

Research Paper

Effects of Shoe Lifespan on Gait Kinetics in Women With Knee Genu Varum and Healthy Peers



Seyyede Maryam Anvari¹, *Amir Ali Jafarnezhad Gero¹ , Shadi Eskandri¹

1. Department of Sport Management and Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.



Citation Anvari S M, Jafarnezhad Gero A A, Eskandri Sh. [Effects of Shoe Lifespan on Gait Kinetics in Women With Knee Genu Varum and Healthy Peers (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2022; 11(1):28-39. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.11.1.3>

 <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.11.1.3>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

ABSTRACT

Background and Aims Knee genu varum is one of the lower limb abnormalities associated with bio-mechanical changes in lower limbs. The present study aims to compare the effects of shoe lifespan on ground reaction force (GRF) components in women with knee genu varum and healthy peers during running.

Methods The is randomized clinical trial. Participants were 15 female college students with knee genu varum and 15 healthy peers. A new pair of sport shoes was given to each participant during to wear them for six months. Then, they were asked to run at a preferred speed in three trials with the new shoes (pre-test phase) and three trials with the used shoes (post-test phase) in a path where a force plate was installed. Statistical analysis was conducted by using repeated measures ANOVA. All analyses were done in SPSS v. 23 software. The significance level was set at 0.05.

Results The results indicated the significant main (group) effect of shoes on peak anterior-posterior GRF during heel contact and on the anterior-posterior impulse ($P < 0.018$, $d > 0.8$). The values of these variables in the genu varum group were significantly higher than in the healthy group. Moreover, findings showed the significant main effects of shoes on the time to reach the peak GRF during heel strike and on the loading rate ($P < 0.02$, $d > 0.9$). The time to reach the peak GRF during heel strike with the used shoes was shorter than with the new shoes ($P = 0.015$, $d = 0.9$), while the vertical loading rate during running with the worn shoes was greater than with the new shoes ($P = 0.019$, $d = 0.9$).

Conclusion Running with shoes having a lifespan > 6 months is a risk factor for women with knee genu varum.

Keywords Shoe, Kinetics, Genu varum, Ground reaction force, Gait

Received: 25 Sep 2020

Accepted: 19 Nov 2020

Available Online: 21 Mar 2022

* Corresponding Author:

Amir Ali Jafarnezhad Gero, PhD

Address: Department of Sport Management and Biomechanics, Faculty of Educational Science and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Tel: +98 (910) 5146214

E-Mail: amiralijafarnezhad@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Knee genu varum is one of the lower limb abnormalities that is associated with changes in biomechanics of lower limbs. Generally, no treatment is required for this complication as it is a normal in childhood. Treatment is needed in the age above 3 years. When the deformity occurs in older people, the surgery and bracing are needed. Athletes are prone to ankle and knee injuries. It is very important to use a suitable footwear, particularly for those with knee genu varum, to avoid injuries during common activities of daily living. Since shoes is one of the external factors causing injury in people, the present study aims to determine whether the lifespan of sports shoes has any effects on ground reaction force (GRF) components during running in healthy people and those with genu varum.

Methods

This is randomized clinical trial (Code: IR.ARUMS.REC.1397.135). Fifteen female college students with genu varum and 15 healthy peers volunteered to participate in this study. A new pair of sport shoes was provided for each participant to wear them for six months. They were asked to run at preferred speed in three trials with the new shoes (at pre-test phase) and in three trials with worn shoes (at post-test phase) in a path where a force plate was installed. A force plate (Bertec Corporation, Columbus, OH, United States) was used to record GRF during running at a sampling rate of 1000 Hz. Kinetic data were recorded based on the protocol presented in Jafarnejadgero et al.'s study. The GRF data was filtered at 20 Hz using a low-pass fourth-order zero-lag Butterworth filter.

Specific running characteristics (heel strike and toe-off) were identified using the Bertec force plate. For this purpose, a 10-N threshold GRF was used to detect the stance phase of the gait cycle. The following dependent variables were extracted from GRF data: First and second vertical peak forces, and braking and propulsion forces at the anterior-posterior direction and positive peak (external) right after heel contact and negative peak (when body mass is transferred to the contralateral limb) at the medial-lateral direction. The GRF amplitude was normalized to body weight and reported in % body weight. The free moment of the foot was also calculated and normalized by multiplying body weight by height. All values of gait variables obtained from three trials were averaged. For the stance phase analysis, the stance phase data were converted to 101 data points. Normal distribution of data was assessed by Shapiro-wilk test. Statistical analysis

was carried out using repeated measures two-way ANOVA followed by Bonferroni test. All analyses were conducted in SPSS v. 23 software. The significance level was set at 0.05.

Results

The results indicated the significant main (group) effect of shoes on peak anterior-posterior GRF during heel contact and on the anterior-posterior impulse ($P < 0.018$, $d > 0.8$). The values of these variables in the genu varum group were significantly higher than in the healthy group. Moreover, findings showed the significant main effects of shoes on the time to reach the peak GRF during heel strike and on the loading rate ($P < 0.02$, $d > 0.9$). The time to reach the peak GRF during heel strike with worn shoes was shorter than with new shoes ($P = 0.015$, $d = 0.9$), while the vertical loading rate during running with the worn shoes was greater than with the new shoes ($P = 0.019$, $d = 0.9$).

Discussion

The purpose of the present study was to determine whether the lifespan of shoe has any effects on GRF components during running in women with knee genu varum and healthy peers. According to the results, it can be concluded that running with shoes with a lifespan > 6 months is a risk factor for these individuals. A previous study demonstrated that higher shoe stiffness, lower foot-ground contact force peak, and higher activity of rectus femoris muscle are reported in both healthy people and those with knee genu varum. Another study demonstrated that the shoe lifespan have an impact GRF and activity of selected muscles in healthy males with and without genu varum. It has been shown that the activities of tibialis anterior and vastus medialis muscles increase with the increase of shoe lifespan at the loading phase, while the activities of vastus medialis, vastus lateralis, and rectus femoris muscles increase at the mid-stance phase.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of the [Ardabil University of Medical Sciences](#) (Code: IR.ARUMS.REC.1397.135).

Funding

This research is taken from the thesis of Maryam Anvari under the guidance of Amir Ali Jafarnejad Guru in the Department of Sport Management and Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, [University of Mohaghegh Ardabili](#), Ardabil.

Authors' contributions

Conceptualization and Supervision: Amir Ali Jafarnezhad Gero, Methodology: Seyyede Maryam Anvari: investigation, Writing-original draft, and Writing-review & editing: All authors; Data collection: Seyyede Maryam Anvari; Data analysis Seyyede Maryam Anvari.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بررسی سه‌بُعدی تأثیر طول عمر کفش ورزشی بر کینتیک دویدن در دانشجویان زن سالم و مبتلا به ژنو واروم زانو

سیده مریم انواری^۱، امیرعلی جعفرنژاد گرو^۱، شادی اسکندری^۱

۱. گروه مدیریت و بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.



Citation Anvari S M, Jafamezhad Gero A A, Eskandri Sh. [Effects of Shoe Lifespan on Gait Kinetics in Women With Knee Genu Varum and Healthy Peers (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2022; 11(1):28-39. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.11.1.3>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.11.1.3>

چکیده



مقدمه و هدف: ژنو واروم زانو یکی از ناهنجاری‌های اندام تحتانی بوده که با تغییر بیومکانیک اندام تحتانی همراه است. هدف از پژوهش حاضر، تعیین این موضوع بود که آیا طول عمر کفش ورزشی بر مقادیر مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین در افراد سالم و افراد دچار ژنو واروم طی دویدن تأثیر دارد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر از نوع کارآزمایی بالینی تصادفی است. ۱۵ دانشجوی دختر مبتلا به ژنو واروم زانو و ۱۵ دانشجوی دختر سالم جهت شرکت در این پژوهش داوطلب شدند. به هر یک از آزمودنی‌ها یک جفت کفش ورزشی نو داده شد تا پس از تست‌گیری اولیه آن‌ها را به مدت ۶ ماه، روزانه حداقل یک ساعت در فعالیت‌های روزمره استفاده کنند. از آزمودنی‌ها خواسته شد که سه تریال صحیح با کفش نو (طی پیش‌آزمون) و سه تریال صحیح با کفش کارکرده (طی پس‌آزمون) روی مسیری که در میانه آن صفحه نیرو تعبیه شده بود با سرعت دلخواه بدوند. از آزمون آماری آنالیز واریانس دوسویه با اندازه‌گیری مکرر جهت تحلیل داده‌ها استفاده شد. همه تحلیل‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ و با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان دادند که عامل گروه اثر معناداری بر نیروی عکس‌العمل عمودی در راستای قدامی خلفی در لحظه تماس پاشنه و ضربه قدامی خلفی دارد ($P < 0/018$, $d > 0/18$). به‌صورتی که میزان این دو متغیر در گروه مبتلا به ژنو واروم بیشتر از گروه سالم است. به‌علاوه، یافته‌ها حاکی از آن بودند که عامل کفش بر زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه و نرخ بارگذاری اثر معناداری دارد ($P < 0/002$, $d > 0/09$); زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه هنگام دویدن با کفش کارکرده کوتاه‌تر از کفش نو بود ($P = 0/015$, $d = 0/09$). همچنین مقادیر نرخ بارگذاری نیروی عمودی تولیدشده هنگام دویدن با کفش کارکرده بیشتر از کفش نو بود ($P = 0/019$, $d = 0/09$).

نتیجه‌گیری: با توجه به کاهش معنادار زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، افزایش یافتن نرخ بارگذاری قابل‌توجهی است. براین‌اساس، می‌توان نتیجه گرفت که دویدن با کفش با طول عمر بیش از ۶ ماه می‌تواند یک عامل خطرزا برای افراد محسوب شود.

کلیدواژه‌ها: کفش، کینتیک، ژنو واروم زانو، نیروی فشاری، دویدن

تاریخ دریافت: ۰۴ مهر ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: ۲۹ آبان ۱۳۹۹

تاریخ انتشار: ۰۱ فروردین ۱۴۰۱

* نویسنده مسئول:

دکتر امیرعلی جعفرنژاد گرو

نشانی: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه مدیریت و بیومکانیک ورزشی.

تلفن: ۵۱۴۶۲۱۴ (۹۱۰) ۹۸+

رایانامه: amiralijafamezhad@gmail.com

مقدمه

علاوه بر این، در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثر طول عمر کفش دو بر متغیرهای مکانیکی و بیومکانیکی نشان داده شد که افزایش طول عمر کفش به افزایش معنادار سختی کفش منجر شد، ولی هیچ اختلاف معناداری بین مقادیر نرخ بارگذاری بین دو شرایط دویدن با کفش نو و کارکرده گزارش نشد [۱۳]. مطالعه هربات و همکاران روی کودکان نشان داد که پس از چهار ماه استفاده از کفش، سفتی و ظرفیت مکانیکی کفی کفش به ترتیب دچار افزایش و کاهش شد. اوج دورسی فلکشن مچ پا و اوج فلکشن زانو نیز دچار کاهش معناداری شد. هنگام دویدن با کفش‌های استفاده‌شده نرخ بارگذاری بیشتری تولید شد. به علاوه، نیروهای فشاری زیر پاشنه افزایش یافتند [۱۴].

همچنین پژوهش وینگ کای لام و همکاران [۱۵] نشان داد که هنگام فرود از پرش بسکتبال با کفش‌های نو، ضربه ناشی از نیروی عکس‌العمل عمودی وارده بر پا به‌طور معناداری کمتر از زمان استفاده از کفش‌های کارکرده بود. با افزایش طول عمر کفش، میزان راحتی ورزشکاران دچار کاهش شد. علاوه بر این، نتایج مطالعه لیپا و همکاران نشان داد تضعیف ناشی از افزایش عمر مکانیکی کفش، در ۲ کیلومتر ابتدایی استفاده از آن، بیشترین میزان را داشت و همچنین کفش پس از میزان ۲۱ کیلومتر استفاده، به‌صورت میانگین ۵۴ درصد از خاصیت جذب انرژی خود را از دست داد. نتیجه دیگر به‌دست‌آمده از این پژوهش این بود که قوم^{۱۴} پاشنه ضخیم‌تر و نرم‌تر در کفش به میزان ۸۳ درصد انرژی بیشتری جذب می‌کرد، اما با نرخ سریع‌تری (۴۹ درصد سریع‌تر) نیز تضعیف شد [۱۶].

در مجموع، طول عمر کفش عاملی است که به‌نظر می‌رسد در بروز آسیب نقش داشته باشد. کفی میانی^{۱۵} کفش از طریق تغییر شکل‌های میکروسکوپی، عمدتاً مسئول کاهش نیروهای ضربه‌ای القایی از دویدن است [۱۷]. با افزایش مسافتی که کفش طی می‌کند، ظرفیت لایه نرم آن کاهش یافته و ضربات مکرر ناشی از استفاده مداوم، کفی میانی کفش را در معرض آسیب قرار داده و از ظرفیت مکانیکی آن می‌کاهد [۱۸، ۱۶، ۱۱].

به‌بیان دیگر، ضربات مکرر دویدن می‌تواند فرسودگی مکانیکی متراکم‌کننده ایجاد کند و در نتیجه، سبب تغییر خواص مکانیکی کفی میانی کفش و کاهش توانایی فوم تشکیل‌دهنده آن، برای تغییر شکل و جذب انرژی شود [۲۰، ۱۹، ۱۲]. استفاده از کفش‌های ورزشی با هدف کاهش نیروی عمودی جهت کاهش نرخ آسیب و افزایش نیروی قدامی جهت بهبود عملکرد است. با توجه به اینکه مطالعاتی که تاکنون در ارتباط با طول عمر کفش ورزشی انجام شده بر روی افراد سالم بوده و مطالعه‌ای در ارتباط با این موضوع در افراد دچار ژنو واروم انجام نشده است. بنابراین انجام مطالعه در این زمینه به لحاظ علمی ضروری است. هدف از پژوهش حاضر، تعیین این موضوع بود که آیا طول عمر کفش ورزشی بر کینتیک دویدن زنان سالم و مبتلا به ژنو واروم زانو تأثیر دارد.

وضعیت‌های ژنو واروم^۱ یا ژنو والگوم^۲ (زانوی پرانتری یا زانوی ضربدری) زانو می‌تواند سبب عدم تناسب در مفصل مچ پا و چرخش متعاقب این مفصل شود [۱]. ژنو واروم زانو باعث افزایش نیروهای مفصلی در قسمت داخلی مفصل ران درشت‌نی شده و می‌تواند زمینه‌ساز بروز استئوآرتریت^۳ باشد [۲].

نتایج یک مطالعه تغییرات جبرانی را در راستای مچ پا در پاسخ به ناهنجاری‌های زانو نشان داد [۳]. همچنین شواهد نشان می‌دهد که ناهنجاری ژنو واروم می‌تواند سبب افزایش در گشتاور پرونیشنی یا کاهش گشتاور سوپینیشنی، در مفصل زیرقاپی^۴ در فازهای تماس^۵ و هل دادن^۶ در راه رفتن شود [۴].

دویدن اساسی‌ترین و پرتکرارترین الگوی حرکتی در میان ورزش‌هاست [۵]. مطالعات در این زمینه نشان داده که ۲۴ تا ۶۷ درصد دوندگان تفریحی از آسیب‌های مرتبط با دویدن رنج می‌برند [۶، ۷]. بیشتر آسیب‌های مرتبط با دویدن می‌تواند به‌عنوان آسیب‌های استفاده بیش از حد^۷ دسته‌بندی شوند که به‌نظر می‌رسد زمانی اتفاق می‌افتد که یک عدم توازن بین بارهای مکرر واردشده به یک بافت و ظرفیت آن بافت در تطبیق با این بارها، وجود داشته باشد [۸]. از جمله آسیب‌هایی که معمولاً به‌عنوان آسیب‌های مرتبط با دویدن ذکر شده‌اند، شامل درد کشکی رانی^۸، سندرم ایلوتیبیال باند^۹، سندرم فشار درشت‌نی داخلی^{۱۰}، التهاب آشیل^{۱۱} و التهاب غلاف کف پای^{۱۲} می‌شوند [۷، ۹].

به‌دلیل اینکه کفش اولین رابط بین ساختار بدن و زمین محسوب می‌شود؛ بنابراین پوشیدن کفش مناسب بسیار حائز اهمیت است. کفش می‌تواند از طریق جذب شوک‌های اضافی نیروهای عکس‌العمل زمین نقش به‌خصوصی در پیشگیری از بروز آسیب‌ها ایفا کند [۱۱، ۱۰]. کونگ و همکاران در مطالعه‌ای گزارش کردند که هنگام دویدن با کفش‌های کارکرده زاویه دورسی فلکشن و پلانتر فلکشن مچ پا در فاز هل دادن^{۱۳} به‌ترتیب کم‌تر و بیشتر از شرایط دویدن با کفش نو بود. به‌علاوه، بین مقادیر نرخ بارگذاری بین دو شرایط دویدن با کفش نو و کارکرده هیچ اختلاف معناداری یافت نشد [۱۲].

1. Genu Varum
2. Genu Valgum
3. Osteoarthritis
4. Subtalar Joint
5. Contact Phase
6. Push-off
7. Overuse
8. Patellofemoral Pain
9. Iliotibial Band Syndrome
10. Medial Tibial Stress Syndrome
11. Achilles Tendinopathy
12. Plantar Fasciitis
13. Toe-off Phase

14. Foem
15. Midsole

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع کارآزمایی بالینی تصادفی است. از میان دانشجویان دختر دانشگاه محقق اردبیلی و با روش نمونه‌گیری در دسترس، ۱۵ فرد مبتلا به ژنو واروم زانو درجه ۲ و ۱۵ فرد سالم برای شرکت در این پژوهش انتخاب شدند. از روش اندازه‌گیری فاصله دو کندیل داخلی ران برای تشخیص افراد مبتلا به ژنو واروم استفاده شد [۲۱].

برای این کار از آزمودنی خواسته شد تا روی کمر دراز کشیده و پاها را به صورت آزاد در کنار هم قرار دهد و در این حالت فاصله بین دو کندیل داخلی ران‌ها با استفاده از کولیس ساده اینسایز^{۱۶} ساخت کشور چین با گستره اندازه‌گیری ۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و دقت ۰/۰۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

شرایط ورود به پژوهش به این صورت بود: فاصله اپی‌کندیل‌های داخلی زانو ۲ تا ۵ سانتی‌متر، عدم سابقه گزارش درد در ۳ ماه گذشته، عدم سابقه جراحی اندام تحتانی، عدم سابقه شکستگی اندام تحتانی، نداشتن مشکلات عصبی-عضلانی و دامنه سنی ۱۸ تا ۳۵ سال.

شرایط عدم ورود به پژوهش نیز به این شکل بود: مشکلات عصبی-عضلانی، سابقه جراحی در اندام تحتانی و تنه، نداشتن تمایل فرد به ادامه همکاری در هر قسمت از اجرای پژوهش و بروز هرگونه مشکل اسکلتی-عضلانی هنگام انجام پژوهش [۲۲]. متوسط سن، وزن، قد و شاخص توده بدنی^{۱۷} آزمودنی‌ها در هر دو گروه به صورت زیر بود (جدول شماره ۱).

۳۰ جفت کفش ورزشی مشابه که تنها در رنگ و سایز متفاوت بودند ۶ ماه قبل از اجرای پژوهش تهیه شد. این کفش‌ها از برند آدیداس^{۱۸} و مدل کلیماکول^{۱۹} (تصویر شماره ۱) بودند. جنس رویه و آستر داخلی آن‌ها از پارچه مش و زیره آن‌ها نیز از لاستیک (EVA) تنفسی تهیه شده‌است و پس از داده‌گیری اولیه، از آن‌ها به مدت ۶ ماه، روزانه حداقل یک ساعت در فعالیت‌های روزمره استفاده شد. از یک دستگاه صفحه نیرو (برتک، ساخت کشور آمریکا^{۲۰}) به ابعاد ۴۰×۶۰ سانتی‌متر با نرخ نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز برای ثبت نیروهای عکس‌العمل زمین استفاده شد. برای تحلیل داده‌های صفحه نیرو نیز از نرم‌افزار برتک استفاده شد [۲۳-۳۰].

آزمودنی‌های هر دو گروه به آزمایشگاه بیومکانیک ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی دعوت شدند. در روز انجام آزمون از هر آزمودنی خواسته شد که چند بار به‌طور آزمایشی بر روی مسیر از قبل تعیین‌شده برای آزمون به طول ۱۸ متر که در میانه آن صفحه نیرو تعبیه شده بود، با سرعت خودانتخابی بدوند. هر کدام

از آزمودنی‌ها در روز انجام پیش‌آزمون سه تریال صحیح (تریالی که در آن پای برتر آزمودنی کاملاً روی صفحه نیرو قرار گرفته باشد) با کفش نو و پس از ۶ ماه (در روز داده‌گیری نهایی) سه تریال صحیح با کفش کارکرده روی مسیر موردنظر دویند.

در صورتی که پای برتر فرد به‌درستی روی صفحه نیرو قرار نمی‌گرفت، تریال تکرار می‌شد. در این مطالعه پای راست آزمودنی‌ها (پای برتر) مطالعه شد که با آزمون شوت توپ مشخص شد [۳۱]. جهت شرکت در پژوهش از آزمودنی‌ها رضایت‌نامه کتبی دریافت شد و تمام موارد اجرای پژوهش مطابق با اعلامیه هلسینکی^{۲۱} بود [۳۲].

برای تحلیل مقادیر نیروهای وارده بر کف پا، اوج نیروها در ۳ محور X، Y و Z (به ترتیب محورهای داخلی خارجی، قدامی خلفی و عمودی) و همچنین زمان رسیدن به اوج نیروها محاسبه شد. دیگر متغیرهایی که در پژوهش حاضر تحلیل شدند، شامل مقادیر نرخ بارگذاری عمودی (فرمول شماره ۱)، ضربه در ۳ بُعد (فرمول شماره ۲) و مقادیر گشتاور آزاد (فرمول شماره ۳) بود (روابط مربوط به هر کدام از این متغیرها در ادامه آورده شده است). مقادیر اوج نیروهای عکس‌العمل زمین و ضربه با استفاده از وزن بدن آزمودنی‌ها و مقادیر گشتاور آزاد نسبت به حاصل ضرب وزن در قد آزمودنی‌ها نرمال شدند [۳۳-۳۵].

۱. (زمان رسیدن به اولین اوج F_z) / اولین اوج F_z = نرخ بارگذاری عمومی

$$2. Imp = \Delta t * ((F_1 + F_n) / 2) + \sum_{i=2}^{n-1} F_i$$

$$3. FM = IMz - (F_y * COP_x) + (F_x * COP_y)$$

برای گزارش آمار توصیفی از ۲ شاخص میانگین و انحراف معیار استفاده شد. از آزمون آماری آنالیز واریانس دوسویه با اندازه‌گیری مکرر جهت تحلیل داده‌ها استفاده شد. همچنین از آزمون تعقیبی بونفرونی جهت مقایسه‌های جفتی استفاده شد و نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو ویلک ($P > 0.05$) بررسی شد. تحلیل‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد.

در این پژوهش، اثر عامل کفش به مقایسه نتایج ۲ کفش کهنه و نو بدون در نظر گرفتن گروه مربوطه می‌پردازد. اثر عامل گروه به مقایسه ۲ گروه بدون در نظر گرفتن کفش استفاده‌شده می‌پردازد. اثر تعاملی کفش و گروه به مقایسه اثرات استفاده از هر کفش به‌طور مجزا در هر گروه می‌پردازد. برای محاسبه اندازه اثر (d) نیز از فرمول شماره ۴ استفاده شد.

$$4. \text{اختلاف میانگین دو شرایط} / \text{میانگین و انحراف معیار دو شرایط} = (d) \text{ اندازه اثر}$$

- 16. Insize
- 17. Body mass index (BMI)
- 18. Adidas
- 19. ClimaCool
- 20. Bertec Corporation, Columbus, OH, USA

21. Helsinki
نیروی عکس‌العمل زمین ۲۲.

یافته‌ها

شدن پاشنه، FzHC: اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در لحظه تماس پاشنه، FzPO: اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در لحظه جدا شدن پاشنه (فرمول شماره ۵) ($P \leq 0/01$).

$$5. \Delta(\%) = \frac{(\text{پس آزمون پیش آزمون})}{\text{پیش آزمون}} \times 100$$

بحث

هدف از پژوهش حاضر، تعیین این موضوع بود که آیا طول عمر کفش ورزشی، بر مقادیر مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین، در افراد سالم و افراد دچار ژنو واروم طی دویدن تأثیر دارد. در این پژوهش مشاهده شد که عامل گروه اثر معناداری بر مقادیر ضربه و نیروی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه در راستای قدامی خلفی دارد. به‌صورتی که میزان اوج نیروی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در راستای قدامی خلفی در لحظه تماس پاشنه و ضربه قدامی خلفی در گروه مبتلا به ژنو واروم بیشتر از گروه سالم است.

ضربه با انتگرال نیروی عکس‌العمل زمین در بازه زمانی مرحله استقرار راه رفتن برابر است که شاخص مؤثری در ارزیابی نیروهای وارد بر کف پای افراد به شمار می‌رود، زیرا هم دامنه و هم مدت زمان نیروی عکس‌العمل زمین را دربردارد [۳۶]. از آنجا که نیروی عکس‌العمل زمین وارد شده در مدت زیاد (ضربه بالا) علت آسیب‌های عضلانی اسکلتی مختلف ذکر شده است [۳۷]؛ بنابراین مقادیر بالای این دو متغیر در افراد مبتلا به ژنو واروم ممکن است آن‌ها را در معرض آسیب‌های اسکلتی عضلانی قرار دهد (تصویر شماره ۲).

یافته‌ها حاکی از آن بود که زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه هنگام دویدن با کفش کارکرده کوتاه‌تر از کفش نو بود و مقادیر نرخ بارگذاری تولید شده هنگام دویدن با کفش کارکرده بیشتر از شرایط دویدن با کفش نو است. نرخ بارگذاری به دو عامل اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین و مدت زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بستگی دارد [۳۸]. به‌صورتی که با عامل اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین رابطه مستقیم و با زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین رابطه عکس دارد [۳۹].



یافته‌ها نشان داد که میان مقادیر اوج نیروی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در راستای قدامی خلفی و ضربه قدامی خلفی در لحظه تماس پاشنه طی پیش‌آزمون بین گروه مبتلا به ژنو واروم و سالم اختلاف معناداری وجود داشت ($P < 0/03$). به این معنا که عامل گروه اثر معناداری بر اوج نیروی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در راستای قدامی خلفی در لحظه تماس پاشنه و ضربه قدامی خلفی دارد ($P < 0/018$, $d = 0/0863/943$) (جدول شماره ۲) و میزان این دو در گروه مبتلا به ژنو واروم به ترتیب ۴۴/۳۴ درصد و ۳۰/۶۹ درصد بیشتر از گروه سالم بود. در سایر متغیرها اختلاف معناداری برای عامل گروه مشاهده نشد.

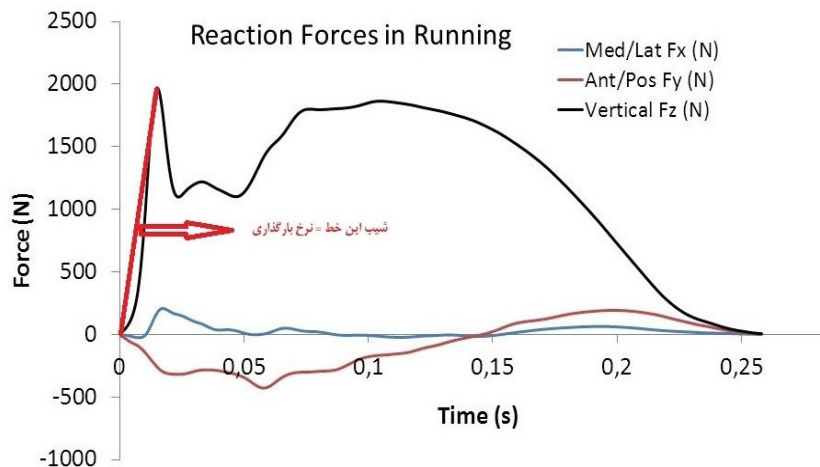
همچنین یافته‌ها حاکی از آن بودند که عامل کفش اثر معناداری بر زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه و نرخ بارگذاری دارد ($d > 0/9$), ($P < 0/02$) (جدول شماره ۲). نتایج تست تعقیبی نشان داد که زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه هنگام دویدن با کفش کارکرده کوتاه‌تر از کفش نو بود ($P = 0/015$, $d = 0/9$) (جدول شماره ۲).

نسبت به پیش‌آزمون میزان آن در گروه سالم ۸/۹۲ درصد و در گروه مبتلا به ژنو واروم ۱۳/۵۷ درصد کاهش یافت. علاوه بر این، مقادیر نرخ بارگذاری تولید شده هنگام دویدن با کفش کارکرده بیشتر از کفش نو بود ($P = 0/019$, $d = 0/9$). به این صورت که در گروه سالم با ۹/۲۸ درصد و در گروه مبتلا به ژنو واروم با ۱۲/۰۲ درصد افزایش همراه بود. در سایر متغیرها اختلاف معناداری برای عامل کفش مشاهده نشد.

توضیحات: معنای هر یک از متغیرهای ذکر شده در جدول شماره ۲ به این شکل است: FxHC: اوج نیروی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در راستای داخلی خارجی در لحظه تماس پاشنه، FxPO: اوج نیروی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در راستای داخلی خارجی در لحظه جدا شدن پاشنه، FyHC: اوج نیروی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در راستای قدامی خلفی در لحظه تماس پاشنه، FyPO: اوج نیروی عکس‌العمل زمین وارده بر پا در راستای قدامی خلفی در لحظه جدا



تصویر ۱. کفش‌های استفاده شده در پژوهش



تصویر ۲. نمودار نیروهای عکس‌العمل زمین در ۳ بُعد

طب توانبخشی

همچنین کونگ و همکاران که نرخ بارگذاری عمودی را در دوندگان بزرگسال هنگام دویدن در دو شرایط کفش نو و کار کرده بررسی کردند، دریافته‌اند با افزایش میزان استفاده از کفش، این نرخ تغییری نکرد که این نتیجه نیز با نتایج پژوهش حاضر متناقض است [۱۲]. با توجه به اینکه آزمودنی‌های بررسی شده در پژوهش کونگ و همکاران مردان و زنان سالم بوده‌اند، این تناقض ممکن است ناشی از تفاوت در آزمودنی‌های پژوهش حاضر و پژوهش کونگ و همکاران باشد.

هربات و همکاران در پژوهشی که اثر طول عمر کفش بر متغیرهای بیومکانیکی کودکان طی دویدن را بررسی می‌کرد، نشان دادند هنگام دویدن با کفش‌های کارکرده زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل در لحظه تماس پاشنه کوتاه‌تر و نرخ بارگذاری بیشتر از هنگام دویدن با کفش نو است که نتایج حاصل از پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش هربات و همکاران همسو بود [۱۴].

گشتاور آزاد به گشتاور بین پا و سطح زمین حول محور عمودی در مرحله استقرار گفته می‌شود که به‌علت اصطکاک بین این دو (پا و سطح زمین) ایجاد می‌شود [۴۲]. مقادیر گشتاور آزاد بین دو گروه و همچنین طی دو شرایط دویدن با کفش نو و کهنه مشابه

از آنجا که بین مقادیر اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بین دو شرایط دویدن با کفش نو و کارکرده هیچ تفاوت معناداری یافت نشد و با توجه به کاهش معنادار زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، افزایش یافتن نرخ بارگذاری قابل توجیه است. گزارش شده که نرخ بارگذاری عمودی بزرگ‌تر، با آسیب‌های شکستگی ناشی از فشار [۴۰] و درد کشکی رانی [۴۱] مرتبط است.

براین اساس، می‌توان نتیجه گرفت که دویدن با کفش، با طول عمر بیش از ۶ ماه می‌تواند یک عامل خطرزا برای افراد محسوب شود. جعفرنژاد گرو و همکاران گزارش کردند مدت زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه و نرخ بارگذاری هنگام راه رفتن با کفش کارکرده به ترتیب بیشتر یا کمتر از کفش نو است [۳۱] که با یافته‌های پژوهش حاضر در تناقض است. با توجه به یکسان بودن شرایط و آزمودنی‌های دو پژوهش، می‌توان گفت تناقض موجود می‌تواند ناشی از تفاوت‌های بیومکانیکی بین راه رفتن و دویدن باشد.

23. Stress Fracture

جدول ۱. میانگین شاخص‌های سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی آزمودنی‌های دو گروه

شاخص	گروه	میانگین ± انحراف معیار
سن (سال)	زن و واروم زانو	۲۴/۲۶ ± ۲/۵۱
قد (سانتی‌متر)	زن و واروم زانو	۱۶۳/۲۳ ± ۵/۴۵
وزن (کیلوگرم)	زن و واروم زانو	۵۵/۱۶ ± ۷/۷۰
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	زن و واروم زانو	۲۰/۶۵ ± ۲/۴۷

طب توانبخشی

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین بین افراد مبتلا به ژنو واروم و سالم در دو شرایط دوبین با کفش نو و کارکرده

مقیاسها	ژنو واروم زانو		سالم		تغییرها
	کفشی نو	کفشی کارکرده	کفشی نو	کفشی کارکرده	
FxHC (درصد از وزن بدن)	۵۲۳±۲۷۸	۵۷۰±۲۷۲	۲۳۴±۲۱۵	۲۴۰±۲۱۲	-۱/۵۴
FxPO (درصد از وزن بدن)	-۱۰۱/۸۵±۲۷۰	-۹۱/۸۴±۲۳۸	-۹/۳۰±۲۷۰	-۹/۳۰±۲۷۰	۰/۷۵
FyHC (درصد از وزن بدن)	-۱۸/۵۲±۸/۶۰	-۱۷/۲۱±۷/۵۹	-۲/۰۲	-۱۷/۵۲±۷/۲۳	-۲/۰۲
FyPO (درصد از وزن بدن)	۱۲/۷۸±۲۳۰	۱۲/۵۰±۲۳۶	۱۰/۵۲±۳۱۰	۱۰/۵۲±۳۱۰	-۷/۲۶
FzHC (درصد از وزن بدن)	۱۶۲/۹۸±۳۳/۳۹	۱۶۴/۰۰±۳۵/۵۳	۱۵۵/۶۶±۲۲/۶۵	۱۵۲/۷۴±۲۲/۳۳	-۱/۹۶
FzPO (درصد از وزن بدن)	۲۰۱/۰۷±۲۳/۸۱	۲۰۷/۶۵±۲۲/۲۵	۲۰۵/۲۰±۲۵/۳۴	۲۰۲/۱۴±۲۷/۹۸	-۱/۸۳
زمان رسیدن به اوج FxHC (میلی ثانیه)	۲۱/۸۸±۱۶/۲۳	۲۳/۶۲±۱۰/۲۰	۱۱/۶۰±۳۹/۱۸	۲۷/۶۳±۱۷/۱۷	۱۲/۴۰
زمان رسیدن به اوج FyHC (میلی ثانیه)	۱۰/۲۳±۳۳/۷۷	۱۰/۹/۱۴±۹/۱۸	۱۲/۰۳±۲۸/۳۴	۱۱/۶۰±۳۹/۱۸	-۷/۲۸
زمان رسیدن به اوج FzPO (میلی ثانیه)	۲۶/۶۲±۲۲/۵۰	۲۳/۶۲±۲۱/۰۶	۲۸/۳۳±۱۷/۲۷	۲۸/۳۳±۱۷/۲۷	۱/۸۱
زمان رسیدن به اوج FyPO (میلی ثانیه)	۲۱/۹۷±۲۲/۲۲	۲۱/۷/۶۴±۲۶/۳۵	۲۳/۰۱۱±۳۹/۱۰۷	۲۶/۲۳±۲۳/۱۷۷	-۰/۶۶
زمان رسیدن به اوج FzHC (میلی ثانیه)	۵۲/۰۴±۱۲/۱۲	۴۵/۸۴±۴/۶۹	۵۵/۶۴±۹/۲۵	۵۰/۲۱±۱۶/۴۱	-۸/۹۲
زمان رسیدن به اوج FzPO (میلی ثانیه)	۱۳۱/۷۷±۳۷/۸۷	۱۲۰/۵۳±۱۲/۸۷	۱۳۱/۳۰±۲۳/۲۳	۱۲۵/۷۵±۲۳/۶۵	۲/۳۱
اوج منفی گشتاور آزاد (درصد از وزن بدن در قد)	-۱/۱۱±۰/۰۰۵	-۰/۳۳±۰/۹۱۸	-۱۱/۱۱	-۱۰/۰۵±۰/۰۰۳	-۱۱/۱۱
اوج منفی گشتاور آزاد (درصد از وزن بدن در قد)	-۱/۰۰۵±۰/۰۰۵	-۰/۱۲±۰/۰۰۵	-۱۱/۱۱	-۱۰/۱۱±۰/۰۰۳	-۱۹/۱۶
ضربه در راستای داخلی خارجی (وزن در ثانیه)	۱/۱۰±۰/۳۳۶	۱/۱۸±۰/۳۳۵	۱/۱۱±۰/۳۵۹	۱/۱۱±۰/۳۵۱	-۱/۳۶
ضربه در راستای قدامی خلفی (وزن در ثانیه)	۲/۳۳±۰/۹۲۷	۲/۶±۰/۸۳۰	۲/۰۳±۰/۳۶۹	۲/۰۳±۰/۳۶۱	-۰/۹۹
ضربه در راستای عمودی (وزن در ثانیه)	۲۵/۵۵±۲/۱۹	۲۸/۶±۱/۰۷۱	۲۷/۸۴±۲/۳۱	۲۷/۸۴±۱/۵	-۰/۹۳
نرخ بارگذاری (وزن بر ثانیه)	۳۳/۹±۱/۱۳۹	۳۷/۱۸±۱/۰۹۰	۳۰/۳۸±۰/۹	۳۳/۵۵±۱۷/۶۵	۹/۲۸

طب توانبخشی

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

بود. مقادیر گشتاور آزاد با میزان بارهای پیچشی وارد بر اندام تحتانی مرتبط است [۳۱] که یافته‌های پژوهش حاضر هیچ‌گونه اختلاف معناداری بین دو گروه و بین دو شرایط نشان نداد. این نتایج با نتایج مطالعه جعفرنژاد گرو و همکاران [۳۱] همسو بود.

یکی از محدودیت‌های پژوهش حاضر عدم استفاده از نمونه مرد بود. در نتیجه، نمی‌توان نتایج آن را به مردان نیز تعمیم داد. از دیگر محدودیت‌های این پژوهش، تعداد کم آزمودنی‌ها بود. پیشنهاد می‌شود در آینده مطالعاتی مشابه پژوهش حاضر روی افراد دچار ناهنجاری‌های رایجی چون کف پای صاف، زانوی ضربدری و... صورت پذیرد.

نتیجه‌گیری

از آنجا که نیروی عکس‌العمل زمین وارد شده زیاد و همچنین نیروی عکس‌العمل زمین وارد شده در مدت زیاد (ضربه بالا) علت آسیب‌های عضلانی اسکلتی مختلف ذکر شده؛ بنابراین مقادیر بالای این دو متغیر در افراد مبتلا به ژنو واروم، احتمالاً می‌تواند آن‌ها را در معرض آسیب‌های عضلانی اسکلتی قرار دهد. همچنین با توجه به کاهش معنادار زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، افزایش یافتن نرخ بارگذاری قابل توجهی است. براین اساس، می‌توان نتیجه گرفت که دویدن با کفش با طول عمر بیش از ۶ ماه ممکن است یک عامل خطرزا برای افراد باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی اردبیل در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره IR.ARUMS.REC.1397.135 و کد کارآزمایی بالینی (IRCT20170806035517N3) دریافت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه مریم انواری با راهنمایی امیرعلی جعفرنژاد گرو در گروه مدیریت و بیومکانیک ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی است.

این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان تأمین‌کننده مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته‌اند.

References

- [1] Gao F, Ma J, Sun W, Guo W, Li Z, Wang W. The influence of knee malalignment on the ankle alignment in varus and valgus gonarthrosis based on radiographic measurement. *European Journal of Radiology*. 2016; 85(1):228-32. [DOI:10.1016/j.ejrad.2015.11.021] [PMID]
- [2] Maquet PJG. Mechanics of the knee. In: Maquet PJG, editor. *Biomechanics of the knee*. Berlin: Springer; 1984. [DOI:10.1007/978-3-642-61731-7_4]
- [3] Xie K, Han X, Jiang X, Ai S, Dai K, Yu Z, et al. The effect of varus knee deformities on the ankle alignment in patients with knee osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* volume. 2019; 14(1):134. [DOI:10.1186/s13018-019-1191-0] [PMID] [PMCID]
- [4] Van Gheluwe B, Kirby KA, Hagman F. Effects of simulated genu valgum and genu varum on ground reaction forces and subtalar joint function during gait. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2005; 95(6):531-41 [DOI:10.7547/0950531] [PMID]
- [5] Anderson T. Biomechanics and running economy. *Sports Medicine*. 1996; 22(2):76-89. [DOI:10.2165/00007256-199622020-00003] [PMID]
- [6] Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, Johnson CW, Cullison TR. The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *American Journal of Sports Medicine*. 1999; 27(5):585-93. [DOI:10.1177/03635465990270050701] [PMID]
- [7] Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, McKenzie DC, Lloyd-Smith DR, Zumbo BD. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *British Journal of Sports Medicine*. 2002; 36(2):95-101. [DOI:10.1136/bjism.36.2.95] [PMID] [PMCID]
- [8] Bertelsen ML, Hulme A, Petersen J, Brund RK, Sørensen H, Finch CF, et al. A framework for the etiology of running-related injuries. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2017; 27(11):1170-80. [DOI:10.1111/sms.12883] [PMID]
- [9] Lopes AD, Hespanhol Júnior LC, Yeung SS, Costa LO. What are the main running-related musculoskeletal injuries? A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. 2012; 42(10):891-905. [DOI:10.1007/BF03262301] [PMID] [PMCID]
- [10] Cook SD, Brinker MR, Poche M. Running shoes. Their relationship to running injuries. *Sports Medicine* volume. 1990; 10(1):1-8. [DOI:10.2165/00007256-199010010-00001] [PMID]
- [11] Verdejo R, Mills NJ. Heel-shoe interactions and the durability of EVA foam running-shoe midsoles. *Journal of Biomechanics*. 2004; 37(9):1379-86. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2003.12.022] [PMID]
- [12] Kong PW, Candelaria NG, Smith DR. Running in new and worn shoes: A comparison of three types of cushioning footwear. *British Journal of Sports Medicine*. 2009; 43(10):745-9. [DOI:10.1136/bjism.2008.047761] [PMID]
- [13] Chambon N, Sevrez V, Ly QH, Guéguen N, Berton E, Rao G. Aging of running shoes and its effect on mechanical and biomechanical variables: Implications for runners. *Journal of Sports Sciences*. 2014; 32(11):1013-22. [DOI:10.1080/0264044.2014.886127] [PMID]
- [14] Herbaut A, Chavet P, Roux M, Guéguen N, Barbier F, Simonneau-Buessinger E. The influence of shoe aging on children running biomechanics. *Gait & Posture*. 2017; 56:123-28. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2017.05.011] [PMID]
- [15] Lam WK, Liu H, Wu GQ, Liu ZL, Sun W. Effect of shoe wearing time and midsole hardness on ground reaction forces, ankle stability and perceived comfort in basketball landing. *Journal of Sports Sciences*. 2019; 37(20):2347-55. [DOI:10.1080/02640414.2019.1633158] [PMID]
- [16] Lippa NM, Collins PK, Bonacci J, Piland SG, Rawlins JW, Gould TE. Mechanical ageing performance of minimalist and traditional footwear foams. *Footwear Science*. 2017; 9(1):9-20. [DOI:10.1080/19424280.2016.1228702]
- [17] Mills N. Introduction to polymer foam microstructure. In: Mills N, editor. *Polymer Foams Handbook Engineering and Biomechanics Applications and Design Guide*. Oxford: Heinemann; 2007. [DOI:10.1016/B978-075068069-1/50002-7] [PMCID]
- [18] Schwanitz S, Odenwald S. Long-term cushioning properties of running shoes (P152). In: Estivalet M, Brisson P, editors. *The engineering of sport 7*. Paris: Springer; 2008. <https://link.springer.com/book/9782287094125>
- [19] Cook SD, Kester MA, Brunet ME. Shock absorption characteristics of running shoes. *American Journal of Sports Medicine*. 1985; 13(4):248-53. [DOI:10.1177/036354658501300406] [PMID]
- [20] Wang L, Xian Li J, Hong Y, He Zhou J. Changes in heel cushioning characteristics of running shoes with running mileage. *Footwear Science*. 2010; 2(3):141-7. [DOI:10.1080/19424280.2010.519348]
- [21] Jafarnezhadgero AA, Majlesi M, Etemadi H, Hilfiker R, Knarr BA, Shad MM. [Effect of 16-week corrective training program on three dimensional joint moments of the dominant and non-dominant lower limbs during gait in children with genu varus deformity (French)]. *Science & Sports*. 2020; V35(1):44-e1. [DOI:10.1016/j.scispo.2018.12.011]
- [22] Jafarnezhadgero A, Mousavi SH, Madadi-Shad M, Hijmans JM. Quantifying lower limb inter-joint coordination and coordination variability after four-month wearing arch support foot orthoses in children with flexible flat feet. *Human Movement Science*. 2020; 70:102593. [DOI:10.1016/j.humov.2020.102593] [PMID]
- [23] Jafarnezhadgero A, Madadishad M, Ferber R. The effect of foot orthoses on joint moment asymmetry in male children with flexible flat feet. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2018; 22(1):83-9. [DOI:10.1016/j.jbmt.2017.04.007] [PMID]
- [24] Jafarnezhadgero A, Sorkhe E, Meamarbashi A. Efficacy of motion control shoes for reducing the frequency response of ground reaction forces in fatigued runners. *Journal of Advanced Sport Technology*. 2019; 2(1):8-21. [Link]
- [25] Jafarnezhadgero AA, Majlesi M, Etemadi H, Robertson DGE. Rehabilitation improves walking kinematics in children with a knee varus: Randomized controlled trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2018; 61(3):125-34. [DOI:10.1016/j.rehab.2018.01.007] [PMID]

- [26] Jafarnezhadgero AA, Oliveira AS, Mousavi SH, Madadi-Shad M. Combining valgus knee brace and lateral foot wedges reduces external forces and moments in osteoarthritis patients. *Gait & Posture*. 2018; 59:104-10. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2017.09.040] [PMID]
- [27] Jafarnezhadgero AA, Shad MM, Majlesi M, Granacher U. A comparison of running kinetics in children with and without genu varus: A cross sectional study. *Plos One*. 2017; 12(9):e0185057. [DOI:10.1371/journal.pone.0185057] [PMID] [PMCID]
- [28] Jafarnezhadgero AA, Sorkhe E, Oliveira AS. Motion-control shoes help maintaining low loading rate levels during fatiguing running in pronated female runners. *Gait & Posture*. 2019; 73:65-70. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2019.07.133] [PMID]
- [29] Jafarnezhadgero A, Madadi-Shad M, Alavi-Mehr SM, Granacher U. The long-term use of foot orthoses affects walking kinematics and kinetics of children with flexible flat feet: A randomized controlled trial. *Plos One*. 2018; 13(10):e0205187. [DOI:10.1371/journal.pone.0205187] [PMID] [PMCID]
- [30] Jafarnezhadgero A, Alavi-Mehr SM, Granacher U. Effects of anti-pronation shoes on lower limb kinematics and kinetics in female runners with pronated feet: The role of physical fatigue. *Plos One*. 2019; 14(5):e0216818. [DOI:10.1371/journal.pone.0216818] [PMID] [PMCID]
- [31] Jafarnezhadgero AA, Anvari M, Granacher U. Long-term effects of shoe mileage on ground reaction forces and lower limb muscle activities during walking in individuals with genu varus. *Clinical Biomechanics*. 2020; 73:55-62. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2020.01.006] [PMID]
- [32] World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*. 2013; 310(20):2191-4. [DOI:10.1001/jama.2013.281053] [PMID]
- [33] Jafarnezhadgero A, Madadi-Shad M, McCrum C, Karamanidis K. Effects of corrective training on drop landing ground reaction force characteristics and lower limb kinematics in older adults with genu valgus: A randomized controlled trial. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2019; 27(1):9-17. [DOI:10.1123/japa.2017-0315] [PMID]
- [34] Madadi-Shad M, Jafarnezhadgero AA, Sheikhalizade H, Dionisio VC. Effect of a corrective exercise program on gait kinetics and muscle activities in older adults with both low back pain and pronated feet: A double-blind, randomized controlled trial. *Gait & Posture*. 2020; 76:339-45. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2019.12.026] [PMID]
- [35] Madadi-Shad M, Jafarnezhadgero A, Zago M, Granacher U. Effects of varus knee alignment on gait biomechanics and lower limb muscle activity in boys: A cross sectional study. *Gait & Posture*. 2019; 72:69-75. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2019.05.030] [PMID]
- [36] Robertson G, Caldwell G, Hamill J, Kamen G, Whittlesey S. Research methods in biomechanics human kinetics. Champaign: Human Kinetics; 2013. [DOI:10.5040/9781492595809]
- [37] Addison BJ, Lieberman DE. Tradeoffs between impact loading rate, vertical impulse and effective mass for walkers and heel strike runners wearing footwear of varying stiffness. *Journal of Biomechanics*. 2015; 48(7):1318-24. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2015.01.029] [PMID]
- [38] Blackmore T, Willy RW, Creaby MW. The high frequency component of the vertical ground reaction force is a valid surrogate measure of the impact peak. *Journal of Biomechanics*. 2016; 49(3):479-83. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2015.12.019] [PMID]
- [39] Hargrave MD, Carcia CR, Gansnedder BM, Shultz SJ. Subtalar pronation does not influence impact forces or rate of loading during a single-leg landing. *Journal of Athletic Training*. 2003; 38(1):18-23. [PMID] [PMCID]
- [40] Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: A systematic review. *Clinical Biomechanics*. 2011; 26(1):23-8. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2010.08.005] [PMID]
- [41] Cheung RT, Davis IS. Landing pattern modification to improve patellofemoral pain in runners: A case series. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2011; 41(12):914-9. [DOI:10.2519/jospt.2011.3771] [PMID]
- [42] Holden JP, Cavanagh PR. The free moment of ground reaction in distance running and its changes with pronation. *Journal of Biomechanics*. 1991; 24(10):887-97. [DOI:10.1016/0021-9290(91)90167-L] [PMID]