Journal of
Sport Biomechanics

Winter 2025. Vol 10. Issue 4

Research Paper

The Effect of Different Walking Strategies (Normal, Toe-Out, and Toe-In) on Maximum Force and Plantar Pressure in Ten Regions of the Foot

Faramarz Aghamohamadi[1], ***Ali Jalalvand**[1]

1. Department of Sport Biomechanics, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Aghamohamadi F, Jalalvand A. The Effect of Different Walking Strategies (Normal, Toe-Out, and Toe-In) on Maximum Force and Plantar Pressure in Ten Regions of the Foot (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics.2025;10(4):262-275. https://doi.org/10.21859/JSportBiomech.10.4.175.3

https://doi.org/10.21859/JSportBiomech.10.4.175.3

CC BY NC

Article Info:

Received: 5 Feb. 2025

Accepted: 9 Feb. 2025

Available Online: 9 Feb. 2025

Keywords:

Normal walking, Toe-out walking, Toe-in walking, Maximum force, Maximum pressure

ABSTRACT

Objective The aim of this study was to investigate the effects of different walking strategies, including normal, toe-out, and toe-in walking, on peak force and plantar pressure distribution across ten foot regions.

Methods The study population consisted of university students aged 18 to 25 years. A total of 21 participants were randomly selected using G*Power software. The RS-Scan International footscan system, with a sampling frequency of 253 Hz, was used to assess the distribution of peak force and plantar pressure. A mixed-design ANOVA was employed for analysis.

Results Overall, compared to normal and toe-out walking, toe-in walking reduced peak force and plantar pressure in the big toe, first metatarsal, and medial heel regions. However, it increased peak force and plantar pressure in the fourth and fifth metatarsals and the midfoot region. Toe-out walking, compared to normal and toe-in walking, increased peak force and plantar pressure in the first metatarsal but decreased peak force in the third metatarsal and plantar pressure in the third and fourth metatarsals.

Conclusion Toe-in walking may be beneficial for rehabilitation, whereas toe-out walking could pose a risk for individuals with patellofemoral pain syndrome. Individuals with flat feet should adopt a toe-in walking pattern and avoid a toe-out pattern, whereas those with high arches may benefit from the opposite strategy. For patients with medial knee osteoarthritis, the choice between toe-in and toe-out walking should be guided by their foot posture.

* ***Corresponding Author:***
Ali Jalalvand
Address: Department of Sport Biomechanics, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.
Tel: +98 (918) 9513172
E-mail: jalalvand_ali@yahoo.com

Extended Abstract

1. Introduction

A wide range of interventions and strategies are considered for individuals with osteoarthritis (6). Recent research indicates that modifying gait patterns can effectively reduce knee adduction torque in patients with knee osteoarthritis (7). Studies have shown that rotating the foot outward (toe-out) or inward (toe-in) during gait decreases both the initial and secondary peaks of knee adduction torque, which is one of the therapeutic goals for these patients (8). However, research on the most effective gait pattern for these patients remains limited and inconclusive. The use of modified gait can help adjust and distribute plantar pressure, reduce pain, and improve muscle function in individuals with various lower limb pathologies, such as knee osteoarthritis, flat feet, and high arches. In patients with joint mobility limitations, ground reaction forces (GRFs) are not distributed normally across a larger area of the foot, leading to increased pressure in specific plantar regions during gait. For instance, in diabetic patients, repetitive pressure on a localized area of the foot during walking can lead to callus formation and, ultimately, foot ulcers. Additionally, during the push-off phase, ineffective force transmission from the ankle to the upper body results in prolonged pressure duration, increased impact, and, consequently, forefoot ulcers (9). These findings highlight the significance of modified gait patterns in redistributing forces and mitigating excessive pressure on specific foot regions. Despite the potential benefits, research on the most effective walking strategies for target populations remains limited. Therefore, the present study investigates the effects of different gait strategies (normal, toe-out, and toe-in) on plantar pressure variables. This research may provide new insights into pain reduction and biomechanical correction in various lower limb pathologies using non-invasive methods.

2. Methods

The statistical population of this study comprised healthy male university students aged 18 to 25 years. The sample size was determined using G*Power software, estimating 21 participants for the mixed-design analysis of variance (10). To record plantar pressure variables and load distribution across ten foot regions, the RsScan International footscan device was used, with a sampling frequency set at 253 Hz. Participants performed gait trials under three conditions—normal walking, toe-out walking, and toe-in walking—while barefoot. Each walking strategy was tested in three trials. Data analysis was conducted using repeated measures multivariate analysis of variance (MANOVA) in SPSS software ($p \leq 0.05$). The Bonferroni post-hoc test was applied for pairwise comparisons.

3. Results

When walking with a toe-in pattern compared to normal walking, the maximum plantar force in the big toe, first and second metatarsals, and medial heel significantly decreases ($p < 0.05$), while the maximum plantar force in the fourth and fifth metatarsals and the midfoot region significantly increases ($p < 0.05$). When walking with a toe-out pattern compared to normal walking, the maximum plantar force in the first metatarsal significantly increases ($p < 0.05$), while it significantly decreases in the third and fourth metatarsals ($p < 0.05$). Walking with a toe-out pattern compared to a toe-in pattern significantly increases the maximum plantar force in the first metatarsal ($p < 0.05$) but significantly decreases it in the third and fourth metatarsals ($p < 0.05$). Walking with a toe-in pattern compared to a toe-out pattern significantly decreases the maximum plantar force in the first metatarsal ($p < 0.05$) and significantly increases it in the fifth metatarsal ($p < 0.05$).

When walking with a toe-in pattern compared to normal and toe-out walking, the maximum plantar pressure in the big toe and medial heel significantly decreases ($p < 0.05$), while the maximum plantar pressure in the fourth and fifth metatarsals significantly increases ($p < 0.05$). When walking with a toe-in pattern compared to normal walking, the maximum plantar pressure in the first metatarsal significantly decreases ($p < 0.05$), while it significantly increases in the midfoot region ($p < 0.05$). When walking with a toe-out pattern compared to normal walking, the maximum plantar pressure in the first metatarsal significantly increases ($p < 0.05$), while it significantly decreases in the second and third metatarsals ($p <$

0.05). When walking with a toe-out pattern compared to a toe-in pattern, the maximum plantar pressure in the first metatarsal significantly increases ($p < 0.05$), while it significantly decreases in the third metatarsal ($p < 0.05$) (Table 1).

Table 1. Results of the comparison of peak plantar pressure exerted on the ten regions of the foot while walking barefoot in normal, out-toeing, and in-toeing gait strategies.

Region	Strategy		Mean Differences	Standard Error Deviation	P value
Toe 1	Normal Walking	Toe-out	0.202	1.058	0.851
	Normal Walking	Toe-in	2.734*	0.980	0.014
	Toe-out	Toe-in	2.532*	1.114	0.039
Toes 2-5	Normal Walking	Toe-out	-0.585	0.375	0.141
	Normal Walking	Toe-in	-7.279	0.664	0.681
	Toe-out	Toe-in	0.307	0.675	0.656
First Metatarsal	Normal Walking	Toe-out	-3.931	0.689	0.000
	Normal Walking	Toe-in	4.141	0.603	0.000
	Toe-out	Toe-in	8.072	0.726	0.000
Second Metatarsal	Normal Walking	Toe-out	1.008*	0.462	0.047
	Normal Walking	Toe-in	0.381	0.862	0.665
	Toe-out	Toe-in	-0.627	0.832	0.464
Third Metatarsal	Normal Walking	Toe-out	2.440*	0.819	0.010
	Normal Walking	Toe-in	-1.059	1.090	0.348
	Toe-out	Toe-in	-3.499*	1.229	0.013
Fourth Metatarsal	Normal Walking	Toe-out	1.481	1.048	0.180
	Normal Walking	Toe-in	-4.648*	1.246	0.002
	Toe-out	Toe-in	-6.129*	1.654	0.002
Fifth Metatarsal	Normal Walking	Toe-out	0.530	0.465	0.273
	Normal Walking	Toe-in	-2.769*	0.430	0.000
	Toe-out	Toe-in	-3.299*	0.460	0.000
Midfoot	Normal Walking	Toe-out	-0.417	0.731	0.577
	Normal Walking	Toe-in	-1.349*	0.387	0.004
	Toe-out	Toe-in	-0.932	0.812	0.271
Medial Heel	Normal Walking	Toe-out	-0.201	0.867	0.820
	Normal Walking	Toe-in	1.401*	0.611	0.038
	Toe-out	Toe-in	1.602*	0.641	0.026
Lateral Heel	Normal Walking	Toe-out	-0.211	0.729	0.776
	Normal Walking	Toe-in	-1.051	0.667	0.138
	Toe-out	Toe-in	-0.840	0.567	0.160

4. Conclusion

Adopting a toe-in gait strategy can be an optimal approach in rehabilitation and exercise therapy for individuals with patellofemoral pain syndrome (12), as it reduces the forces exerted on the first and second metatarsals. Conversely, adopting a toe-out gait strategy is a risk factor and may exacerbate this condition. Stress fractures in bones are associated with increased loading in various regions of the foot (14). Some research findings indicate that individuals with flat feet experience greater loading in the medial region of the foot (5). Therefore, individuals with flat feet who adopt a toe-out gait strategy are at a potential risk of developing stress fractures in the second to fifth toes, as well as the first and second metatarsals. Individuals with high arches experience greater overall stiffness in the lower leg and a higher external loading rate compared to those with flat feet during activity (15). Since the toe-out gait pattern reduces the force exerted on the lateral bones of the foot, it can be considered a force-modifying strategy for individuals with high arches and may be incorporated into their rehabilitation approaches. On the other hand, high arches can lead to issues in the hip and knee joints and are a risk factor for lateral ankle sprains (17). Therefore, the toe-out gait pattern may help prevent injuries to the lower limb joints, particularly lateral ankle sprains,

which are highly prevalent. Increased loading in the medial region of the foot is a risk factor for inversion ankle sprains. Thus, immediately after inducing fatigue, the toe-out gait strategy can serve as a force-distribution-modifying strategy for individuals with high arches (18).

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

There were no ethical considerations to be addressed in this research.

Funding

This research did not receive any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest associated with this article.

مقاله پژوهشی

تأثیر استراتژی‌های مختلف راه رفتن طبیعی، پنجه به خارج و پنجه به داخل بر حداکثر نیرو و فشار کف‌پایی مناطق ده‌گانه پا

فرامرز آقامحمدی[۱]، *علی جلالوند[۱]

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۷ بهمن ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۲۱ بهمن ۱۴۰۳
تاریخ انتشار: ۲۱ بهمن ۱۴۰۳

چکیده

هدف **هدف از این تحقیق بررسی تأثیر استراتژی‌های مختلف راه رفتن طبیعی، پنجه به خارج و پنجه به داخل بر حداکثر نیرو و فشار کف‌پایی مناطق ده‌گانه پا می‌باشد.**

روش‌ها **جامعه آماری این پژوهش را دانشجویان ۱۸ تا ۲۵ ساله دانشگاه ملایر تشکیل دادند. جهت محاسبه حجم نمونه (۲۱ نفر به‌صورت تصادفی) از نرم‌افزار جی پاور استفاده شد. از دستگاه فوت اسکن RS-Scan International با فرکانس نمونه‌برداری ۲۵۳ هرتز برای ارزیابی توزیع حداکثر نیرو و فشار کف‌پایی استفاده گردید. از آزمون تحلیل واریانس طرح مختلط جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده گردید.**

یافته‌ها **به‌طورکلی راه رفتن پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی و پنجه به خارج حداکثر نیرو و فشار کف‌پایی انگشت شست، متاتارسال اول و داخل پاشنه کاهش ولی حداکثر نیرو و فشار کف‌پایی متاتارسال چهارم، پنجم و بخش میانی پا افزایش یافته داشت. راه رفتن پنجه به خارج در مقایسه با عادی و پنجه به داخل حداکثر نیرو و فشار کف‌پایی متاتارسال اول افزایش ولیکن حداکثر نیرو متاتارسال سوم، حداکثر فشار متاتارسال سوم و چهارم کاهش یافته است.**

نتیجه‌گیری **گام‌برداری پنجه به داخل یک رویکرد بهینه در توان‌بخشی و گام‌برداری پنجه به خارج یک ریسک فاکتور برای افراد مبتلا به سندروم درد کشککی رانی می‌باشد. افراد مبتلا به کف پای صاف بایستی از الگوی راه رفتن با پنجه به داخل تبعیت و از الگوی راه رفتن با پنجه به خارج اجتناب نمایند و در افراد مبتلابه کف پای گود بالعکس. استراتژی راه رفتن با پنجه به داخل و خارج اتخاذ شده به‌وسیله بیماران مبتلا به استئوآرتریت داخلی زانو بر مبنای پاسچر کف پای این افراد توصیه می‌گردد.**

کلید واژه‌ها:
راه رفتن طبیعی، راه رفتن پنجه به خارج، راه رفتن پنجه به داخل، حداکثر نیرو، حداکثر فشار

***نویسنده مسئول:**
علی جلالوند
آدرس: گروه بیومکانیک ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.
تلفن: ۹۵۱۳۱۷۲ (۹۱۸) ۹۸+
ایمیل: jalalvand_ali@yahoo.com

مقدمه

هنگام تحمل وزن، اندام تحتانی در یک زنجیره بسته قرار دارند بنابراین هرگونه تغییر در بخشی از اندام یا مفاصل با تغییر در سایر نواحی همراه خواهد بود (۱). اگر یک استراتژی و مداخله غیرتهاجمی به اصلاح و تعدیل نیروهای غیرطبیعی بپردازد، می‌تواند سرعت پیشرفت پاتولوژی را کند یا متوقف نماید؛ بنابراین استفاده از الگوی راه رفتن تغیر یافته می‌تواند راهبردی درمانی باشد که نیروهای مکانیکی نامطلوب را اصلاح و درد بیمار را کاهش دهد (۲).

نقطه تلاقی و اثرگذاری این مداخلات پای انسان می‌باشد. پا که جزئی از اندام تحتانی محسوب شده دارای ساختاری ویژه است که ضمن فراهم کردن سطح اتکا مطمئن برای ایستادن و حرکات انتقالی، فشارهای زیاد وارده را متحمل می‌شود و سه عملکرد جذب نیروهای برخورد پا با زمین، حفظ تعادل و انتقال نیروهای جلوبرنده را بر عهده دارد (۳). به‌دلیل آنکه پاتولوژی‌های اندام تحتانی می‌تواند عملکردهای اندام تحتانی را مختل کرده (۴) و در ادامه باعث تغییرات مختلفی در پارامترهای بیومکانیکی افراد گردد (۵)، لذا، تغییر و تعدیل نیروهای وارد شده به پا و اندام تحتانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بررسی استراتژی‌ها و مداخلاتی که بتوانند بر انتقال و جابجایی بار مکانیکی و سایر مؤلفه‌های تشدیدکننده پاتولوژی‌های اندام تحتانی تأثیرگذار باشند، بسیار حائز اهمیت است. این امر محقق نمی‌شود مگر با تجزیه‌وتحلیل بیومکانیکی مداخلاتی از قبیل گام‌برداری تعدیل‌شده. در مورد بررسی و تحلیل بیومکانیکی مداخلات و استراتژی‌های مختلف ذکر شده هنگام گام‌برداری در حالت‌های گام‌برداری طبیعی، پنجه به خارج، پنجه به داخل به‌منظور تعمیم نتایج حاصله به جامعه هدف تحقیقات محدودی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال طیف گسترده‌ای از مداخلات و استراتژی‌های مختلف برای مبتلایان به استئوآرتریت در نظر گرفته می‌شود (۶). تحقیقات اخیر حاکی از اثربخشی تعدیل و تغییر الگوی گام‌برداری بر کاهش گشتاور اداکشن زانو در بیماران مبتلا به استئوآرتریت زانو بوده است (۷). تحقیقات نشان داده‌اند که در این بیماران چرخش پا به سمت بیرون[1] و داخل[2] هنگام گام‌برداری به ترتیب اوج اولیه و ثانویه گشتاور اداکشنی زانو که یکی از اهداف درمانی در این بیماران است را کاهش می‌دهند. ولی در مورد مؤثرترین الگوی گام‌برداری در این بیماران تحقیقات محدود و نامشخص است (۸).

استفاده گام‌برداری تعدیل شده می‌تواند به تعدیل و توزیع فشار کف‌پایی، کاهش درد و بهبود عملکرد عضلات افراد با پاتولوژی‌های مختلف اندام تحتانی (استئوآرتریت زانو، کف پای صاف، کف پای گود و ...) کمک مؤثر نماید. در بیمارانی که محدودیت تحرک مفصلی دارند نمی‌توانند نیروهای عکس‌العمل زمین را به‌طور عادی در سطوح بیشتری از پا توزیع نمایند و لذا این عامل منجر به افزایش فشار در مناطق مختلف کف پا در هنگام گام‌برداری می‌گردد. به‌عنوان نمونه در بیماران دیابتی راه رفتن موجب فشار مکرر در یک منطقه از پا می‌گردد که پیامد آن پینه و درنهایت زخم پا می‌باشد. همچنین در مرحله جدا شدن پا از زمین یعنی مرحله تولید نیرو، نیروی تولیدی در مچ پا به‌خوبی به اندام‌های فوقانی انتقال داده نمی‌شود و این موجب افزایش زمان اعمال فشار، ضربه و در آخر زخم در ناحیه قدام پا گردد (۹). لذا اهمیت الگوهای تغییریافته راه رفتن در تعدیل و تغییر این نیروها مشخص می‌گردد.

نتایج پژوهش‌ها درباره اثربخش‌ترین استراتژی راه رفتن در جوامع هدف کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا پژوهش حاضر به بررسی تأثیر استراتژی‌های مختلف گام‌برداری (طبیعی، پنجه به خارج، پنجه به داخل) بر متغیرهای فشار کف‌پایی می‌پردازد که ممکن است دریچه‌ای نو به سمت تقلیل درد و اصلاح متغیرهای بیومکانیکی در پاتولوژی‌های مختلف اندام تحتانی با روش‌های غیرتهاجمی بگشاید.

1. Toe out
2. Toe in

روش شناسی

این تحقیق از نوع نیمه تجربی است. جامعه آماری این پژوهش را دانشجویان پسر ۱۸ تا ۲۵ سال سالم دانشگاه ملایر تشکیل می‌دادند. آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی ساده از بین دانشجویان دانشگاه که شرایط ورود به مطالعه را دارا و حاضر به شرکت در مطالعه بودند (پر کردن رضایت‌نامه) انتخاب گردیدند. معیارهای ورود به این مطالعه شامل موارد ذیل بود: دانشجویان پسر، دامنه سنی ۱۸ تا ۲۵ سال، نداشتن مشکل پزشکی و آسیب در اندام تحتانی و فوقانی، نداشتن سابقه جراحی، شکستگی، دررفتگی، آسیب لیگامانی در اندام تحتانی در ۶ ماه گذشته، نداشتن بدشکلی و ناهنجاری قابل‌مشاهده در راستای زانو. معیارهای خروج از مطالعه عدم رضایت دانشجویان و عدم تمایل به ادامه روند تحقیق در روز آزمون، داشتن درد در اندام تحتانی و ناحیه کمر در روز آزمون، سابقه بیماری و یا مشکل در دستگاه عصبی مرکزی بودند. جهت محاسبه حجم نمونه از نرم‌افزار جی پاور با توان آزمون آماری ۰/۸۰ و ضریب تأثیر ۰/۸۵ و سطح آلفا ۰/۰۵ استفاده گردید که نمونه آماری برای طرح تحلیل واریانس مختلط ۲۱ نفر برآورد گردید (۱۰).

در این پژوهش استراتژی‌های مختلف راه رفتن (طبیعی، پنجه به خارج، پنجه به داخل) به‌عنوان متغیرهای مستقل و مقادیر حداکثر نیرو، حداکثر فشار وارد بر نواحی ده‌گانه پا به‌عنوان متغیرهای وابسته مورد بررسی قرار گرفتند.

در این مطالعه برای ثبت اطلاعات متغیرهای مربوط به فشار کف‌پایی و بارگیری مناطق ده‌گانه پا افراد از دستگاه فوت اسکن (RsScan International) استفاده شد. پایایی و روایی این دستگاه در مقالات مختلف تائید شده است (۱۱). فرکانس نمونه‌برداری این دستگاه ۲۵۳ هرتز در نظر گرفته شد. ابعاد این دستگاه ۱۲ میلی‌متر*۴۱۸ میلی‌متر*۱۰۶۸ میلی‌متر است که در مساحت اشغال شده خود، تعداد ۸۱۹۲ سنسور دارد که ابعاد هر سنسور ۵/۰۸ * میلی‌متر ۷/۶۲ میلی‌متر می‌باشد. آزمودنی‌ها در یک مسیر ۱۰ متری که یک فوت اسکن در وسط آن تعبیه‌شده بود اقدام به گام‌برداری خواهند کرد، فوت اسکن به‌گونه‌ای قرارگرفته‌اند که آزمودنی‌ها قبل از رسیدن به فوت اسکن حداقل ۲ گام برمی‌دارند. آزمودنی‌ها گام‌برداری را در وضعیت‌های مختلف راه رفتن عادی، راه رفتن با پنجه به خارج و راه رفتن با پنجه به داخل با پای برهنه اجرا کردند. از هر استراتژی سه تریال اخذ گردید.

جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیروویلک و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری طرح مختلط در نرم‌افزار SPSS صورت گرفت ($p \leq ۰/۰۵$). از آزمون تعقیبی بونفرونی نیز برای مقایسه جفتی استفاده گردید.

نتایج

نتایج آزمون شاپیروویلک نشان داد که توزیع اکثر پارامترها نرمال بود. ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌های شرکت‌کننده در مطالعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ویژگی‌های آزمودنی‌های شرکت‌کننده در مطالعه

متغیرهای دموگرافیک	میانگین± انحراف معیار
سن (سال)	۲۲/۲±۲۵/۳۳
قد (سانتی‌متر)	۱۷۱/۴±۴۲/۷۵
جرم (کیلوگرم)	۶۸/۵±۱۷/۲

نتایج مقایسه اثر سمت (پای چپ و پای راست) حداکثر نیرو و فشار کف‌پایی وارد بر مناطق ده‌گانه پا هنگام راه رفتن با پای برهنه در استراتژی گام‌برداری ی راه رفتن عادی، راه رفتن با پنجه به خارج، راه رفتن با پنجه به داخل حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار بین پای سمت راست و چپ داشت (P>۰/۰۵). نتایج مقایسه حداکثر نیروی کف‌پایی وارد بر مناطق ده‌گانه پا هنگام راه رفتن با برهنه در استراتژی گام‌برداری ی راه رفتن عادی، راه رفتن با پنجه به خارج، راه رفتن با پنجه به داخل در جدول ۲ آورده شده است. نتایج مقایسه حداکثر نیروی کف‌پایی وارد بر مناطق ده‌گانه پا هنگام راه رفتن با پای برهنه در استراتژی گام‌برداری ی راه رفتن عادی، راه رفتن با پنجه به خارج، راه رفتن با پنجه به داخل حاکی از آن بود که هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی وارد بر انگشت شست کاهش یافته است (P=۰/۰۴۷).

جدول ۲. نتایج مقایسه حداکثر نیروی کف‌پایی وارد بر مناطق ده‌گانه پا هنگام راه رفتن با پای برهنه در استراتژی‌های مختلف راه رفتن

منطقه	استراتژی		میانگین اختلاف‌ها	خطای انحراف استاندارد	معنی‌داری
انگشت شست	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۱/۳۷۰	۱۸/۱۹۷	۰/۹۴۱
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	۳۱/۹۹۸	۱۴/۷۳۰	۰/۰۴۷
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۳۰/۶۲۸	۱۷/۶۷۵	۰/۱۰۵
انگشتان دوم تا پنجم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۴/۳۹۱	۴/۲۳۶	۰/۳۱۸
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۲/۰۴۱	۱۱/۰۱۴	۰/۸۵۶
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۶/۴۳۱	۱۱/۷۵۳	۰/۵۹۳
متاتارسال اول	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۵۹/۴۵۰	۱۶/۶۳۱	۰/۰۰۳
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	۷۷/۳۷۶	۱۴/۳۴۱	۰/۰۰۰
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۱۳۶/۸۲۶	۲۱/۲۸۱	۰/۰۰۰
متاتارسال دوم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۷/۰۳۴	۷/۵۷۸	۰/۳۶۹
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	۱۹/۵۸۶	۸/۷۸۱	۰/۰۴۳
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۱۲/۵۵۲	۱۲/۲۰۵	۰/۳۲۱
متاتارسال سوم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۴۱/۹۳۶	۶/۲۲۰	۰/۰۰۰
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۳/۰۷۶	۸/۹۲۲	۰/۷۳۵
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۴۵/۰۱۲	۹/۰۳۰	۰/۰۰۰
متاتارسال چهارم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۳۱/۹۴۱	۸/۸۱۸	۰/۰۰۳
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۳۶/۰۹۰	۱۰/۶۳۶	۰/۰۰۴
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۶۸/۰۳۱	۱۳/۵۷۹	۰/۰۰۰
متاتارسال پنجم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۹/۰۱۰	۵/۲۴۵	۰/۱۰۸
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۲۳/۲۸۲	۶/۴۷۰	۰/۰۰۳
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۳۲/۲۹۲	۵/۴۷۶	۰/۰۰۰
بخش میانی پا	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	-۵/۵۹۸	۱۶/۸۶۳	۰/۷۴۵
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۴۰/۷۴۱	۱۱/۰۹۳	۰/۰۰۳
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۳۵/۱۴۳	۲۰/۲۲۵	۰/۱۰۵
داخل پاشنه	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۳/۰۹۵	۲۰/۲۲۸	۰/۸۸۱
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۳۵/۳۷۶	۱۵/۸۱۷	۰/۰۴۲
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۳۲/۲۸۱	۱۸/۵۵۶	۰/۱۰۴
خارج پاشنه	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۰/۵۹۷	۱۳/۱۳۴	۰/۹۶۴
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۱۲/۷۷۱	۱۵/۳۳۲	۰/۴۱۹
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۱۳/۳۶۸	۱۶/۰۳۳	۰/۴۱۸

هنگام استراتژی راه رفتن با پنجه به خارج در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال اول افزایش (P=۰/۰۰۳) ولیکن هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی وارد بر کف‌پایی متاتارسال اول کاهش یافته است (P=۰/۰۰۰). همچنین هنگام مقایسه استراتژی پنجه به خارج با پنجه به داخل حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال اول هنگام گام‌برداری پنجه به خارج افزایش و هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل کاهش یافته است (P=۰/۰۰۰). هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی وارد بر متاتارسال دوم کاهش یافته است (P=۰/۰۴۳). هنگام راه رفتن با پنجه به خارج در مقایسه با در مقایسه با راه رفتن عادی (P=۰/۰۰۰) و راه رفتن با پنجه به داخل (P=۰/۰۰۰) حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال سوم کاهش یافته است.

جدول ۳. نتایج مقایسه حداکثر فشار کف‌پایی وارد بر مناطق ده‌گانه پا هنگام راه رفتن با پای برهنه در استراتژی‌های مختلف راه رفتن

منطقه	استراتژی		میانگین اختلاف‌ها	خطای انحراف استاندارد	معنی‌داری
انگشت شست	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۰/۲۰۲	۱/۰۵۸	۰/۸۵۱
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	۲/۷۳۴	۰/۹۸۰	۰/۰۱۴
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۲/۵۳۲	۱/۱۱۴	۰/۰۳۹
انگشتان دوم تا پنجم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	-۰/۵۸۵	۰/۳۷۵	۰/۱۴۱
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۰/۲۷۹	۰/۶۶۴	۰/۶۸۱
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۰/۳۰۷	۰/۶۷۵	۰/۶۵۶
متاتارسال اول	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	-۳/۹۳۱	۰/۶۸۹	۰/۰۰۰
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	۴/۱۴۱	۰/۶۰۳	۰/۰۰۰
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۸/۰۷۲	۰/۷۲۶	۰/۰۰۰
متاتارسال دوم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۱/۰۰۸	۰/۴۶۲	۰/۰۴۷
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	۰/۳۸۱	۰/۸۶۲	۰/۶۶۵
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۰/۶۲۷	۰/۸۳۲	۰/۴۶۴
متاتارسال سوم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۲/۴۴۰	۰/۸۱۹	۰/۰۱۰
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۱/۰۵۹	۱/۰۹۰	۰/۳۴۸
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۳/۴۹۹	۱/۲۲۹	۰/۰۱۳
متاتارسال چهارم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۱/۴۸۱	۱/۰۴۸	۰/۱۸۰
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۴/۶۴۸	۱/۲۴۶	۰/۰۰۲
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۶/۱۲۹	۱/۶۵۴	۰/۰۰۲
متاتارسال پنجم	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	۰/۵۳۰	۰/۴۶۵	۰/۲۷۳
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۲/۷۶۹	۰/۴۳۰	۰/۰۰۰
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۳/۲۹۹	۰/۴۶۰	۰/۰۰۰
بخش میانی پا	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	-۰/۴۱۷	۰/۷۳۱	۰/۵۷۷
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۱/۳۴۹	۰/۳۸۷	۰/۰۰۴
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۰/۹۳۲	۰/۸۱۲	۰/۲۷۱
داخل پاشنه	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	-۰/۲۰۱	۰/۸۶۷	۰/۸۲۰
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	۱/۴۰۱	۰/۶۱۱	۰/۰۳۸
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	۱/۶۰۲	۰/۶۴۱	۰/۰۲۶
خارج پاشنه	راه رفتن عادی	پنجه به خارج	-۰/۲۱۱	۰/۷۲۹	۰/۷۷۶
	راه رفتن عادی	پنجه به داخل	-۱/۰۵۱	۰/۶۶۷	۰/۱۳۸
	پنجه به خارج	پنجه به داخل	-۰/۸۴۰	۰/۵۶۷	۰/۱۶۰

هنگام راه رفتن با پنجه به خارج در مقایسه با راه رفتن عادی (P=۰/۰۰۳) و راه رفتن با پنجه به داخل (P=۰/۰۰۰) حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال چهارم کاهش یافته است. ولی هنگام استراتژی راه رفتن پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال چهارم افزایش یافته است (P=۰/۰۰۴). هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی (P=۰/۰۰۳) و راه رفتن با پنجه به خارج (P=۰/۰۰۰) حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال پنجم افزایش یافته است. هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی کف‌پایی بخش میانی پا افزایش یافته است (P=۰/۰۰۳). هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی کف‌پایی بخش داخل پاشنه کاهش یافته است (P=۰/۰۴۲).

نتایج مقایسه حداکثر فشار کف‌پایی وارد بر مناطق ده‌گانه پا هنگام راه رفتن با برهنه در استراتژی گام‌برداری ی راه رفتن عادی، راه رفتن با پنجه به خارج، راه رفتن با پنجه به داخل در جدول ۳ آورده شده است. نتایج مقایسه حداکثر فشار کف‌پایی وارد بر مناطق ده‌گانه پا هنگام راه رفتن با پای برهنه در استراتژی گام‌برداری ی راه رفتن عادی، راه رفتن با پنجه به خارج، راه رفتن با پنجه به داخل حاکی از آن بود که هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی (P=۰/۰۱۴) و پنجه به خارج (P=۰/۰۳۹) حداکثر فشار وارد بر انگشت شست کاهش یافته است. هنگام راه رفتن با پنجه به خارج در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال اول افزایش (P=۰/۰۰۰) ولیکن هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال اول کاهش یافته است (P=۰/۰۰۰)؛ و در مقایسه استراتژی‌های پنجه به خارج با پنجه به داخل به‌طورکلی هنگام استراتژی پنجه به خارج حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال اول افزایش ولی هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل کاهش یافته است (P=۰/۰۰۰). هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به خارج در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر فشار وارد بر متاتارسال دوم کاهش یافته است (P=۰/۰۴۷). هنگام راه رفتن با پنجه به خارج در مقایسه با راه رفتن عادی (P=۰/۰۱۰) و راه رفتن با پنجه به داخل (P=۰/۰۱۳) حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال سوم کاهش یافته است. هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی (P=۰/۰۰۲) و راه رفتن با پنجه به خارج (P=۰/۰۰۲) حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال چهارم افزایش یافته است. هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی (P=۰/۰۰۰) و راه رفتن با پنجه به خارج (P=۰/۰۰۰) حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال پنجم افزایش یافته است. هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر فشار کف‌پایی بخش میانی پا افزایش یافته است (P=۰/۰۰۴). هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی (P=۰/۰۳۸) و پنجه به خارج (P=۰/۰۲۶) حداکثر فشار کف‌پایی بخش داخل پاشنه کاهش یافته است.

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی وارد بر انگشت شست، متاتارسال اول، متاتارسال دوم و داخل پاشنه کاهش ولیکن حداکثر نیروی وارد بر متاتارسال چهارم، متاتارسال پنجم و بخش میانی پا افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق تیجس و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی ریسک فاکتورهای مرتبط با گام‌برداری در ابتلا به درد کشککی رانی مؤید آن بود که نیروی بیشتر در متاتارسال‌های دوم و سوم با ابتلا به سندروم درد کشککی رانی در ارتباط است (۱۳)؛ بنابراین ظاهراً اتخاذ و استفاده از استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل به دلیل کاهش نیروهای وارد بر متاتارسال اول، متاتارسال دوم در این افراد می‌تواند یک رویکرد بهینه در توان‌بخشی و تمرین درمانی برای این افراد باشد. هنگام استراتژی راه رفتن با پنجه به خارج در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال اول افزایش ولیکن متاتارسال سوم و چهارم کاهش می‌یابد. هنگام مقایسه استراتژی پنجه به خارج با پنجه به داخل حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال اول افزایش ولیکن متاتارسال سوم و

چهارم کاهش می‌یابد. هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن با پنجه به خارج حداکثر نیروی کف‌پایی متاتارسال اول کاهش و متاتارسال پنجم افزایش یافته است. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان استنتاج می‌توان نمود که در افراد دارای سندروم درد کشککی رانی اتخاذ و استفاده از استراتژی گام‌برداری پنجه به خارج یک ریسک فاکتور و عامل تشدیدکننده عارضه می‌باشد. هم‌راستا با این نتایج برخی محققین نشان داده‌اند که گام‌برداری پنجه به خارج سبب جابجایی خط کشش نیروی عکس‌العمل زمین به سمت داخل می‌گردد (۱۴)، بنابراین با توجه به اینکه افراد مبتلا به کف پای صاف بارگیری بیشتری را در سمت داخل تجربه می‌کنند به نظر می‌رسد بایستی از الگوی راه رفتن با پنجه به خارج اجتناب نمایند.

به‌طورکلی نتایج برخی از تحقیقات مؤید آن است که الگوی راه رفتن با پنجه به داخل باعث جابجایی به سمت خارج نیروی عکس‌العمل زمین خواهد شد و الگوی راه رفتن با پنجه به خارج باعث جابجایی به سمت داخل نیروی عکس‌العمل زمین می‌گردد (۱۴)، بنابراین با توجه به اینکه افراد مبتلا به کف پای صاف بارگیری بیشتری را در سمت داخل تجربه می‌کنند به نظر می‌رسد بایستی از الگوی راه رفتن با پنجه به داخل تبعیت و از الگوی راه رفتن با پنجه به خارج اجتناب نمایند. نتایج این مطالعه نشان داد که هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی و پنجه به خارج حداکثر فشار وارد بر انگشت شست و داخل پاشنه کاهش ولیکن حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال چهارم و پنجم افزایش یافته است. هنگام راه رفتن با پنجه به داخل در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال اول کاهش ولیکن بخش میانی پا افزایش یافته است. هنگام استراتژی گام‌برداری پنجه به خارج در مقایسه با راه رفتن عادی حداکثر فشار وارد بر متاتارسال اول افزایش ولیکن متاتارسال دوم و سوم کاهش یافته است. در مقایسه استراتژی‌های پنجه به خارج با پنجه به داخل حداکثر فشار کف‌پایی متاتارسال اول افزایش ولیکن متاتارسال سوم کاهش یافته است.

استرس فراکچر استخوان‌ها با افزایش در بارگیری مناطق مختلف پا در ارتباط است (۱۵). نتایج برخی تحقیقات حاکی از آن است که افراد دارای کف پای صاف بارگیری بیشتری در بخش داخلی پا تجربه می‌کنند (۶)، بنابراین افراد مبتلا به کف پای صاف در صورت اتخاذ استراتژی گام‌برداری به خارج در معرض ریسک احتمالی ابتلا به استرس فراکچر انگشتان دوم تا پنجم و متاتارسال اول و متاتارسال دوم می‌باشند. افراد مبتلا کف پای گود حین فعالیت سفتی کلی ساق بیشتر و نرخ بارگیری خارجی بیش‌تری را نسبت به افراد دارای کف پای صاف تجربه می‌کنند (۱۶). با توجه به اینکه الگوی گام‌برداری پنجه به خارج سبب کاهش نیروی وارده بر قسمت خارجی استخوان‌های کف پا می‌گردد، لذا می‌توان به این الگو به‌عنوان یک الگوی تعدیل‌کننده نیرو در افراد مبتلابه کف پای گود نگریست که در رویکردهای بازتوانی این افراد می‌تواند مدنظر قرار گیرد. از طرفی محققین در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش بارگیری خارجی آسیب کلی اندام تحتانی را به دنبال خواهد داشت (۱۷)، بنابراین می‌توان استنتاج نمود با توجه به کاهش بارگیری خارجی در الگوی پنجه به خارج کاهش آسیب‌های احتمالی در افراد مبتلا به کف پای گود انتظار می‌رود و در مقابل با الگوی پنجه به داخل فرد به دلیل افزایش بارگیری خارجی مستعد آسیب‌های اندام تحتانی می‌باشد. از طرفی ازآنجاکه پای گود می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی در پشت مفصل ران و مفصل زانو شود و یک ریسک فاکتور برای بروز اسپرین جانبی مچ پا می‌باشد (۱۸)، لذا الگوی گام‌برداری به خارج می‌تواند از بروز صدمات وارده بر مفاصل اندام تحتانی آنان به‌ویژه از بروز آسپرین جانبی مچ پا که آسیبی با شیوع بالاست جلوگیری نماید. نتایج مطالعه ویلمز و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که بیش‌تر بودن بار در ناحیه داخلی پا ریسک فاکتوری برای ابتلا به عارضه اسپرین اینورژن مچ پا می‌باشد، لذا می‌توان گفت که بلافاصله بعد از القاء خستگی الگوی استراتژی گام‌برداری پنجه به خارج یک استراتژی تعدیل‌کننده توزیع نیروی کف‌پایی در افراد کف پای گود محسوب می‌گردد (۱۹).

نتایج تحقیقات محققین حاکی از آن است که تغییر در الگوی توزیع فشار کف پا سبب افزایش ریسک التهاب نیام کف‌پایی می‌گردد (۲۰)، لذا افرادی که به علت عارضه‌هایی مانند آنتی‌ورشن و ریترورشن از استراتژی‌های جبرانی راه رفتن با پنجه به داخل و خارج اتخاذ می‌کنند در معرض ابتلا به التهاب نیام کف‌پایی می‌توانند باشند. (۲۱). نیرائین و همکاران در سال ۲۰۲۲ نشان داده‌اند که تغییر زاویه پیشرفت پا از طریق راه رفتن با پنجه به داخل و خارج پا اثرات بارگذاری فوری بر روی گشتاور اداکشنی زانو دارد که یک معیار معتبر برای بار و عامل خطر پیشرفت بیماری استئوآرتریت داخلی زانو است. نتایج حاکی از آن بود که هر دو مداخله تمرین راه رفتن با پنجه به داخل و خارج پا منجر به کاهش فوری در اداکشنی زانو که یک معیار بار تحمیلی بر مفصل زانو است می‌شوند. بااین‌حال، تفاوت معنی‌داری بین دو مداخله از نظر اثرات آن‌ها بر گشتاور اداکشنی زانو وجود نداشت. این مطالعه همچنین نشان داد که هر دو مداخله امکان‌پذیر و به‌خوبی توسط شرکت‌کنندگان قابل‌تحمل هستند (۲۲). از طرفی نتایج برخی از مطالعات حاکی از آن است که توزیع و الگوی بارگیری بین افراد با ساختارهای مختلف پا در ناحیه کف پا هنگام حرکت متفاوت است (۲۳). هم‌راستا با این تحقیق همیل و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیق خود نشان دادند که افراد با پاسچرهای مختلف پا، بیومکانیک و الگوی بارگیری متفاوتی را در اندام تحتانی خود به نمایش می‌گذارند (۱۶)؛ بنابراین توصیه می‌شود که الگو و استراتژی راه‌رفتن با پنجه به داخل یا خارج، بر اساس پاسچر کف پای بیماران مبتلا به استئوآرتریت داخلی زانو انتخاب و اجرا شود. به این معنا که با توجه به ارتباط بین توزیع فشار کف پا در پاسچرهای مختلف و نوع استراتژی راه‌رفتن، بیماران مبتلا به استئوآرتریت با کف پای گود بهتر است از استراتژی راه‌رفتن با پنجه به خارج و بیماران با کف پای صاف از استراتژی راه‌رفتن با پنجه به داخل برای تعدیل نیروها استفاده کنند.

از محدودیت‌های موجود در این مطالعه می‌توان به‌اندازه کوچک نمونه، عدم توجه به فاکتورهای فردی، دامنه سنی و جنسیت اشاره کرد. برای تحقیقات آینده، بررسی تأثیر استراتژی‌های مختلف در گروه‌های سنی مختلف و در هر دو جنس می‌تواند مفید باشد. همچنین، مطالعات بیشتری در زمینه ارتباط بین این مدل‌های مختلف راه رفتن و تأثیر آن بر بیومکانیک راه رفتن پاتولوژی‌های مختلف اندام تحتانی مورد نیاز است.

نتیجه‌گیری نهایی

گام‌برداری پنجه به داخل یک رویکرد بهینه در توان‌بخشی و گام‌برداری پنجه به خارج یک ریسک فاکتور برای افراد مبتلا به سندروم درد کشککی رانی می‌باشد. افراد مبتلا به کف پای صاف باید از الگوی راه‌رفتن با پنجه به داخل پیروی کنند و از الگوی راه‌رفتن با پنجه به خارج اجتناب نمایند. برعکس، افراد مبتلا به کف پای گود باید از الگوی راه‌رفتن با پنجه به خارج استفاده کرده و از الگوی راه‌رفتن با پنجه به داخل پرهیز کنند. استراتژی راه رفتن با پنجه به داخل و خارج اتخاذ شده به‌وسیله بیماران مبتلا به استئوآرتریت داخلی زانو بر مبنای پاسچر کف پای این افراد توصیه می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاقی در این پژوهش رعایت شده است. همه شرکت‌کنندگان با رضایت کامل در مطالعه شرکت کردند و به آن‌ها اطمینان داده شد که تمام اطلاعات مربوط به آن‌ها محرمانه باقی خواهد ماند.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. 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]

2. Lidtke R, Muehleman C, Case J, Block J. Relationship between plantar foot pressure and medial knee osteoarthritis. Osteoarthritis Cartilage. 2002;10(7):573-9. [DOI:10.1053/joca.2002.0797] [PMID]

3. Levangie PK, Norkin CC. Joint structure and function: a comprehensive analysis: FA Davis; 2011.

4. Tanaka C, Farah EA. Anatomia funcional das cadeias musculares. Fisioterapia e Pesquisa. 1997;4(1):39-40.

5. Rokninejad M, Hashemi SH. Evaluation of Floor Pressure Distribution in Female Athletes with Tibial Internal Pressure Syndrome. Journal of Sport Biomechanics. 2020;6(3):180-9.

6. Williams III DS, McClay IS, Hamill J, Buchanan TS. Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches. Journal of applied biomechanics. 2001;17(2):153-63. [DOI:10.1123/jab.17.2.153]

7. Bennell KL, Bowles K-A, Wang Y, Cicuttini F, Davies-Tuck M, Hinman RS. Higher dynamic medial knee load predicts greater cartilage loss over 12 months in medial knee osteoarthritis. Annals of the rheumatic diseases. 2011;70(10):1770-4. [DOI:10.1136/ard.2010.147082] [PMID]

8. Fregly BJ. Gait modification to treat knee osteoarthritis. HSS journal. 2012;8(1):45-8. [DOI:10.1007/s11420-011-9229-9] [PMID]

9. Hurwitz DE, Sumner DR, Block JA. Bone density, dynamic joint loading and joint degeneration. Cells Tissues Organs. 2001;169(3):201-9. [DOI:10.1159/000047883] [PMID]

10. Landorf KB, Keenan A-M. 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]

11. Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A. G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behavior research methods. 2007;39(2):175-91. [DOI:10.3758/BF03193146] [PMID]

12. Zammit GV, Menz HB, Munteanu SE. Reliability of the TekScan MatScan® system for the measurement of plantar forces and pressures during barefoot level walking in healthy adults. Journal of foot and ankle research. 2010;3:1-9. [DOI:10.1186/1757-1146-3-11] [PMID]

13. Thijs Y, De Clercq D, Roosen P, Witvrouw E. Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners. British journal of sports medicine. 2008;42(6):466-71. [DOI:10.1136/bjsm.2008.046649] [PMID]

14. Khan SS, Khan SJ, Usman J. Effects of toe-out and toe-in gait with varying walking speeds on knee joint mechanics and lower limb energetics. Gait & Posture. 2017;53:185-92. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2017.01.022] [PMID]

15. Arndt A, Ekenman I, Westblad P, Lundberg A. Effects of fatigue and load variation on metatarsal deformation measured in vivo during barefoot walking. Journal of biomechanics. 2002;35(5):621-8. [DOI:10.1016/S0021-9290(01)00241-X] [PMID]

16. Williams III DS, Davis IM, Scholz JP, Hamill J, Buchanan TS. High-arched runners exhibit increased leg stiffness compared to low-arched runners. Gait & posture. 2004;19(3):263-9. [DOI:10.1016/S0966-6362(03)00087-0] [PMID]

17. Chuter VH, de Jonge XAJ. Proximal and distal contributions to lower extremity injury: a review of the literature. Gait & posture. 2012;36(1):7-15. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2012.02.001] [PMID]

18. Beynnon BD, Murphy DF, Alosa DM. Predictive factors for lateral ankle sprains: a literature review. Journal of athletic training. 2002;37(4):376.

19. Willems T, Witvrouw E, Delbaere K, De Cock A, De Clercq D. Relationship between gait biomechanics and inversion sprains: a prospective study of risk factors. Gait & posture. 2005;21(4):379-87. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2004.04.002] [PMID]

20. Wu W-L, Chang J-J, Wu J-H, Guo L-Y, Lin H-T. EMG and plantar pressure patterns after prolonged running. Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications. 2007;19(06):383-8. [DOI:10.4015/S1016237207000483]

21. Nyland J, Kuzemchek S, Parks M, Caborn D. Femoral anteversion influences vastus medialis and gluteus medius EMG amplitude: composite hip abductor EMG amplitude ratios during isometric combined hip abduction-external rotation. Journal of electromyography and kinesiology. 2004;14(2):255-61. [DOI:10.1016/S1050-6411(03)00078-6] [PMID]

22. D'Souza N, Ohashi T, Grayson J, Hiller C, Hutchison L, Simic M. Toe-in and toe-out gait retraining for people with medial knee osteoarthritis: a pilot randomised clinical trial. Osteoarthritis and Cartilage. 2022;30:S143-S4. [DOI:10.1016/j.joca.2022.02.181]

23. Hillstrom HJ, Song J, Kraszewski AP, Hafer JF, Mootanah R, Dufour AB, et al. Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot. Gait & posture. 2013;37(3):445-51. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2012.09.007] [PMID]