research Center, Babol University of Medical Sciences, Mazandaran, Iran.

Tel: +98 (912) 6899352

E-mail: taghipourm@yahoo.com

Increased local pressure and the pressure-time on the sole are the most critical mechanisms of the mechanical risk of plantar foot ulcer in diabetic patients [5, 6]. In diabetic patients, due to the limited mobility, the shock absorption mechanism of the wrist and knee joints is reduced [7]. A study indicated that the most prevalent foot ulcers are in the metatarsal areas of diabetic patients [18]. The peak of pressure and the time of pressure are highly correlated with the ulceration of the foot; thus, the best strategy to reduce the peak pressure in metatarsal areas is to increase the contact area. In this regard, the metatarsal pad is used to increase the contact surface and reduce the pressure peak [22]. This study aimed to determine the proper metatarsal pad length for reducing foot plantar pressure parameters (peak pressure and pressure time). As a result, we measured the ratio of the metatarsal pad length to the actual foot length.

## 2. Patients and Methods

In total, 15 male patients with type 2 diabetes (Mean age: 63.3 y) were selected among 2000 diabetic patients in Babolsar County, Iran. They were selected by assessing their medical records and using a convenience sampling technique. A foot scan system (RS-scan, Belgium) with 1×0.4 m dimensions at 50 fps (Hz) was used for measuring the foot pressure and pressure distribution pattern. Handmade metatarsal pads with lengths equal to 18%, 20%, 23%, and 25% of foot length were used. Figure 1 shows the RS-scan system and the used pads. The study variables were the peak plantar pressure and the pressure-time on 10 plantar regions (heel, center, metatarsal, & thumb). Among these regions, the peak plantar pressure and the pressure-time on 5 metatarsal regions were measured and used for the statistical analysis. The anthropometric characteristics of the subjects' feet were measured after explaining the study and

test methods to them and obtaining informed consent from them. A 12-meter straight path was determined and the foot scan system was longitudinally placed at a distance of 10 m. The study subjects were requested to start walking with the optional and preferable speed from the beginning of the route and maintain their speed until its end. We adjusted the patients' walking speed based on the forms of the gait cycle's supporting phase in the scanning system; the study subjects' walking speed did not vary during the test.

## 3. Results

According to Figure 1 and the one-way repeated measures Analysis of Variance (ANOVA) results, the peak pressure increased with enhancing pad length in the metatarsal region 1; the within-group difference between pads was significant ( $P=0.001$ ). The descriptive indices also revealed a decrease of 24% in the 18% pad. Furthermore, in the pads of 20%, 23%, and 25% of foot lengths, there were 36%, 40%, and 43% decreases in the peak pressure parameter, respectively. Moreover, ANOVA results of pressure time on the first metatarsal head section suggested a significant difference in the peak time of pressure between feet with and without pad conditions ( $P=0.001$ ).

## 4. Discussion

The present study investigated the appropriate length of the metatarsal pad and its effect on the mechanical parameters of diabetic foot ulcer during gait. According to the obtained results, the distribution pattern of plantar pressure and the time of applying pressure on the metatarsals changed with the application of pads. In other words, the distribution of plantar pressure depends on the distribution of force and the surface at which the force is applied; thus,

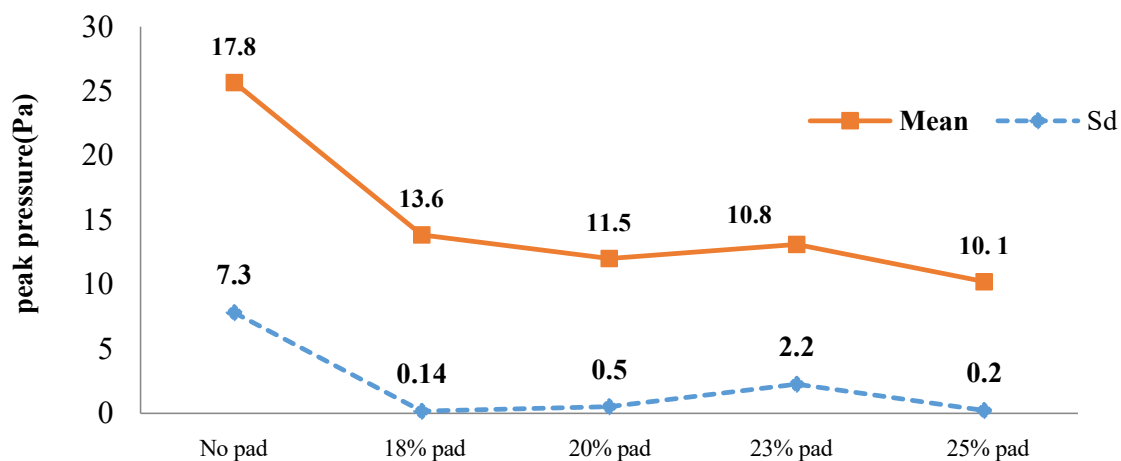


Figure 1. Descriptive statistics (Mean±SD) and peak pressure under 5 different conditions

\*Significant difference between pads in the metatarsal region 1

by changing the surface, the distribution of plantar pressure changes. Therefore, when the pads' length percentages increase, the peak pressure level decreases. This is because using a metatarsal pad increases the contact level in the metatarsal region. Reducing peak pressure in metatarsal regions is a crucial advantage of pad use.

## 5. Conclusion

The greatest effect of metatarsal pads was detected in metatarsal regions 1, 3, and 4. As the pad length increased, the pressure peak in the metatarsal areas decreased. The highest pressure reduction was observed in the metatarsal head with pads of 23% and 25% of foot length. Since the pad length increased in the metatarsal regions 1 and 2 with increasing pad length, the 23% of foot length could be an appropriate pad length to reduce the peak pressure and the time of pressure in metatarsal areas. Insole designers are recommended to use a metatarsal pad with 23% of foot length for diabetic patients

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this article. The participants were informed about the purpose of the research and its implementation stages; they were also assured about the confidentiality of their information; Moreover, They were allowed to leave the study whenever they wish, and if desired, the results of the research would be available to them.

### Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### Authors' contributions

All authors contributed equally in preparing all parts of the research.

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

### Acknowledgements

The authors would like to thank the staff of Biomechanics Laboratory at Faculty of Physical Education and Sports Science, University of Mazandaran.

## بررسی طول مناسب پد متاتارس روی کاهش پارامترهای مکانیکی زخم پای دیابتی در حین راه رفتن

ابراهیم عبدی<sup>۱</sup>، منصور اسلامی<sup>۲</sup>، محمد تقی پور<sup>۳</sup>، علی بختیاری<sup>۴</sup>

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران.
۲. گروه بیومکانیک ورزشی و رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران.
۳. گروه فیزیوتراپی مرکز تحقیقات اختلال حرکت، دانشگاه علوم پزشکی بابل، مازندران، ایران.
۴. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

### حکیده

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۰۵ شهریور ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش: ۱۲ آبان ۱۳۹۷

تاریخ انتشار: ۱۰ آذر ۱۳۹۷

**هدف:** مطالعات، بهترین استراتژی برای کاهش اوج فشار در زیر سر متاتارس‌ها را افزایش سطح با پد متاتارس گزارش کرده‌اند. اما هیچ اطلاعاتی در رابطه با طول مناسب پد متاتارس، در دسترس نیست. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی طول مناسب پد متاتارس روی پارامترهای فشار کف پای بیماران دیابتی در حین راه رفتن است.

**روش‌ها:** در این پژوهش از ۱۵ بیمار با میانگین سنی  $63/3 \pm 2/01$  استفاده شد. همچنین از پدهای ۱، ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ در صد طول کف پا بهره برده شد. بیماران با پوشیدن این پدها در پنج کوشش جداگانه از روی فوت‌اسکن RS-scan عبور کردند و ثبت داده صورت گرفت و با تحلیل واریانس با داده‌های مکرر، داده‌ها تجزیه و تحلیل آماری شدند.

**یافته‌ها:** اوج فشار به صورت معنی‌دار با افزایش طول پد متاتارس در نواحی متاتارس‌های ۱، ۳ و ۴ کاهش یافت ( $P=0/001$ ). در مناطق متاتارس‌های ۲ و ۵ اختلافی از نظر آمار مشاهده نشد ( $P=0/005$ ). در پارامتر دوم (اوج زمان اعمال فشار) اختلاف بین پوشش‌ها در همه متاتارس‌ها معنی‌دار مشاهده شد ( $P=0/001$ ). اما نوع معنی‌داری (افزایشی یا کاهش) در بین نوع پد و ناحیه متاتارس متفاوت بود. در متاتارس‌های ۱ و ۲ در پد ۱۸ و ۲۰ درصد، زمان اعمال فشار کاهش و در طول پدهای ۲۳ و ۲۵ درصد، افزایش مشاهده شد، اما در متاتارس‌های ۳، ۴ و ۵ در پد ۱۸ درصد زمان اعمال فشار، افزایش و در پدهای ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد، کاهش اوج زمان اعمال فشار مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** با افزایش طول پد، اوج فشار در مناطق متاتارس‌ها کاهش پیدا می‌کند، اما اثر طول پد روی زمان اعمال فشار به ناحیه متاتارس و طول پد بستگی دارد. طول پد نسبت به اندازه پا قدمی رو به جلو برای طراحی کفی مناسب است. ما پد متاتارس ۲۳ درصد طول پا را به عنوان طول مناسب پد برای طراحی کفی پیشنهاد می‌کنیم.

### کلیدواژه‌ها:

بیماران دیابتی، اوج فشار، زمان اعمال فشار و پد متاتارس

### مقدمه

ایرانی ناشی از مشکلات پاست [۴، ۳]. به‌طور میانگین سالیانه بیش از یک میلیون قطع عضو در دنیا اتفاق می‌افتد، که بیش از نیمی از موارد قطع عضو به دلیل عوامل غیرضربه‌ای است، که ۸۰ درصد آن را زخم پای دیابتی به خود اختصاص داده است [۶، ۵].

افزایش موضعی فشار و زمان اعمال فشار در کف پا، مهم‌ترین مکانیسم خطر مکانیکی زخم پای غیرضربه‌ای بیماران دیابتی است [۶، ۵]. در بیماران دیابتی، محدودبودن تحرک مفاصل میچ و زانو منجر به کاهش مکانیسم جذب شوک در این مفاصل می‌شود [۷]. در این صورت بیماران دیابتی نمی‌توانند نیروهای عکس‌العمل زمین را به‌صورت نرمال در سطح بیشتری از پا توزیع کنند و این منجر به افزایش فشار در منطقه‌ای از پا در

شیوع بیماری دیابت در دنیا به‌صورت جدی افزایش پیدا کرده است، به‌طوری‌که در ایران ۱۰ درصد مردم به دیابت مبتلا هستند [۱]. در آمارگیری سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۰۳ آمار مبتلایان به بیماری دیابت ۱۹۴ میلیون نفر بود و پیش‌بینی شده بود در سال ۲۰۳۰ به ۳۶۶ میلیون نفر در جهان برسد، اما در آمارگیری ۲۰۱۰ این رقم به ۳۷۴ میلیون نفر در دنیا افزایش یافته است [۲، ۱]. مشکل اساسی بیماران دیابتی، اختلالاتی مثل عفونت و زخم‌شدن پاهاست، که در آخر منجر به قطع عضو می‌شود. طبق مطالعات ۲۰ درصد موارد بستری بیماران دیابتی

\* نویسنده مسئول:

دکتر محمد تقی پور

نشانی: بابل، دانشگاه علوم پزشکی، گروه فیزیوتراپی، مرکز تحقیقات اختلال حرکت.

تلفن: ۶۸۹۹۳۵۲ (۹۱۲) ۰۹۸+

پست الکترونیکی: taghipourm@yahoo.com

بین سر متاتارس‌ها با زمین افزایش پیدا کند، که در نهایت منجر به کاهش فشار در ناحیه سر متاتارس‌ها می‌شود [۲۱].

با توجه به مطالعات یادشده، استفاده از پد متاتارس منجر به کاهش اوج فشار در مناطق سر متاتارس‌ها می‌شود، اما هیچ اطلاعاتی در رابطه با طول مناسب پد متاتارس در مطالعات یافت نشد. از آنجایی که کمیت‌بخشیدن به پد و مشخص کردن طول مناسب پد متاتارس نسبت به طول واقعی کف پا می‌تواند راه‌حل مناسبی برای طراحی کفی برای بیماران دیابتی باشد، تصمیم گرفتیم در پژوهش حاضر با روش نسبت‌گیری طول پد متاتارس نسبت به طول واقعی کف پا، اثر طول مناسب پد متاتارس را روی کاهش پارامترهای فشار کف پای (اوج فشار و اوج زمان اعمال فشار) بررسی کنیم.

### روش‌شناسی

در پژوهش حاضر، ۱۵ نفر مرد مبتلا به دیابت نوع دوم با میانگین سنی  $63/3 \pm 2/01$  از بین جامعه دو هزار نفری بیماران دیابتی شهرستان بابلسر با بررسی پروند پزشکی به‌صورت هدفمند انتخاب‌شده‌اند. شرایط ورود به آزمون عدم سابقه جراحی، شکستگی، سوختگی، آسیب جدی در اندام تحتانی به‌خصوص پا و مچ پا، عدم استفاده از اندام مصنوعی در ران، زانو و مچ پا و نداشتن ناهنجاری‌های اسکلتی در اندام تحتانی بود و آزمودنی‌ها بایستی راه‌رفتن نسبتاً طبیعی و توانایی انجام آزمون با شرایط پوشش‌های متفاوت را می‌داشتند. دستگاه فوت‌اسکن (مدل RS-scan) ساخت کشور بلژیک به ابعاد  $(1 \times 0/4)$  متر و سرعت دیتابرداری ۵۰ فرم در ثانیه (هرتز)، برای اندازه‌گیری فشار کف پا و الگوی توزیع فشار مورد استفاده قرار گرفت. پدهای دست‌ساز با طول ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد طول کف پا مورد استفاده قرار گرفت. در تصویر شماره ۱ محیط نرم‌افزاری سیستم RS-scan و انواع پدها را نشان داده شده است.

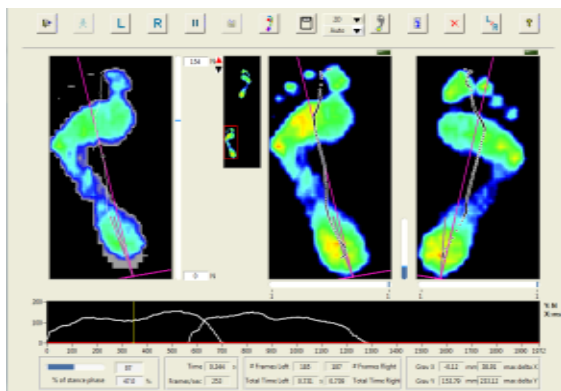
در پژوهش حاضر، برای ساخت پد، مواد و ساختار هندسه‌ای بین همه پدها یکسان گرفته شد. همچنین عرض پد در وسط

هنگام راه‌رفتن می‌شود. همچنین پیوسته‌بودن راه‌رفتن باعث تکرارپذیری اوج فشار در یک منطقه از پا می‌شود که در نهایت منجر به ایجاد پینه و زخم پا می‌شود. همچنین به دلیل خم‌بودن زانوی بیماران دیابتی در مرحله تولید نیرو (مرحله جداشدن پا از زمین)، نیروی تولیدی در مچ پا به‌خوبی به اندام‌های بالایی انتقال داده نمی‌شود و این موجب افزایش زمان اعمال فشار، ضربه و در آخر زخم در ناحیه قدام پا خواهد شد [۸].

تحقیقات نشان داده است بیشترین شیوع زخم پا در مناطق متاتارس‌های بیماران دیابتی است [۹-۱۸]. از آنجایی که اوج فشار و زمان اعمال فشار ارتباط زیادی با ایجاد زخم در کف پای بیماران دارند. بهترین استراتژی برای کاهش اوج فشار در مناطق متاتارس‌ها افزایش سطح تماس است که برای افزایش سطح تماس و کاهش اوج فشار از پد متاتارس در مناطق متاتارس‌ها استفاده می‌شود [۱۹-۲۲].

تحقیقات نشان داده است که پد متاتارس به علت اینکه فشار را در ناحیه پرخطر سر متاتارس‌ها کاهش مدهد، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. مولر و همکاران، گزارش کردند استفاده پد متاتارس<sup>۱</sup> باعث کاهش قابل توجه اوج فشار در سر متاتارس‌های کف پا می‌شود [۱۹]. مری و همکاران، پژوهشی با موضوع اثر نحوه قرارگیری پد متاتارس روی فشار کف پای در زیر کف پای بیمار دیابتی با نوروپاتی انجام دادند. نتیجه پژوهش نشان داد اوج فشار متاتارس‌ها، زمانی که پد متاتارس بین ۶ تا ۱۱ میلی‌متر نزدیک سر متاتارس می‌شود، کاهش پیدا می‌کند و زمانی که بیشتر یا کمتر از این دامنه باشد اوج فشار در سر متاتارس‌ها کاهش کمتری می‌یابد [۲۰]. کوئناد و همکاران، پژوهشی را با موضوع اثر پد متاتارس روی کینماتیک جلوی پا<sup>۲</sup> در هنگام راه‌رفتن انجام دادند و گزارش کردند که پد متاتارس باعث افزایش عرض ناحیه متاتارس می‌شود و همچنین باعث می‌شود فاصله

1. Metatarsal pad
2. Fore foot



تصویر ۱. محیط نرم‌افزار گیت فوت‌اسکن و پدها

جدول ۱. طول پد به درصد طول کف پا و به سانتی متر

شماره کفش	میانگین طول کف پا بین ۱۰ نفر به سانتی متر تبدیل به درصد	تبدیل درصد متغیر طول پد متاتارس به سانتی متر
۴۱	۲۴/۵=۱۰۰	۲۴/۵×۱۸=۴/۴۱
		۲۴/۵×۲۰=۴/۹
		۲۴/۵×۲۳=۵/۸
		۲۴/۵×۲۵=۶/۱
۴۲	۲۶=۱۰۰	۲۶×۱۸=۴/۶
		۲۶×۲۰=۵/۲
		۲۶×۲۳=۵/۹۸
		۲۶×۲۵=۶/۷۵
۴۳	۲۷=۱۰۰	۲۷×۱۸=۴/۸۶
		۲۷×۲۰=۵/۴
		۲۷×۲۳=۶/۲۱
		۲۷×۲۵=۷/۲۹

## مجله بیومکانیک ورزشی

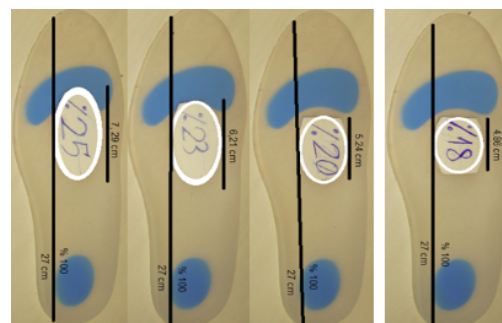
برای سه شماره ۴۱، ۴۲ و ۴۳ چهار پد به طول ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد ساخته شد. برای به دست آوردن طول کلی پا به سانتی متر، از ۳۰ دانشجوی دانشگاه مازندران کمک گرفته شد، ابتدا ۱۰ نفر که شماره کفش ۴۱ داشتند به صورت هدفمند انتخاب شدند و طول کلی پای آن‌ها مشخص شد که میانگین طول کل پا برای افراد که شماره کفش ۴۱ داشتند ۲۴/۵ سانتی متر بود. سپس طول‌های ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد طول کلی پا (۲۴/۵ سانتی متر) مشخص شد. برای شماره‌های کفش ۴۲ و ۴۳ هم همین کار تکرار شد و برای هر کدام از ۱۰ نفر طول پا اندازه‌گیری شد و طول‌های ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد برای هر یک از شماره‌ها مشخص و ساخته شد. **جدول شماره ۱** به صورت کلی طول پدها را به سانتی متر و درصد نشان می‌دهد. **تصویر شماره ۲** نشان دهنده کفی سیلیکونی ساخت کشور ایتالیا و کفی پرتو ساخت ایران را نشان می‌دهد.

چهار سانتی متر و به طرف سر متاتارس‌ها دو سانتی متر و به طرف پاشنه یک سانتی متر برای همه پدها با درصد‌های مختلف در نظر گرفته شد. با الگوبرداری از پژوهش گلدموند و همکاران، ارتفاع برای همه پدها پنج میلی متر در نظر گرفته شد [۲]. طول پدها با درصد‌های ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد طول پا در سه شماره کفش ۴۱، ۴۲ و ۴۳ ساخته شد. در ساخت پدها، اول از همه، پدهایی که در حال حاضر در کفی‌ها مورد استفاده است، شناسایی شد. به طوری که در کفی سیلیکونی ساخت کشور ایتالیا برای شماره کفش ۴۳، طول کل کفی ۲۹ سانتی متر بود و ۱۰۰ درصد کفی را شامل می‌شد و طول پد متاتارس در کفی شش سانتی متر بود، که ۲۰ درصد طول کل کفی را شامل می‌شد (**تصویر شماره ۲** "الف"). طول کفی پرتو ساخته شده ایران ۲۹ سانتی متر بود که پد متاتارس به طول ۵/۵۱ سانتی متر، ۱۹ درصد کل کفی پرتو ایرانی را شامل می‌شد (**تصویر شماره ۲** "ب"). با همین روش

ب)



الف)



## مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۲. الف) کفی سیلیکونی ساخت ایتالیا، ب) کفی پرتو ساخت ایران

سیستم فوت اسکن، سرعت راه رفتن بیمار را تنظیم می‌شد. کل آزمون از پنج کوشش و با پنج پوشش متفاوت راه رفتن، تشکیل شده بود؛ ابتدا بیمار با پای برهنه، سپس با پدها راه می‌رفت و از روی دستگاه فوت اسکن عبور می‌کرد؛ به طوری که پای چپ و راست با دستگاه تماس پیدا می‌کرد (پدها در پای راست قرار گرفته بود) و کل مسیر را تا انتها می‌پیمود [۱۳].

**تصویر شماره ۳** چگونگی قرارگیری پدها را در کف پا نشان می‌دهد. هر یک از آزمودنی‌ها برای اینکه به درستی پایشان با صفحه فوت اسکن تماس پیدا کند، چند بار به صورت تمرینی از روی فوت اسکن راه می‌رفتند و نحوه راه رفتن خود را برای اینکه یک راه رفتن طبیعی باشد، تنظیم می‌کردند. سرعت راه رفتن آزمودنی به صورت کنترلی بود به صورتی که سعی می‌کردیم هر آزمودنی بین آزمون‌ها سرعت یکسانی داشته باشد و سرعت راه رفتن بین آزمون‌ها با اولین ترابلی آزمودنی که با سرعت ترجیحی حرکت می‌کرد، تنظیم می‌شد، تا سرعت راه رفتن در همه ترابلی‌ها یکسان باشد. دلیل اینکه چرا سرعت کنترلی برای همه یکسان گرفته نشد، این بود که، تحقیقات نشان داده بود وقتی آزمودنی را مجبور می‌کنیم با سرعت کنترلی راه برود، منجر به راه رفتن غیرطبیعی می‌شود در این صورت توزیع فشار و الگوی جابه‌جایی مرکز فشار تغییر می‌کند [۱۴]. از هر آزمودنی برای هر شرایط پوشش، سه کوشش صحیح و قابل قبول جمع‌آوری شد و میانگین این سه کوشش به عنوان اطلاعات مربوط به هر آزمودنی ثبت شد.

از نسخه ۲۰ نرم‌افزار SPSS جهت بررسی آماری استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک، از آزمون پارامتریکی تحلیل واریانس داده‌های مکرر جهت بررسی فرضیه تحقیق استفاده شد. اختلاف معنی‌داری آماری در سطح  $P \leq 0.05$  تعیین و مقدار  $P$  برابر یا کمتر از  $0.05$  به معنای رد فرض صفر در نظر گرفته شد.

## نتایج

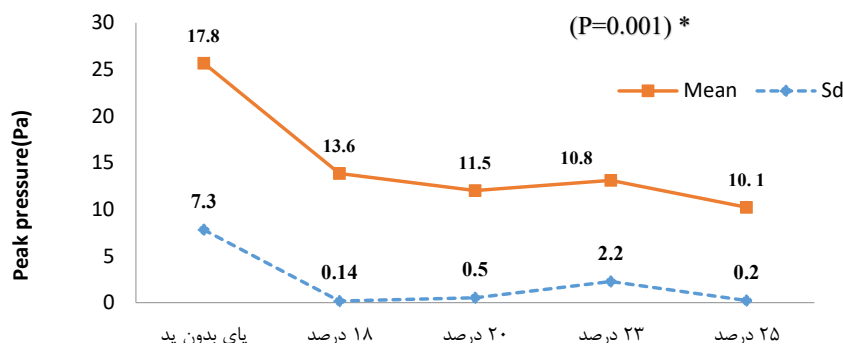
با توجه به نتایج گزارش شده در **تصویر شماره ۴** و آزمون تحلیل



تصویر ۳. نحوه قرارگیری پد در کف پا

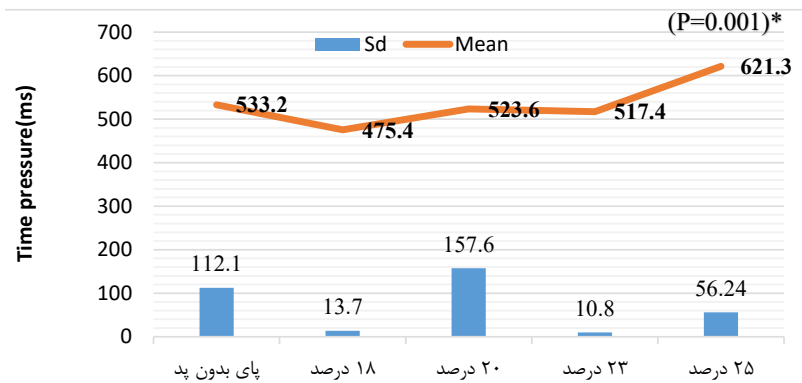
متغیرهای آزمون شامل حداکثر فشار کف پای و اوج زمان اعمال فشار در ۱۰ منطقه پا (پاشنه، میانه، متاتارس‌ها و انگشت شست) توسط دستگاه فوت اسکن (RS) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. از بین مناطق پا با توجه به هدف پژوهش، اوج فشار و زمان اعمال فشار، توسط نرم‌افزار گیت سیستم فوت اسکن در سر پنج متاتارس کف پا اندازه‌گیری و برای تحلیل آماری آماده شد.

این پژوهش در آزمایشگاه تحقیقاتی بیومکانیک ورزشی دانشگاه مازندران انجام شد. آزمودنی‌ها پس از انجام معاینات لازم و بررسی پرونده پزشکی توسط محقق به صورت هدفمند شناسایی و به آزمایشگاه دعوت شدند. ویژگی‌های آنترپومتریکی پای آزمودنی‌ها پس از آشنایی با نحوه کار و آزمون و اعلام رضایت و پرکردن فرم رضایت‌نامه، اندازه‌گیری شد. یک مسیر ۱۲ متری مستقیم انتخاب شد و دستگاه فوت اسکن به صورت طولی در فاصله ۱۰ متری مسیر قرار گرفت. آزمودنی‌ها می‌بایست از ابتدای مسیر با سرعت اختیاری و ترجیحی راه رفتن خود را شروع کرده و تا اتمام آزمون این سرعت را حفظ می‌کردند، برای اینکه سرعت آزمودنی‌ها در طول آزمون متغیر نباشد، به وسیله فرم‌های فاز اتکای راه رفتن در



## مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۴. شاخص‌های توصیفی میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) اوج فشار (پاسکال) را در پنج شرایط پوشش راه رفتن و همچنین (\*) اختلاف معنی‌داری درون گروهی بین پوشش‌ها را در متاتارس ۱ نشان می‌دهند.



### مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۵. شاخص‌های توصیفی میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD)، اوج زمان اعمال فشار (میلی ثانیه) را در ۵ شرایط پوشش راه رفتن و همچنین (\*) اختلاف معنی‌داری درون گروهی بین پوشش‌ها را در متاتارس ۱ نشان می‌دهند.

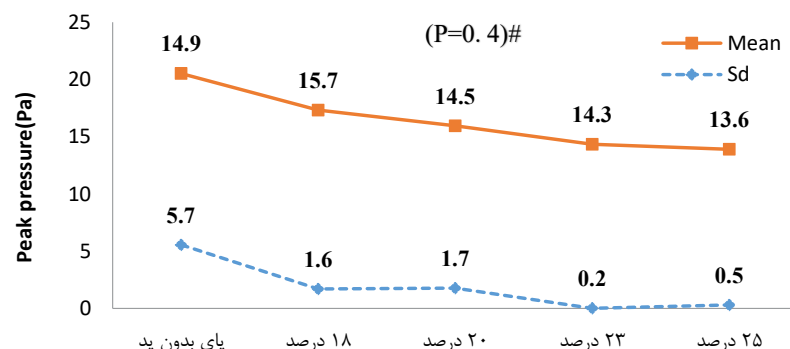
۲ و ۳ درصد کاهش را نشان دادند؛ اما پد متاتارس ۲۵ درصد، باعث افزایش ۱۶ درصد اوج زمان اعمال فشار شد.

نتایج گزارش شده در تصویر شماره ۶ و آزمون تحلیل واریانس اندازه‌های مکرر یک‌طرفه نشان می‌دهد با افزایش طول پد تغییرات چشمگیری در اوج فشار در منطقه سر متاتارس ۲ صورت نگرفت و اختلاف بین پوشش‌ها معنی‌دار نبود ( $P=0/004$ ). با وجود معنی‌دار نبودن اختلاف بین پدها و پای برهنه در سر متاتارس ۲ شاخص‌های توصیفی با افزایش طول پد، کاهش اوج فشار را در تصویر شماره ۶ نشان می‌دهند. اما در پارامتر وابسته دوم (زمان اعمال فشار) بین پوشش‌ها اختلاف معنی‌داری اثبات شد ( $P=0/002$ ). با بررسی شاخص‌های توصیفی که در تصویر شماره ۷ نشان داده شده است، پدهای ۱۸ و ۲۰ درصد به ترتیب منجر به کاهش ۳ و ۱۱ درصدی اوج زمان اعمال فشار شده‌اند، اما در پدهای ۲۳ و ۲۵ درصد در متاتارس ۲ به ترتیب افزایش اوج زمان اعمال فشار ۳ و ۱۱ درصد بود.

با توجه نتایج گزارش شده در تصویر شماره ۸، با افزایش طول پد، تغییرات چشمگیری در اوج فشار در منطقه سر متاتارس ۳ در

واریانس اندازه‌های مکرر یک‌طرفه اوج فشار با افزایش طول پد در منطقه متاتارس ۱ کاهش چشمگیری دارد؛ به طوری که تحلیل واریانس یک‌طرفه با اندازه‌های مکرر اختلاف درون گروهی بین پوشش‌ها را با  $P=0/001$  گزارش کرد. همچنین با بررسی شاخص‌های توصیفی، در پد ۱۸ درصد منجر به اوج فشار، ۲۴ درصد کاهش و همچنین در پدهای ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب در پارامتر اوج فشار، ۳۶، ۴۰ و ۴۳ درصد کاهش مشاهده شد. تصویر شماره ۴ مقایسه میانگین و انحراف معیار اوج فشار و همچنین معنی‌داری تحلیل واریانس اندازه‌های مکرر را در کوشش‌های مختلف در منطقه سر متاتارس ۱ نشان می‌دهد.

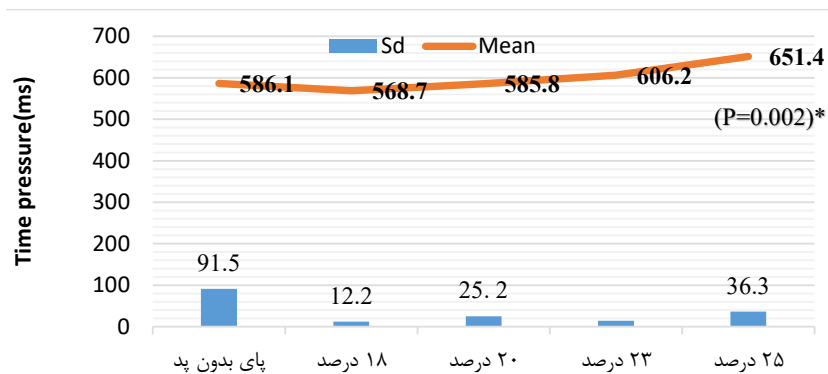
بررسی زمان اعمال فشار (پارامتر وابسته دوم) در سر متاتارس اول نشان می‌دهد که در اوج زمان اعمال فشار بین پدها و پای بدون پد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (تصویر شماره ۵) که با آزمون آنووا یک‌طرفه اندازه‌های مکرر ( $P=0/001$ ) مشاهده شد. بررسی شاخص‌های توصیفی نشان داد پد ۱۸ درصد، منجر به کاهش ۱۱ درصدی در اوج زمان اعمال فشار شد و همچنین پدهای ۲۰ و ۲۳ درصد به ترتیب در پارامتر اوج زمان اعمال فشار،



### مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۶. شاخص‌های توصیفی، میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) اوج فشار (باسکال) را در ۵ شرایط پوشش راه رفتن در ناحیه متاتارس ۲ و همچنین (\*) اختلاف معنی‌داری و (#) اختلاف نداشتن آماری درون گروهی بین پوشش‌ها را می‌دهند.





## مجله بیومکانیک ورزشی

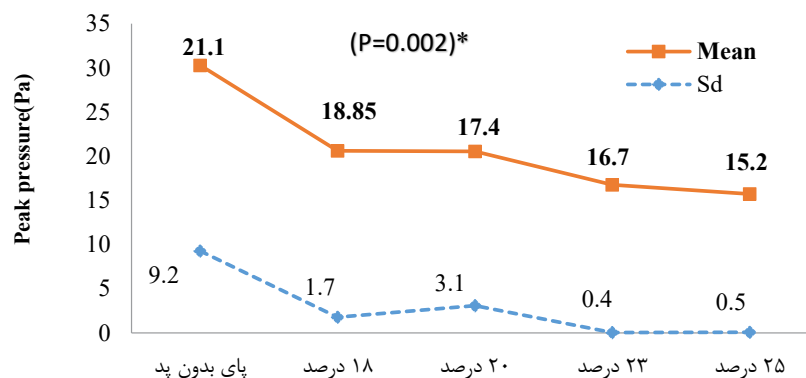
تصویر ۷. شاخص‌های توصیفی، میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) زمان اعمال فشار (میلی ثانیه) را در پنج شرایط پوشش راه رفتن در ناحیه متاتارس ۲ و همچنین (\*) اختلاف معنی داری و (#) اختلاف نداشتن آماری درون گروهی بین پوشش‌ها را نشان می‌دهند.

کاهش اوج فشار ۶، ۲۳ و ۲۳ درصدی در ناحیه متاتارس ۴ کف پا شد. در پارامتر دوم (زمان اعمال فشار) بین پوشش‌ها اختلاف با معنی داری چشمگیری مشاهده شد ( $P=0/001$ ). آزمون آماری نشان داد که تغییرات طول پد بر روی زمان اعمال فشار در ناحیه متاتارس ۴ اثر دارد. به طوری که در پد ۱۸ درصد افزایش ۱۱ درصدی و در پدهای ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب کاهش ۲، ۲ و ۶ درصدی نسبت به شرایط کنترل (پای بدون پد) در متاتارس ۴ مشاهده شد. تصویر شماره ۱۱ شاخص‌های توصیفی زمان اعمال فشار را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج گزارش شده در تصویر شمار ۱۲ با افزایش طول پد تغییرات در اوج فشار در منطقه سر متاتارس ۵ در بین پوشش‌های پا، اختلاف چشمگیری مشاهده نشد ( $P=0/05$ ). اما در مجموع، شاخص‌های توصیفی در تصویر شمار ۱۲ نشان می‌دهد که در متاتارس ۵ نیز مثل متاتارس‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ افزایش طول پد متاتارس منجر به کاهش اوج فشار می‌شود. در پارامتر وابسته دوم تحقیق (زمان اعمال فشار) از نظر

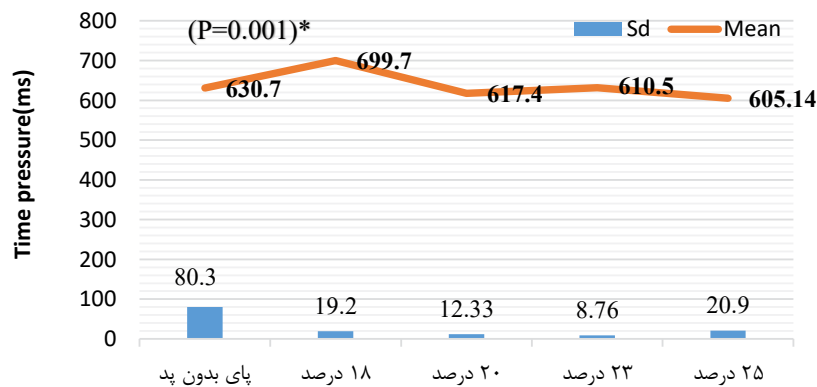
بین پوشش‌های پا صورت می‌گیرد ( $P=0/002$ ). همچنین تصویر شماره ۸ و شاخص‌های توصیفی اوج فشار در بین پوشش‌های پا نشان می‌دهد که پد ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب باعث کاهش اوج فشار ۱۱، ۱۸، ۲۱ و ۲۸ درصدی در ناحیه متاتارس ۳ کف پا می‌شوند. همچنین در پارامتر وابسته دوم (زمان اعمال فشار) بین پوشش‌ها اختلاف با معنی داری بالا مشاهده شد ( $P=0/001$ ). شاخص‌های توصیفی آزمون آماری نشان داد که تغییرات طول پد بر روی زمان اعمال فشار در ناحیه متاتارس ۳ اثر دارد. به طوری که در پد ۱۸ درصد افزایش ۱۰ درصدی و در پدهای ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب کاهش ۳، ۴ و ۵ درصدی نسبت به شرایط کنترل (پای بدون پد) مشاهده شد. تصویر شماره ۹ شاخص‌های توصیفی زمان اعمال فشار را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج آماری گزارش شده در تصویر شماره ۱۰ با افزایش طول پد تغییرات چشمگیری در اوج فشار در منطقه سر متاتارس ۴ در بین پوشش‌های پا مشاهده شد ( $P=0/001$ ), به طوری که در پدهای ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب باعث



## مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۸. شاخص‌های توصیفی، میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) اوج فشار (پاسکال) را در پنج شرایط پوشش راه رفتن در ناحیه متاتارس ۳ و همچنین (\*) اختلاف معنی داری و (#) اختلاف نداشتن آماری درون گروهی بین پوشش‌ها را نشان می‌دهند.



### مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۹. شاخص‌های توصیفی میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) زمان اعمال فشار (میلی ثانیه) را در پنج شرایط پوشش راه رفتن در ناحیه متاتارس ۳ و همچنین (#) اختلاف معنی داری و (\*) اختلاف نداشتن آماری درون گروهی بین پوشش‌ها را نشان می‌دهند.

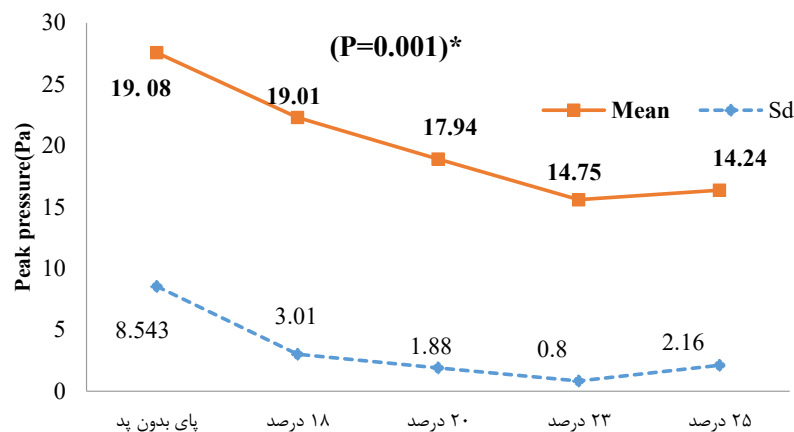
پدهای ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد، اوج فشار نسبت به شرایط کنترل (پای بدون پد) ۲۴، ۳۶، ۴۰ و ۴۳ درصد کاهش پیدا کرد. در متاتارس ۳ به ترتیب در پدهای ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد اوج فشار نسبت به شرایط کنترل (پای بدون پد) ۱۱، ۱۸، ۲۱ و ۲۸ درصد کاهش پیدا کرد. همچنین در متاتارس ۴ به ترتیب در پدهای ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد، اوج فشار نسبت به شرایط کنترل (پای بدون پد) صفر، ۶، ۲۳ و ۲۳ درصد کاهش پیدا کرد. در مناطق متاتارس‌های ۲ و ۵ اختلافی از نظر آمار مشاهده نشد، اما شاخص‌ها توصیفی نشان‌دهنده کاهش اوج فشار با افزایش طول پد در این مناطق بودند.

در پارامتر دوم (اوج زمان اعمال فشار)، اختلاف بین پوشش‌ها در همه متاتارس‌ها معنی دار بود. اما نوع معنی داری (افزایشی یا کاهش) در بین نوع پد و ناحیه متاتارس متفاوت بود. به طوری که، در متاتارس ۱ پدهای ۱۸ و ۲۰ به ترتیب منجر به کاهش ۱۱، ۲ و ۳ درصدی در اوج زمان اعمال فشار شدند. اما پد متاتارس ۲۵ باعث افزایش ۱۶ درصدی اوج زمان اعمال فشار نسبت به شرایط کنترل شد. در متاتارس ۲ پدهای ۱۸ و ۲۰ درصد به

تحلیل آماری اختلاف بین پوشش‌ها معنی دار بود ( $P=0.001$ ). به طوری که بررسی شاخص‌های توصیفی زمان اعمال فشار در ناحیه متاتارس ۵ نشان داد پدهای ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب منجر به افزایش ۱۶، ۸، ۶ و صفر درصدی زمان اعمال فشار نسبت به شرایط کنترل شده‌اند. این نتیجه بدین معنی است که، برخلاف متاتارس ۱ و ۲ که با افزایش طول پد متاتارس زمان اعمال فشار تغییرات افزایشی را نشان می‌داد، در متاتارس ۵ مثل متاتارس‌های ۴ و ۳ با افزایش طول پد زمان اعمال فشار کاهش پیدا می‌کند. تصویر شماره ۱۳ شاخص‌های توصیفی و معنی داری زمان اعمال فشار را در پوشش‌های مختلف پا نشان می‌دهد.

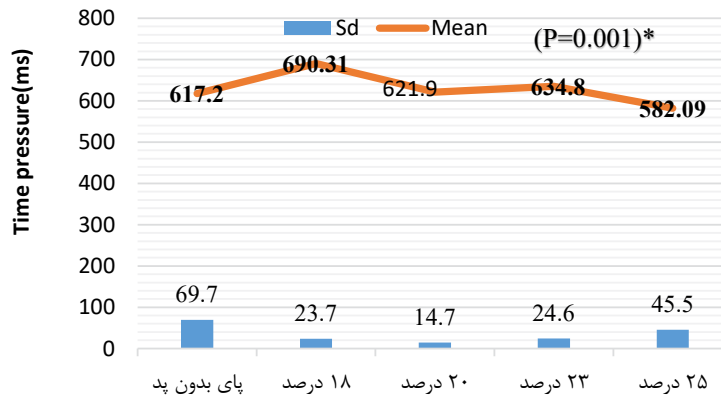
### بحث

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر طول مناسب پد متاتارس بر روی کاهش پارامترهای مکانیکی زخم پای دیابتی در حین راه رفتن بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که، اوج فشار به صورت معنی دار با افزایش طول پد متاتارس در نواحی متاتارس‌های ۱، ۳ و ۴ کاهش یافت، به طوری که در متاتارس ۱ به ترتیب در



### مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۱۰. شاخص‌های توصیفی میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) اوج فشار (پاسکال) را در پنج شرایط پوشش راه رفتن در ناحیه متاتارس ۴ و همچنین (\*) اختلاف معنی داری و (#) اختلاف نداشتن آماری درون گروهی بین پوشش‌ها را نشان می‌دهند.



#### مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۱۱. شاخص‌های توصیفی میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) زمان اعمال فشار (میلی‌ثانیه) را در پنج شرایط پوشش راه‌رفتن در ناحیه متاتارس ۴ و همچنین (\*) اختلاف معنی‌داری و (#) اختلاف نداشتن آماری درون‌گروهی بین پوشش‌ها را نشان می‌دهند.

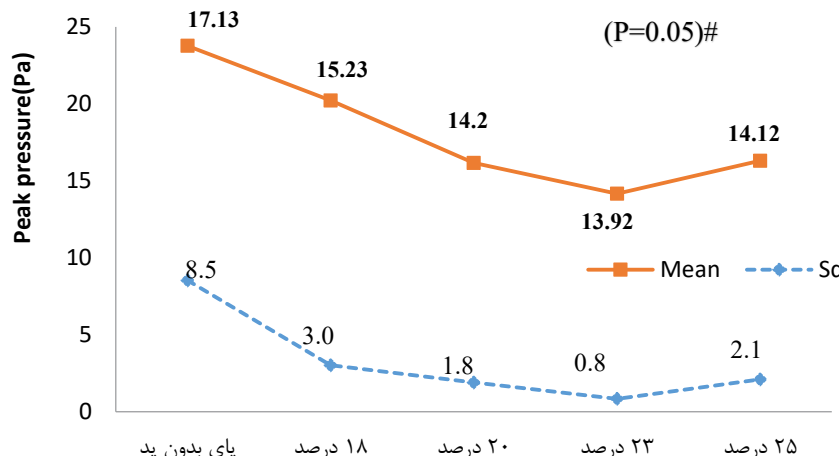
فشار در متاتارس‌ها با اعمال پدها تغییر کرد. برای بحث بر روی این تغییر اوج فشار می‌توان گفت، که توزیع فشار کف پا به توزیع نیرو و سطحی که نیرو بر آن اعمال می‌شود بستگی دارد، پس طبیعی است که وقتی سطح زیر اندام تغییر می‌کند توزیع فشار نیز تغییر خواهد کرد. زمانی که پدها با درصد‌های طول مختلف در پا قرار می‌گیرند، طبیعتاً با افزایش سطح، اوج فشار کاهش می‌یابد. زیرا استفاده پد متاتارس باعث افزایش سطح تماس در ناحیه متاتارس می‌شود، که این عامل باعث کاهش اوج فشار در این مناطق شده است. کاهش اوج فشار در مناطق متاتارس یکی از مزیت‌های مهم استفاده پد است.

اوج زمان اعمال فشار دومین متغیر مهم در ایجاد زخم پای دیابتی است که در ادبیات تحقیق شناخته شده است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با اعمال پد در ناحیه زیر متاتارس‌ها اوج زمان اعمال فشار دستخوش تغییرات شد. برخلاف اوج فشار که با افزایش طول پد متاتارس به صورت کلی در سر متاتارس‌ها

ترتیب منجر به کاهش ۳ و ۱۱ درصدی اوج زمان اعمال فشار شد و همچنین در پدهای ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب افزایش ۳ و ۱۱ درصدی اوج زمان اعمال فشار نسبت به شرایط کنترل مشاهده شد. در متاتارس ۳، پد ۱۸ درصد منجر به افزایش ۱۰ درصدی زمان اعمال فشار شد و در پدهای ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب کاهش ۳، ۴ و ۵ درصدی در زمان اعمال فشار نسبت به شرایط کنترل (پای بدون پد) مشاهده شد.

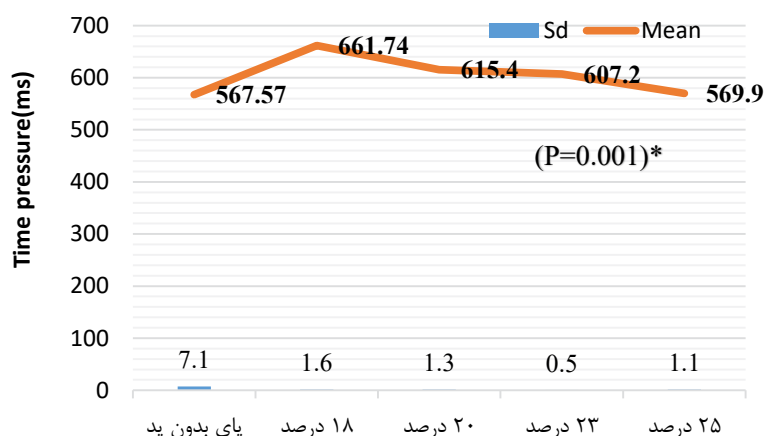
در متاتارس ۴، پد ۱۸ درصد منجر به افزایش ۱۱ درصدی زمان اعمال فشار شد و در پدهای ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب کاهش ۲، ۲ و ۶ درصدی نسبت به شرایط کنترل (پای بدون پد) در متاتارس ۴ مشاهده شد. در ناحیه متاتارس ۵، پدهای ۱۸، ۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد به ترتیب منجر به افزایش ۱۶، ۸، ۶ و ۱۸ درصدی زمان اعمال فشار نسبت به شرایط کنترل شده‌اند.

با توجه به نتایج تحقیق، الگوی توزیع فشار کف پا و زمان اعمال



#### مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۱۲. شاخص‌های توصیفی میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) اوج فشار (پاسکال) را در پنج شرایط پوشش راه‌رفتن در ناحیه متاتارس ۵ و همچنین (\*) اختلاف معنی‌داری و (#) اختلاف نداشتن آماری درون‌گروهی بین پوشش‌ها را نشان می‌دهند.



### مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۱۳. شاخص‌های توصیفی میانگین (Mean) و انحراف معیار (SD) زمان اعمال فشار (میلی ثانیه) را در پنج شرایط پوشش راه رفتن در ناحیه متاتارس ۵ و همچنین (\*) اختلاف معنی داری و (#) اختلاف نداشتن آماری درون گروهی بین پوشش‌ها را نشان می‌دهند.

در فاز ایستایش میانه برای توزیع فشار گزارش شده است [۲۳] [۱۷]. در مرحله جداسدن پا از زمین، استراتژی پا از پرونیشن (جذب شوک و توزیع فشار) به استراتژی سوپینیشن (تولید نیرو و انتقال) از بخش بیرونی پا به بخش داخلی پا (متاتارس‌های ۱ و ۲ در آخر به انگشت شست) تغییر می‌کند.

به نظر می‌رسد، اعمال پد به پا می‌تواند فاصله زمانی این استراتژی‌ها را تغییر دهد و بر روی زمان اعمال فشار تأثیر بگذارد و همچنین در فاز جداسدن پنجه از زمین در فاز راه رفتن، استراتژی مفصلی پا بر روی تولید نیرو است و بایستی مفصل با یک سفتی بالا این کار را انجام دهند تا نیروی فعال تولیدی عضلات را به زمین انتقال و دوباره از عکس‌العمل این نیرو برای انتقال بدن به جلو استفاده کند [۲۳، ۱۷]. اما با اعمال پد و با وجود خاصیت الاستیکی پد، باعث ایجاد اختلال در استراتژی تولید نیرو و قسمتی از انرژی در قسمت الاستیکی پد جذب می‌شود و فرد زمان بیشتری را در فاز جداسدن پنجه از زمین سپری می‌کند. بنابراین این عوامل می‌تواند موجب افزایش زمان اعمال فشار در مناطق متاتارس‌های ۱ و ۲ شود.

با توجه به نتایج مطالعات، زمان اعمال فشار در مناطق پنجه در بیماران دیابتی نسبت به افراد عادی بیشتر است، زیرا بیماران دیابتی در استراتژی‌های مختلف جذب شوک و تولید نیرو در فازهای راه رفتن مشکل دارند [۷]. بیماران دیابتی به دلیل محدودبودن تحرک‌پذیری مفصلی، توانایی جذب شوک و تعدیل نیرو در فازهایی مثل برخورد پاشنه با زمین را ندارند و حتی به علت پرونیشن محدود در فاز اتکای میانه قابلیت پخش و توزیع فشار را در سطح پا را ندارند [۲۴، ۲۵].

از طرفی در بیماران دیابتی خصوصاً آن‌هایی که دارای اختلال عصبی عضلانی هستند، به دلیل خم‌بودن مفصل زانو در فاز جداسدن پنجه از زمین، تمام نیروی تولیدی از پا به اندام بالایی

کاهش می‌یافت، زمان اعمال فشار در بین انواع پدها و نواحی پا پاسخ متفاوتی را نشان داد. یعنی در متاتارس ۱ و ۲ در پدهای طول کم (۱۸ درصد) اوج زمان اعمال فشار نسبت به شرایط کنترل کاهش می‌یافت، اما با افزایش طول، اوج زمان اعمال فشار افزایش پیدا می‌کرد و در مقابل در متاتارس‌های ۳، ۴ و ۵ مخالف این رویداد اتفاق می‌افتاد، به طوری که در پدهای طول کم، اوج زمان اعمال فشار نسبت به شرایط کنترل افزایش یافت و با افزایش طول پد، اوج زمان اعمال فشار کاهش پیدا می‌کرد. بحث درباره بررسی دلیل افزایش زمان اعمال فشار در مناطق متاتارس‌های ۱ و ۲ در پدهای با درصد طول کم در ادامه مطرح خواهد شد.

به نظر می‌رسد افزایش زمان اعمال فشار ارتباطی با تغییر استراتژی‌های مفصل پا در فاز اتکای راه رفتن داشته باشد. زیرا هر قسمتی از پا وظیفه‌ای را در فاز اتکا دنبال می‌کند. اگر الگوهای راه رفتن، شامل الگوهایی است که عبارت‌انداز: الگوی پاشنه، میانه پا و پنجه<sup>۳</sup>، الگوی میانه پا و پنجه<sup>۴</sup> و الگوی پنجه<sup>۵</sup> [۲۳، ۱۷]. بیشترین الگوی راه رفتن بین مردم الگویی پاشنه میانه پا پنجه است، که در تجزیه و تحلیل کینماتیکی و سینتیکی این الگو، فاز اتکا را به سه فاز کوچک‌تر تقسیم می‌کنند و شامل فاز برخورد پاشنه با زمین<sup>۶</sup>، ایستایش میانه<sup>۷</sup> پا و مرحله جداسدن پنجه<sup>۸</sup> از زمین است [۲۳، ۱۷]. در فاز برخورد پاشنه با زمین، حرکت استئوکینماتیکی پرونیشن در مفصل تالوکرورال (مچ پا) و بیشتر ساق تالار برای جذب شوک و تعدیل نیرو است که اوج پرونیشن

3. Heel contact, mid food & toe off
4. Mid food & toe off
5. Toe
6. Heel contact
7. Mid stance
8. Toe off

استفاده کنیم، به محققان و طراحان کفی پیشنهاد می‌شود با تغییرات تعداد پد زیاد که در کفی اعمال می‌کنند، پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی را در پای بیماران دیابتی ارزیابی کنند.

### نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش مشاهده شده که بیشترین تأثیر پد متاتارس بر روی مناطق ۱، ۳ و ۴ متاتارس‌هاست و همچنین مشاهده شد با افزایش طول پد اوج فشار در مناطق متاتارس‌ها کاهش پیدا می‌کند. بیشترین کاهش فشار در زیر سر متاتارس‌ها با پدهای ۲۳ و ۲۵ درصد طول کف پا مشاهده شد. از آنجایی که با افزایش طول پد زمان اعمال فشار در مناطق متاتارس ۱ و ۲ افزایش پیدا می‌کند، پد ۲۳ درصد طول کف برای کاهش اوج فشار و زمان اعمال فشار در نواحی متاتارس می‌تواند درصد مناسبی نسبت به طول کفی و پا باشد. به طراحان کفی برای بیماران دیابتی پیشنهاد می‌شود از پد متاتارس ۲۳ درصد طول کف پای بیمار برای طراحی کفی استفاده کنند.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همه اصول اخلاقی در این مقاله رعایت شده است. شرکت کنندگان اجازه داشتند هر زمان که مایل بودند از پژوهش خارج شوند. همچنین همه شرکت کنندگان در جریان روند پژوهش بودند. اطلاعات آن‌ها محرمانه نگه داشته شد.

#### حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

#### مشارکت‌نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت داشته‌اند.

#### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

#### تشکر و قدردانی

در پایان مقاله لازم می‌دانیم از همکاری کلیه مسئولین آزمایشگاه بیومکانیک دانشکده تربیت‌بدنی دانشگاه مازندران سپاسگزاری کنیم.

انتقال داده نمی‌شود و در این صورت در مفاصل بیمار ناکارآمدی جریان انرژی به وجود می‌آید، که منجر به انتقال بدن به طرف جلو در زمان بیشتر می‌شود [۲۴، ۲۵].

به علت محدودبودن مفصل متاتارس و فلنژیای اول بعضی از بیماران دیابتی، انگشت اول دامنه حرکتی کمتری را در فاز جداسدن پا از زمین در طی راه‌رفتن دارد و این عامل هم منجر به افزایش زمان اعمال فشار در مناطق قدامی پا می‌شود [۲۴، ۲۵]. محدودیت‌های فوق باعث افزایش اوج فشار و زمان اعمال فشار در نقطه‌ای از پا می‌شود، که در این صورت می‌توان با استراتژی‌های بیرونی مثل طراحی کفی (شیب‌دادن به پا، گودکردن و یا اضافه‌کردن ارتوز در کفی) و کاهش این محدودیت‌ها را تا حدودی جبران کرد. نتایج این پژوهش نشان داد، که برای به‌کارگیری ارتوزی مثل پد متاتارس بایستی توجه ویژه‌ای به کار گرفته شود. زیرا پارامتر طول پد برای ایجاد تغییرات اوج فشار و زمان اعمال فشار در منطقه متاتارس، می‌تواند یک پارامتر مهم و کلیدی در شاخص‌های هندسی طراحی کفی برای بیماران دیابتی باشد.

بر اساس تحقیق برخی از محققان مثل هاید و همکاران، موقعیت قرارگیری پد بر روی اوج فشار زیر متاتارس‌ها اثر دارد و ۵ سانتی‌متر فاصله بین پد و سر استخوان‌های متاتارس مناسب‌ترین جا برای قرارگیری پد است [۲۰]. هیس و همکاران، تأثیر کاهشی پد متاتارس را بر روی اوج فشار زیر سر استخوان متاتارس‌ها گزارش کردند [۲]. طبق تحقیق گلدموند و همکاران، پد متاتارس باعث کاهش اوج فشار در زیر سر استخوان‌های متاتارس می‌شود [۲]. طبق تحقیق مولر و همکاران، پد متاتارس باعث کاهش قابل‌توجه اوج فشار در سر متاتارس‌های کف پا می‌شود [۱۹]. مری و همکاران، به نتیجه رسیدند که اوج فشار زمانی که فاصله پد متاتارس با سر استخوان متاتارس‌ها بین ۶ تا ۱۱ میلی‌متر باشد، کاهش می‌یابد در غیر این صورت افزایش یا کاهش از این مقدار منجر به افزایش اوج فشار می‌شود [۲۰].

کوئتراد و همکاران، پژوهشی را با موضوع اثر پد متاتارس بر روی کینماتیک جلوی پا در هنگام راه‌رفتن انجام دادند و گزارش کردند که پد متاتارس باعث افزایش عرض ناحیه متاتارس و همچنین افزایش فاصله بین سر متاتارس‌ها و زمین می‌شود. در این شرایط سطح افزایش و فشار را ناحیه سر متاتارس کاهش می‌یابد [۲۱]. همچنین چن و همکاران، گزارش کردند که پد متاتارس باعث کاهش فشار در زیر سر متاتارس می‌شود [۲۲].

نتایج مطالعات پیش‌گفته، با نتایج پژوهش حاضر در پارامتر اول (اوج فشار کف‌پایی) همسوست اما در پارامتر دوم (اوج زمان اعمال فشار) هیچ پژوهشی در ادبیات تحقیق که تأثیر طول پد بر روی اوج زمان اعمال فشار را گزارش کنند، مشاهده نشد؛ بنابراین به نظر می‌رسد این پژوهش اولین پژوهش در این زمینه باشد. از آنجایی که به علت نداشتن سیستم فوت‌اسکن داخل کفشی مجبور بودیم برای انجام این پژوهش از سیستم فوت‌اسکن صفحه

## References

- [1] Larijani B, Hasani Ranjbar S. Overview of diabetic foot; novel treatments in diabetic foot ulcer. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2008; 16(Suppl. 1):1-6.
- [2] Guldemond NA, Leffers P, Schaper NC, Sanders AP, Nieman F, Willems P, et al. The effects of insole configurations on forefoot plantar pressure and walking convenience in diabetic patients with neuropathic feet. *Clinical Biomechanics*. 2007; 22(1):81-7. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2006.08.004] [PMID]
- [3] van Schie CH, Rawat F, Boulton AJ. Reduction of plantar pressure using a prototype pressure-relieving dressing. *Diabetes Care*. 2005; 28(9):2236-7. [DOI:10.2337/diacare.28.9.2236] [PMID]
- [4] Rogers LC, Lavery LA, Armstrong DG. The right to bear legs-an amendment to healthcare: How preventing amputations can save billions for the US health-care system. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2008; 98(2):166-8. [DOI:10.7547/0980166] [PMID]
- [5] Ledoux WR, Hillstrom HJ. The distributed plantar vertical force of neutrally aligned and pes planus feet. *Gait & Posture*. 2002; 15(1):1-9. [DOI:10.1016/S0966-6362(01)00165-5]
- [6] Yavuz M. Plantar shear stress distributions in diabetic patients with and without neuropathy. *Clinical Biomechanics*. 2014; 29(2):223-9. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2013.11.003] [PMID] [PMCID]
- [7] Ko SU, Stenholm S, Chia CW, Simonsick EM, Ferrucci L. Gait pattern alterations in older adults associated with type 2 diabetes in the absence of peripheral neuropathy-results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Gait & Posture*. 2011; 34(4):548-52. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2011.07.014] [PMID] [PMCID]
- [8] Cavanagh PR. Therapeutic footwear for people with diabetes. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*. 2004; 20(S1):S51-S5. [DOI:10.1002/dmrr.435] [PMID]
- [9] Landorf KB, Keenan AM. Efficacy of foot orthoses; What does the literature tell us? *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2000; 90(3):149-58. [DOI:10.7547/87507315-90-3-149] [PMID]
- [10] Bus SA, Ulbrecht JS, Cavanagh PR. Pressure relief and load redistribution by custom-made insoles in diabetic patients with neuropathy and foot deformity. *Clinical Biomechanics*. 2004; 19(6):629-38. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2004.02.010] [PMID]
- [11] Milani TL, Schnabel G, Hennig EM. Rear foot motion and pressure distribution patterns during running in shoes with Varus and valgus wedges. *Journal of applied biomechanics*. 1995; 11(2):177-87. [DOI:10.1123/jab.11.2.177]
- [12] Woodburn J, Helliwell PS. Relation between heel position and the distribution of forefoot plantar pressures and skin callosities in rheumatoid arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 1996; 55(11):806-10. [DOI:10.1136/ard.55.11.806] [PMID] [PMCID]
- [13] Van Gheluwe B, Dananberg HJ. Changes in plantar foot pressure with in-shoe Varus or valgus wedging. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2004; 94(1):1-11. [DOI:10.7547/87507315-94-1-1] [PMID]
- [14] Kakihana W, Akai M, Yamasaki N, Takashima T, Nakazawa K. Changes of joint moments in the gait of normal subjects wearing laterally wedged insoles. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2004; 83(4):273-8. [DOI:10.1097/01.PHM.0000118035.71195.DE] [PMID]
- [15] Meng ZL, Yuan WX, Kang YS. Plantar pressure distribution during bare-foot and shod race walking. *Journal of Biomechanics*. 2007; 40(2):S534. [DOI:10.1016/S0021-9290(07)70524-9]
- [16] Kavros SJ, Van Straaten MG, Wood KA, Kaufman KR. Forefoot plantar pressure reduction of off-the-shelf rocker bottom provisional footwear. *Clinical Biomechanics*. 2011; 26(7):778-82. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2011.03.009] [PMID]
- [17] Oatis CA. *Kinesiology: The mechanics & pathomechanics of human movement*, 2004. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2004.
- [18] Elftman N. Clinical management of the neuropathic limb. *Journal of Prosthetics and Orthotics*. 1992; 4(1):1-12. [DOI:10.1097/00008526-199100410-00001]
- [19] Mueller MJ, Lott DJ, Hastings MK, Commean PK, Smith KE, Pilgram TK. Efficacy and mechanism of orthotic devices to unload metatarsal heads in people with diabetes and a history of plantar ulcers. *Physical Therapy*. 2006; 86(6):833-42. [PMID]
- [20] Hastings MK, Mueller MJ, Pilgram TK, Lott DJ, Commean PK, Johnson JE. Effect of metatarsal pad placement on plantar pressure in people with diabetes mellitus and peripheral neuropathy. *Foot & Ankle International*. 2007; 28(1):84-8. [DOI:10.3113/FAI.2007.0015] [PMID]
- [21] Koenraadt KL, Stolwijk NM, van den Wildenberg D, Duysens J, Keijsers NL. Effect of a metatarsal pad on the forefoot during gait. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2012; 102(1):18-24. [DOI:10.7547/1020018] [PMID]
- [22] Chen WM, Lee SJ, Lee PV. Plantar pressure relief under the metatarsal heads-Therapeutic insole design using three-dimensional finite element model of the foot. *Journal of Biomechanics*. 2015; 48(4):659-65. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2014.12.043] [PMID]
- [23] Mow VC, Huijskes R. *Basic orthopaedic biomechanics & mechano-biology*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
- [24] Walker SC, Helm PA, Lavery LA. Gait pattern alteration by functional sensory substitution in healthy subjects and in diabetic subjects with peripheral neuropathy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1997; 78(8):853-6. [DOI:10.1016/S0003-9993(97)90199-4]
- [25] Frykberg RG, Zgonis T, Armstrong DG, Driver VR, Giurini JM, Kravitz SR, et al. Diabetic foot disorders: A clinical practice guideline (2006 revision). *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 2006; 45(5):S1-S66. [DOI:10.1016/S1067-2516(07)60001-5]