



Comparison of Selected Parameters of Plantar Pressure Distribution During Slope Walking in Adolescent Girls

Haniyeh Zehtab Asghari¹, AmirAli Jafarnezhadgero^{2*}, Mohammad Ali Azarbayjani³

1- Phd student, Department of Sport Biomechanics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Department of Sport Managements and Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3- Professor, Department of Sport physiology, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

***Corresponding author:** AmirAli Jafarnezhadgero, Associate Professor of Sport Biomechanics, Department of Sport Management and Biomechanics, Faculty of Education Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Email: amirali.jafarnezhad@gmail.com

Received: 2022/04/16

Accepted: 2022/08/6

Abstract

Introduction: Moving on inclined surfaces is a challenging task in daily life that creates challenges for the human movement system. Therefore, the aim of the present study was to compare selected parameters of plantar pressure distribution in healthy teenage girls and those with genu varum deformity while walking on a slope.

Methods: The current research was semi-experimental, causal-comparative and applied research model. The subjects included 15 girls with genu varum (with inner thigh epicondyle distance of 4.31 ± 0.71 cm) and 15 healthy girls (with inner thigh epicondyle distance of 0.84 ± 0.17 cm). The amount of plantar pressure in 10 anatomical areas of the sole of the foot on inclined surfaces (± 0 , 8 , ± 15 , ± 20) percent in the stance phase of walking was investigated. Two-way analysis of variance with repeated measurements was used for statistical analysis. The level of significance was ($P \leq 0.05$).

Results: The maximum pressure at -20% slope in the third and fourth metatarsal bones, -15% slope of the fourth plantar bone, -8% slope of the third metatarsal bone and outer heel area, and 20% slope in the middle of the foot had a significant difference between the two groups ($P \leq 0.05$), that these differences were higher in the genu varum group than in the healthy group. The changes of the center of pressure in the slopes of ± 15 , 8 and 20% significantly showed more displacement in the genu varum group than in the healthy group ($P \leq 0.05$).

Conclusions: The results showed that walking on a positive slope as a safe and accessible non-invasive method by reducing the pressure in the inner part of the knee and reducing the amount of foot supination can improve the pressure distribution pattern of people with genu varum and prevent early arthritis. However, more studies are required in this field.

Keywords: Slope, Walking, Genu varum, Plantar pressure variables, Adolescent.



مقایسه پارامترهای منتخب توزیع فشار کف پایی حین راه رفتن روی شب در دختران نوجوان

هانیه زهتاب اصغری^۱، امیرعلی جعفرنژاد گرو^{۲*}، محمدعلی آذربایجانی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه بیومکانیک ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

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

۳- استاد، گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

***نویسنده مسئول:** امیرعلی جعفرنژاد گرو، دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه مدیریت و بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

ایمیل: amirali.jafarnezhad@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۷

چکیده

مقدمه: حرکت روی سطوح شیبدار، یک تکلیف چالش برانگیز در زندگی روزمره است که چالش هایی را برای سیستم حرکتی انسان ایجاد می کند. از این رو هدف تحقیق حاضر مقایسه پارامترهای منتخب توزیع فشار کف پایی در دختران نوجوان سالم و مبتلا به ناهنجاری ژنواروم حین راه رفتن روی شب بود.

روش کار: پژوهش از نوع نیمه تجربی، مدل تحقیق علی- مقایسه ای و کاربردی بود. آزمونهای شامل ۱۵ دختر مبتلا به ژنواروم (با فاصله اپسی کنديل داخلی ران 0.71 ± 0.071 متر) و ۱۵ دختر سالم (با فاصله اپسی کنديل داخلی ران 0.84 ± 0.084 متر) بود. میزان فشار کف پایی در ۱۰ ناحیه آناتومیکی کف پا بر روی سطوح شب دار (0.08 ± 0.015) درصد در فاز استانس راه رفتن مورد بررسی قرار گرفت. از آزمون آنالیز واریانس دوسویه با اندازه گیری های مکرر جهت تحلیل آماری استفاده شد. سطح معناداری ($p < 0.05$) بود.

یافته ها: حداقل فشار در شب 20% در استخوان های کف پایی سوم و چهارم، شب 15% درصد کف پایی چهارم، شب 8% استخوان کف پایی سوم و ناحیه خارج پاشنه و شب 20% در میانه پا بین دو گروه دارای تفاوت معناداری بود ($p < 0.05$ ، که این اختلافات در گروه ژنواروم نسبت به سالم بیشتر بود. تغییرات مرکز فشار در شب 15 ± 0.08 و 20 ± 0.08 درصد بطور معناداری در گروه ژنواروم نسبت به گروه سالم جایگاه بیشتری نشان داد ($p < 0.05$).

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که راه رفتن در شب مثبت به عنوان یک روش غیر تهاجمی مطمئن و در دسترس با کاهش فشار بخش داخلی زانو و کاهش میزان سوینیشن پا می تواند موجب بهبود الگوی توزیع فشار افراد مبتلا به ژنواروم شود و از آرترroz زودرس پیشگیری کند. با وجود این، مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز می باشد.

کلید واژه ها: شب، راه رفتن، ژنواروم، متغیرهای فشار کف پایی، نوجوان.

مقدمه

حرکت رو به جلو و بالا را تضمین کند (۲). حرکت اندام تحتانی با زاویه شب تغییر می کند، هر چقدر بر میزان زاویه سطح شب دار افزوده شود، کنترل سیستم عصبی عضلانی و حرکات بدن چالش برانگیزتر شده و بر الگوی راه رفتن فرد تأثیرگذار می باشد (۳). دشواری راه رفتن شب دار در نتایج بیومکانیکی مانند افزایش مصرف انرژی متابولیک

راه رفتن بر روی سطوح شب دار بخش اجتناب ناپذیر فعالیت های روزمره است و تمرينات توانبخشی یا بازتوانی با این رویکرد استفاده می شوند (۱). در هنگام راه رفتن روی شب، سیستم عصبی عضلانی جهت حفظ کنترل پاسچر و تعادل باید پایداری بدن را حفظ نماید و به طور همزمان

که حداکثر فشارها در ناحیه پاشنه، سر استخوان های کف پایی دوم و سوم و انگشت شست دارای بیشترین فشار حین راه رفتن بوده و کمترین فشار بر انگشت دو تا پنجم و ناحیه میانی پا متحمل می شوند. لازم به ذکر است بر اساس این اطلاعات، بیشترین فشارها در ناحیه پاشنه در اوایل فاز استانس و حداکثر فشارها زیر سر استخوان های کف پایی در اواخر فاز استانس در سطح هموار رخ می دهد (۱۴-۱۲، ۸). همچنین مطالعات کینماتیکی زانو در مسیر شبیب نشان داد که با افزایش شبیب، زاویه زانو در صفحه فرونتال از واروس به والگوس تغییر می کند، که این تغییرات تأثیر مثبتی در کاهش تخریب سطوح مفصلی و همچنین کاهش سرعت پیشرفت آرتروز محفظه داخلی زانو خواهد داشت. علاوه بر این شبیب منفی یک عامل مخاطره آمیز در بیماران مبتلا به ناهنجاری واروس زانو در نظر گرفت و بلعکس. روند تغییر شبیب به مثبت، بار وارد شده بر روی محفظه داخلی مفصل زانو را کاهش داده و می تواند به عنوان یک تمرين فیزیکی زانو در برنامه های توانبخشی بیماران مبتلا به بدراستایی واروس قرار گیرد (۲۲-۱۵).

با توجه به اهمیت شروع بلوغ در دوره نوجوانی و بروز ناهنجاری ها اسکلتی عضلانی در این دوره سنی، راه رفتن روی شبیب مسیر می تواند باعث کاهش ثبات راه رفتن و همچنین تغییر در الگوی راه رفتن شود؛ و این در پایین آمدن بازتر است. با توجه به این که روش های غیر تهاجمی در جهت تصحیح راستای اندام کودکان و نوجوانان برای کاهش بارهای وارده به کمپارتمان های زانو پیشنهاد می شود، در این میان راه رفتن بر روی سطوح شبیدار را می توان به عنوان یک راهکار غیرتھاجمی سودمند در افراد دارای ناهنجاری زانو پیشنهاد کرد تا به عنوان یک ابزار کمکی در علوم بیومکانیک و توانبخشی برای کاهش فشار به مفصل زانو در نظر گرفته شود، و به عنوان یک عامل پیشگیرانه از بروز آرتروز زودرس در بزرگسالی جلوگیری نماید، بنابراین هدف از پژوهش حاضر مقایسه پارامترهای منتخب توزیع فشار کف پایی در دختران نوجوان سالم و مبتلا به ناهنجاری ژنواواروم حین راه رفتن روی سطوح شبیب دار بود.

روش کار

تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی، مدل تحقیق علی- مقایسه ای و نوع تحقیق کاربردی بود. جامعه آماری تحقیق را دختران نوجوان شهر تهران تشکیل دادند که ۳۰ نفر با

در سربالابی نسبت به سطح زمین و افزایش جذب نیرو در مفصل زانو در سرآشیبی مشهود است (۴). در حالی که جنبه های مختلف راه رفتن در سطح شبیب دار به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است، اما در مورد چگونگی توزیع فشار کف پا در طول این کار چالش برانگیز پرداخته نشده است (۵).

اندازه گیری توزیع فشار کف پا، یکی از روش های متدالوی و جدید است که ضمن تشخیص ناهنجاری های ساختاری پا، عملکرد پا را در شرایط استاتیک و داینامیک به خصوص هنگام راه رفتن مورد بررسی قرار می دهد (۶). نحوه توزیع حداکثر فشار کف پایی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند سن، جنس، نژاد و همچنین خصوصیات دستگاه اندازه گیری قرار می گیرد (۷). توزیع نامناسب نیروها برکف پا باعث اعمال استرس بر ساختار پا، ساق و زانو شده و می تواند باعث حرکات غیرطبیعی و همچنین اختلال در عملکرد عضلات شود (۸). هرگونه تغییر در راستای مکانیکی اندام تحتانی می تواند الگوی بیومکانیکی راه رفتن و دویلن را تغییر دهد، که مهمترین تغییر در این محور افزایش واروس زانو می باشد. ناهنجاری با ایجاد تغییراتی در راستای طبیعی وضعیت بدنی در اندام تحتانی به نوبه خود ممکن است تغییراتی در راستای مرکز ثقل بدن نسبت به سطح اتکاء ایجاد و با افزایش فشار غیرطبیعی واردہ بر قسمت های مختلف سطوح مفصلی، زانو را مستعد تغییرات فرسایشی زودرس و البته آرتروز نماید و در نتیجه کنترل تعادل بدن را محدود کند (۹).

بر اساس مطالعات صورت گرفته، پژوهشی مربوط به توزیع فشار کف در افراد دارای زانوی ژنواواروم و شبیب پیدا نشد ولی در مطالعات توزیع فشار کف پا در افراد دارای ناهنجاری های اندام تحتانی هنگام راه رفتن، این موضوع بررسی شده است. مطالعات نشان داد که در بین پارامترهای فشار کف پایی، حداکثر بار واردہ بر نواحی مختلف پا طی فاز راه رفتن و دویلن اندازه گیری می شود. برخی مطالعات نشان داد که عملکرد تعادلی و توزیع فشار پای انسان در هنگام ایستادن با توجه به عوامل مختلف متفاوت است، به گونه ای که برای افراد عادی، معمولاً فشار بیشتر روی بخش جلویی پا و به دنبال آن عقب پا و سپس بخش میانی می باشد؛ و بالاترین اوج و میانگین فشار کف پایی در سر استخوان های متاتارس دوم و سوم در افراد سالم توزیع می شوند (۱۱، ۱۰). نتایج مطالعات دیگر نیز حاکی از این بود

دستگاه از یک صفحه با قاب فلزی تشکیل شده است که بر روی زمین و هموار با سطح نصب می‌شود، که با ایستادن آزمودنی بر روی آن اطلاعات توزیع فشار کف پای شخص را در حالت ایستا و گام برداشتن در حالت دینامیک توسط سیستم ثبت می‌شود. سطح شیب دار به صورت درصد بر اساس فرمول شیب رمپ تعیین شد (فرمول ۱) که به صورت متحرک به طول ۳ متر تهیه شده بود و دستگاه اسکن کف پا در مرکز این شیب قرار داده شد. برای ثبت توزیع فشار کف پایی آزمودنی‌ها، یک بار با پای راست و یک بار با پای چپ با سه تکرار بر روی سطح مسطح و ۳ سطح شیب دار (۸٪، ۱۵٪، ۲۰٪) به صورت مثبت (بالارفتن) و منفی (پایین آمدن) استفاده گردید. در ابتداء از آزمودنی خواسته شد تا مسیر راه رفتن با طول ۵ متری که دستگاه اسکن فشار کف پا در مرکز آن قرار گرفته است را با یک سرعت دلخواه، ثابت و هماهنگ به صورت رفت و برگشت برای آشنایی با دستگاه اسکن فشار کف پا در سطح هموار انجام دهد. سپس آزمون مورد نظر را در شیب صفر یک بار با پای راست و یک بار با پای چپ با ۳ تکرار انجام داد. به دلیل آن که آزمودنی در ابتداء و انتهای راه رفتن با افزایش و کاهش سرعت راه رفتن موواجه می‌شود، برای سطوح شیب دار ابتداء دستگاه در مرکز سطح شیب دار به صورت همسطح با شیب قرار می‌گیرد. سپس از فرد خواسته شد برای تمرین شیب ۳ متری را ۵ بار به صورت تمرینی با سرعت دلخواه بالا (مثبت) و پایین (منفی) رود (شکل ۱. ب). در هنگام اجرای آزمون ها، آزمودنی هیچ گونه حرکت اضافی از جمله صحبت کردن نگاه کردن به زمین، نباید داشته باشد زیرا موجب خطا در ثبت داده ها و آزمون ها می‌شود.

$$\text{Slope} = \frac{\text{ارتفاع}}{\text{طول رمپ}} \times 100$$

فرمول ۱. نحوه محاسبه درصد شیب

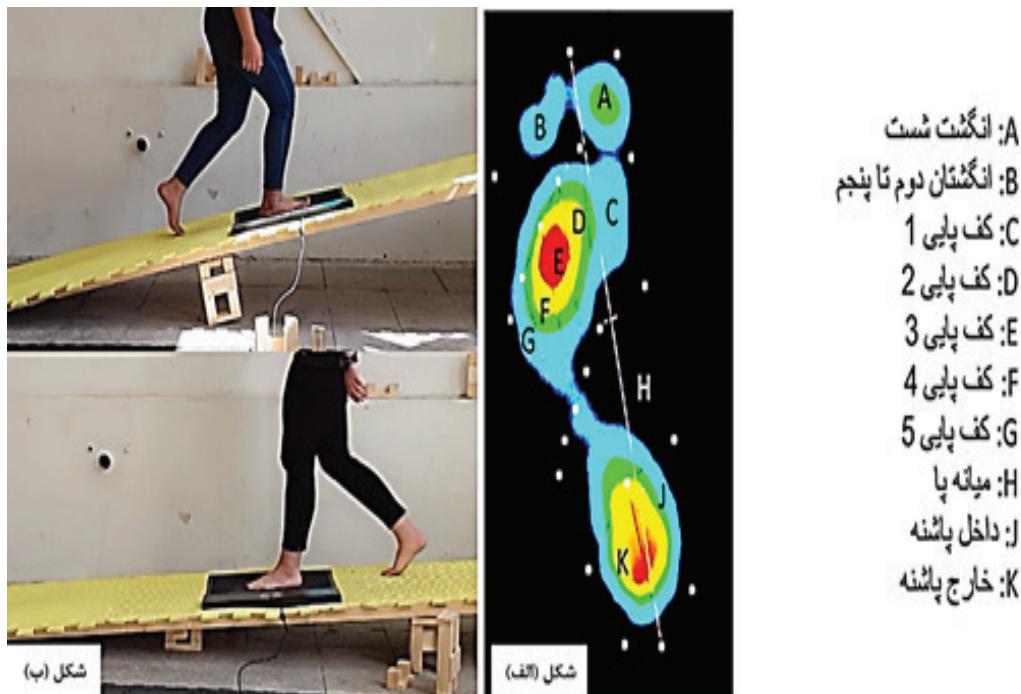
میزان فشار کف پایی در ده ناحیه آناتومیکی حساس به فشار شامل شست پا، انگشتان دوم تا پنجم، سرمتاتارسال اول تا پنجم، ناحیه میانی پا و ناحیه داخلی پاشنه پا و ناحیه خارجی پاشنه پا به وسیله دستگاه مشخص شد

محدوده سنی ۱۴ تا ۱۷ (۱۵ نفر دارای زانو ژنوواروم و ۱۵ نفر زانو سالم) به صورت نمونه در دسترس و هدفمند در تابستان ۱۴۰۰ بر اساس معیارهای ورود به پژوهش و خروج از آن توسط کارشناسان حرکات اصلاحی در کانون تدرستی منطقه ۱۶ تهران انتخاب شدند. برای اندازه گیری واروس زانو از یک کولیس (CA46150، Alton، چین) استفاده شد. برای این منظور از شرکت کنندگان خواسته شد تا در وضعیت آناتومیک بايستند. سپس فاصله بین دو اپی کندیل داخلی ران با استفاده از کولیس اندازه گیری شد. سپس افراد مبتلا به ژنوواروم با فاصله ۲ تا ۵ سانتی متر وارد مطالعه شدند (۱۰). معیارهای ورود به مطالعه شامل داشتن ژنوواروم در هر دو پا و عدم آسیب زانو در رباط های نگهدارنده بود. همچنین سابقه شکستگی اندام تحتانی، مشکلات عصبی عضلانی، نداشتن اختلاف طول حقیقی بیش از ۱ سانتی متر در پاهای و عدم وجود عارضه ناهنجاری زانو به عنوان معیار خروج در نظر گرفته شد. گروه سالم نیز داشتن وضعیت طبیعی در همه بخش های بدن، فاصله کمتر از ۱ سانتی متر بین دو اپی کندیل داخلی ران در سن ۱۴ تا ۱۷ سال بود.

حجم نمونه با استفاده از نرم افزار جی پاور (G Power) برای هر کدام از گروه ها با در نظر گرفتن توان ۰/۸۰ و سطح معناداری ۰/۰۵ و اندازه اثر متوسط ۰/۶، ۱۲ نفر برای هر گروه در نظر گرفته شد (۲۳) و با توجه به اینکه ممکن است برخی از آزمودنی ها در حین انجام کار تمايلی به ادامه همکاری نداشته باشند، ۱۰ الی ۲۰ درصد بیشتر از حجم نمونه جهت انجام کار محاسبه شد تا این مساله منجر به کمتر شدن حجم نمونه ها نسبت به حجم نمونه محاسبه شده نگردد. تمامی ملاحظات اخلاقی بر اساس دستورالعمل هلسینکی رعایت گردید. آزمودنی ها پس از تکمیل فرم رضایت نامه توسط والدین در مطالعه شرکت کردند. به آزمودنی ها اطمینان داده شد که اطلاعات آن ها محترمانه است و در صورت تمایل تنها اخبار آن ها قرار می‌گیرد. در ابتدا قد آزمودنی ها توسط قدسنج دیواری مثلثی (SM ۲۶) با دقیق ۱/۰ سانتیمتر و وزن آن ها به وسیله ترازوی دیجیتال کالیبره (Bs101) بدقت ۵/۰ کیلوگرم اندازه گیری شد. سپس PT-Scan4452F100 از دستگاه اسکن فشار کف پا (مدل ۱۰۰ ساخت ایران شرکت پایافناوران مشهد) با دقیق ۱۰۰ درصد با ۲۲۸۸ سنتسیور در در ماتریس ۴۴*۴۴ و فرکانس نمونه گیری ۴۰۰ هرتز استفاده شد. این

محور X را که بر محور طولی پا عمود است و تغیرات قدامی-خلفی (COPy) بیان می کند. مقادیر مثبت نشان دهنده حرکت داخلی مرکز فشار یا پرونیشن پا و مقادیر منفی نشان دهنده حرکت مرکز فشار به سمت خارج پا یا سوپر نیشن پاست.

(شکل ۱. الف). از بین پارامترهای کف پایی، حداکثر فشار کف پایی برای مقایسه بین گروه ها در نظر گرفته شد. علاوه بر آن مقادیر انحراف مرکز فشار از محور طولی پا نیز در این تحقیق در نظر گرفته شد. تغیرات مرکز فشار (COPx) (تغیرات داخلی- خارجی مرکز فشار نسبت به



شکل ۱. (الف) تقسیم بندی نقاط فشار کف پا؛ (ب) ارزیابی فشار کف پا حین راه رفت روى شیب مثبت و منفی

یافته ها

یافته های بدست آماده از مقایسه توزیع فشار کف پایی و تغیرات مرکز فشار دختران نوجوان دارای زانو سالم و مبتلا به ژنواواروم در شیب مسطح و شیب های مثبت و منفی ۸ و ۲۰ در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس مشخصات دموگرافیک آزمودنی ها در قدر وزن و سن همگن می باشند و تنها در فاصله بین دو اپی کنڈیل داخلی زانو دو گروه سالم و ژنواواروم دارای اختلاف معناداری بود. بر اساس جدول ۱ وزن دختران مبتلا به ژنواواروم از وزن افراد سالم کمتر بود اما میانگین سن و قد هر دو گروه تقریباً مشابه است.

از آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی توزیع نرمال داده ها استفاده شد. با استفاده از آزمون آنالیز واریانس دوسویه مکرر تفاوت در میزان متغیرها مورد مطالعه هنگام راه رفتن بین دو گروه ژنواواروم و سالم مورد بررسی قرار گرفت. در صورت وجود تفاوت، از آزمون تعییی توکی برای مقایسه متغیرهای متناظر درون هر فاکتور استفاده شد. این تجزیه و تحلیل ها با نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ با سطح معناداری ($P < 0.05$) استفاده شد. این تحقیق دارای کد اخلاقی به شماره (IR.SSRI.REC.1400.1182) از پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی بود.

جدول ۱. اطلاعات دموگرافیک آزمودنی های حاضر در پژوهش

زانو	(انحراف استاندارد ± میانگین)	سن (سال)	قد (سانتی متر)	وزن (کیلوگرم)	فاصله ای بین کندیل داخلی زانو (سانتی متر)
زنواروم	۱۶/۳۱ ± ۰/۷۰	۱۶۲/۹۳ ± ۵/۲۳	۵۱/۱۲ ± ۸/۹۷	۴۳۱ ± ۰/۷۱	۰/۳۱ ± ۰/۷۱
سالم	۱۶/۴۰ ± ۰/۶۳	۱۶۳/۷۳ ± ۶/۰۸	۵۸/۳۳ ± ۹/۲۳	۰/۸۴ ± ۰/۱۸۲	۰/۸۴ ± ۰/۱۸۲
sig	۰/۶۹۹	۰/۳۷۴	۰/۹۸۸	۰/۰۰۱°	۰/۰۰۱°

* ($\text{sig} \leq 0/05$)

برونیشن است (۷). همانطور که در جدول مشاهده می کنید تغییرات مرکز فشار کف پا در جهت قدامی - خلفی در افراد مبتلا به ژنواروم بطور معناداری نسبت به گروه سالم در شیب ۱۵- منفی تر و این نوسانات به میزان تقریبا ۲ میلی متر در جهت قدانی - خلفی در گروه ژنواروم بیشتر بود همچنین در شیب های مثبت و سطح صفر، بطور معناداری در شیب ۸ حداکثر فشار میانه پا در افراد دارای ژنواروم بیشتر از گروه سالم بود. با افزایش شیب مثبت (از ۸ تا ۲۰) تغییرات مرکز فشار قدامی خلفی در افراد مبتلا به ژنواروم بطور معناداری نسبت به گروه سالم منفی تر و این نوسانات به میزان تقریبا ۲ میلی متر در جهت قدامی خلفی در گروه ژنواروم بیشتر بود.

مطابق یافته های جدول ۲ در شب های منفی؛ در شب ۲۰- شاهد اختلاف معنادار بین دو گروه هستیم. این اختلاف معنادار بین گروهی در حداکثر فشار استخوان های کف پایی سوم و چهارم افراد مبتلا به ناهنجاری ژنواروم بیشتر از زانوی سالم بود؛ در شب ۱۵- حداکثر فشار کف پایی چهارم در گروه ژنواروم بطور معناداری بیشتر از گروه سالم بود. همچنین در شب ۸- اختلاف معنادار بین گروهی در حداکثر فشار استخوان کف پایی سوم افراد مبتلا به ناهنجاری ژنواروم بیشتر از زانوی سالم بود ولی این اختلاف معنادار در ناحیه خارج پاشنه در شب ۸- در گروه ژنواروم نسبت به سالم کمتر بود. تغییرات مرکز فشار ژنواروم نسبت به سالم کمتر منفی (-) در جدول نشان دهنده زاویه سوپینیشن و علامت مثبت نیز نشان دهنده زاویه

جدول ۲. میانگین ± انحراف استاندارد، حداکثر فشار کف پایی (کیلوگرم بر سانتی متر مربع) و جابجایی مرکز فشار (میلی متر) و نتایج مقایسه بین دو گروه ژنواروم و سالم در سطوح با شب مثبت و منفی

منطقه پا	شیب (درصد) گروه	شیب مثبت و منفی (انحراف استاندارد ± میانگین)	۲۰	۱۵	۸	صفرو	منطقه پا	شیب (درصد) گروه
زنواروم	زنواروم	۸/۹۵ ± ۱۵/۸۹	۲۶/۸۸ ± ۲۴/۴۴	۱۵/۸۹ ± ۱۸/۰۷	۲۴/۰۲ ± ۲۷/۷۳	۱۴/۶۴ ± ۱۵/۹۰	۲۰/۲۲ ± ۱۹/۰۶	۱۳/۲۲ ± ۱۰/۱۰
سالم	سالم	۱۳/۴۹ ± ۱۱/۳۸	۲۴/۰۳ ± ۱۱/۱۱	۱۶/۳۱ ± ۱۵/۷۷	۲۵/۴۸ ± ۲۱/۸۲	۱۴/۹۴ ± ۱۲/۶۴	۲۳/۰۷ ± ۱۴/۸۹	۱۰/۶۶ ± ۱۰/۲۰
sig	sig	۰/۴۷۹	۰/۳۷۹	۰/۷۰۶	۰/۵۴۰	۰/۸۴۹	۰/۶۹۳	۰/۶۰۸
زنواروم	زنواروم	۸/۷۵ ± ۱۳/۶۸	۲۲/۹۸ ± ۱۸/۷۸	۹/۴۵ ± ۹/۶۵	۲۳/۷۹ ± ۱۴/۹۰	۱۱/۵۴ ± ۱۲/۲۷	۱۴/۷۲ ± ۱۳/۳۴	۷/۴۲ ± ۶/۷۹
سالم	سالم	۱۰/۵۸ ± ۱۰/۷۳	۱۹/۸۷ ± ۱۰/۶۶	۱۲/۸۹ ± ۱۲/۷۴	۱۵/۷۸ ± ۱۱/۳۷	۱۲/۲۵ ± ۱۲/۲۱	۱۳/۱۳ ± ۹/۷۶	۱۴/۱۶ ± ۱۱/۷۸
sig	sig	۰/۷۳۸	۰/۶۷۲	۰/۷۰۶	۰/۲۰۹	۰/۶۶۸	۰/۶۸۰	۰/۱۷۴
زنواروم	زنواروم	۲۵/۰۷ ± ۱۸/۵۸	۲۴/۵۹ ± ۲۱/۹۳	۳۲/۳۴ ± ۲۱/۹۷	۲۲/۲۷ ± ۲۱/۳۵	۳۹/۵۹ ± ۴۴/۶۰	۳۲/۷۰ ± ۲۴/۸۷	۱۷/۵۶ ± ۱۳/۳۶
سالم	سالم	۳۰/۹۰ ± ۲۵/۲۷	۳۱/۸۶ ± ۲۱/۴۰	۲۸/۵۱ ± ۲۴/۰۰	۲۵/۱۷ ± ۱۴/۵۲	۲۸/۴۵ ± ۱۹/۸۴	۳۱/۶۱ ± ۲۲/۲۹	۱۴/۷۴ ± ۱۱/۸۱
sig	sig	۰/۳۵۷	۰/۴۱۱	۰/۳۰۴	۰/۵۱۲	۰/۵۴۲	۰/۹۸۱	۰/۱۹°
زنواروم	زنواروم	۳۴/۵۵ ± ۱۹/۷۶	۳۷/۲۶ ± ۲۲/۷۴	۴۱/۷۶ ± ۲۵/۲۱	۳۴/۰۷ ± ۱۵/۶۹	۴۰/۱۵ ± ۲۷/۸۸	۴۰/۱۵ ± ۲۷/۸۸	۳۴/۲۹ ± ۲۳/۸۷
سالم	سالم	۳۵/۲۰ ± ۱۰/۱۲	۳۸/۲۴ ± ۱۵/۹۳	۴۲/۳۸ ± ۱۹/۲۶	۳۹/۹۷ ± ۱۷/۳۰	۳۹/۴۹ ± ۱۲/۴۷	۴۰/۱۷ ± ۲۲/۰۷	۳۴/۱۹ ± ۹/۷۵
sig	sig	۰/۹۷۵	۰/۴۳۹	۰/۶۴۹	۰/۱۴۴	۰/۹۸۸	۰/۸۸۲	۱/۰۰
زنواروم	زنواروم	۶۱/۸۴ ± ۳۰/۱۶	۶۶/۹۰ ± ۲۶/۲۵	۵۵/۴۸ ± ۲۷/۶۵	۶۰/۳۶ ± ۳۷/۲۰	۵۵/۰۴ ± ۳۹/۸۸	۷۲/۴۴ ± ۳۹/۳۷	۵۴/۱۱ ± ۳۱/۸۵
سالم	سالم	۵۳/۶۵ ± ۲۱/۶۱	۵۴/۶۶ ± ۲۵/۲۳	۵۳/۶۵ ± ۲۰/۸۲	۵۶/۵۴ ± ۲۰/۴۶	۵۲/۷۷ ± ۲۵/۲۱	۵۴/۵۶ ± ۱۱/۹۹	۵۷/۳۶ ± ۱۶/۰۰
sig	sig	۰/۲۸۵	۰/۰۰۸°	۰/۸۳۹	۰/۰۶۶	۰/۵۵۰	۰/۰۲۷°	۰/۳۸۷

هانیه زهتاب اصغری و همکاران

٥٢/٦٩ ± ٣٠/٥٧	٧٣/٥٣ ± ٣٤/٩٠	٤٣/٥٢ ± ٢١/٩٧	٦٣/٢٥ ± ٤٣/٤٥	٤٤/٠.٨ ± ٣٠/٥٠	٥٦/٠.٧ ± ٣٠/١٣	٤٩/٤٩ ± ٢٥/٤٤	ژنوواروم
٤١/٥١ ± ٣٧/٧٣	٤٦/٨٠ ± ٢٣/٠٦	٣٨/٢١ ± ١٦/٩٤	٥٣/٢٢ ± ٢٨/٠٤	٤١/٤٦ ± ٢٣/٨٩	٤٩/٩٦ ± ٢٣/١٤	٤٦/٨٩ ± ١٤/٢٦	سالم
-/١٩٤	-/٠٠٣٠	-/٣٩٨	-/٠٣٩٠	-/٢٥٨	-/٣٢١	-/٢٣٥	sig
١١/٧٧ ± ١٤/١٠	١٩/٩١ ± ١٨/٨٣	٩/٢١ ± ٩/١٣	١٩/٩٢ ± ١٥/٤٨	١٢/٣٣ ± ١٢/٢٠	١٧/٨١ ± ١٥/١٤	١٤/٨٣ ± ٢٠/٠٩	ژنوواروم
١٠/٢٠ ± ١٣/٧٨	١٠/١٣ ± ٩/٢٠	٩/٢٨ ± ٨/٧٨	١٣/٣٨ ± ١٨/١٩	٥/٩٣ ± ٤/٤٨	١٠/٨٢ ± ٧/٦١	٧/٩٣ ± ١٤/٠٦	سالم
-/٦٩٢	-/١١٨	-/٩١٩	-/٢١٢	-/٠٧٧	-/١٩٤	-/٢٤٣	sig
٤٠/٧٤ ± ٢٨/٠٧	٢٥/٩٦ ± ١٩/٨٣	٢٩/٩١ ± ١٧/٠٣	٣٠/٢١ ± ١٧/٩٤	٣٣/٧٦ ± ٣١/٩٤	٣٠/٢٠ ± ٢٢/٥٣	٣٤/١٨ ± ٢٨/٩٨	ژنوواروم
١٩/٩٩ ± ١٧/٥٩	١٨/٣٦ ± ١٦/٢٤	١٨/٠٧ ± ١٣/٣٣	٢٣/٥١ ± ٢٦/٠٤	٢٣/١٩ ± ١٩/٥١	٢٤/٣٦ ± ٢٢/٢٩	٣٠/٦٩ ± ٢٧/٠٤	سالم
-/٠١٦٠	-/٤٤٥	-/١٩٣	-/٥٢١	-/٢٥٢	-/٧٣٧	-/١٤٩	sig
٣٢/٣٦ ± ٢٤/٣٥	١٧/٠٤ ± ١٢/٤٩	٣٢/٧٨ ± ١٧/٨٨	٢٢/١٠ ± ١٨/٥٧	٣٧/٧٥ ± ٣٧/٩٨	٢٥/٣٩ ± ٢٥/٧٢	٢٩/٣١ ± ٢٧/٢٥	ژنوواروم
٣١/٤٦ ± ١٩/٥٢	٣٠/٠٠ ± ٣٠/١٦	٣١/٠٩ ± ٢٤/٤٢	٢٩/٤٣ ± ١٧/٩٦	٣٨/٩٩ ± ١٩/٩٨	٢٨/١٧ ± ١٨/٤٤	٣١/٧٨ ± ١٩/٢٢	سالم
-/٨٢٩	-/٢٤٠	-/٦٩٧	-/٨١٣	-/٥٦٠	-/٧٦٥	-/٥١٤	sig
٥٥/٢٧ ± ٤٠/٢٦	٢٨/٣٥ ± ١٨/٠٧	٥٥/١٣ ± ٣٠/١٨	٣٣/٢٤ ± ١٩/١٠	٥٢/٥١ ± ٢٢/١٢	٣٤/٨٢ ± ١٦/٢٤	٥٥/٨٥ ± ٣٨/٩١	ژنوواروم
٦٠/٧٩ ± ٢٩/٩٣	٤٠/١٣ ± ٢٦/٣٠	٥٣/٧٤ ± ٢٠/٧٩	٤٧/٦٦ ± ٣٨/٢٨	٥٢/٢٦ ± ٢٣/٠١	٦٤/٢٠ ± ٢٢/١١	٧٦/٦٤ ± ٣٠/٣٠	سالم
-/٨٩٧	-/٣١٥	-/٨٦٠	-/٤٠٦	-/٨٨١	-/٠٠٨٠	-/١٣٩	sig
٢٧/٢٠ ± ١١/٨٤	٣٠/٥٦ ± ١١/٢٨	٢٨/٢٧ ± ٧/٧٩	٢٨/٦٥ ± ٨/٦٣	٢٥/٣ ± ١٠/٥٢	٢٨/٢٨ ± ١١/١٦	٢٤/٩٩ ± ٧/٧٩	ژنوواروم
٢٧/٠٦ ± ٦/٣٢	٢٨/٧١ ± ١٢/٩٩	٢٦/٨٨ ± ٩/٣٧	٢٨/٣٢ ± ١٠/٧٢	٢٦/٢٢ ± ٩/٥٤	٢٥/٥٠ ± ٩/٠٧	٢٣/٩٣ ± ٨/٤٦	سالم
-/٥٠٤	-/٨٤٤	-/٩١٤	-/٨٠٦	-/٤٢١	-/٥٧١	-/٨٤٣	sig
١/٨٠ ± ١٠/٧٢	١/٥٩ ± ٤/٤٩	١/٨٧ ± ١٠/٢٢	١/٨٥ ± ٣/٢١	١/٨٧ ± ٨/٢٩	١/٩٤ ± ٤/١٢	١/٩٥ ± ٠/٠٤	ژنوواروم
١/٨١ ± ٠/٠٢	١/٥٩ ± ٠/٠٤	١/٨٢ ± ٠/٠٣	١/٤٧ ± ٠/٠٤	١/٩٦ ± ٠/٠٤	١/٩٢ ± ٠/٠٣	١/٩٠ ± ٠/٠٣	سالم
-/١٤٤٠	-/٥٣٧	-/٧٧٨°	-/٠٣٩٠	-/١٤١°	-/٠٠١°	-/٠٥١	sig

* (sig ≤ 0/05)

دجت

مقادیر گشتاور نزدیک کننده وارد بر مفصل زانو در صفحه فرونتال حدود ۳۲ درصد در نوجوانان و جوانان دچار زانوی ژنواروم نسبت به همسالان سالم بیشتر است (۲۴). با افزایش شبی، زاویه زانو افراد سالم در صفحه فرونتال از واروس به زاویه والگوس تغییر می کند و در نتیجه، گشتاور آداسکنی به گشتاور آبداسکنی تغییر می کند. این تغییرات می تواند تأثیر مثبتی در کاهش تخریب سطوح مفصلی و همچنین کاهش سرعت پیشرفت آرزوی محفظه داخلی داشته باشد. اما این افزایش شبی در افراد دارای ژنواروم موجب افاضش، زاویه واروس، زانو می شود (۲۵).

بررسی متغیرهای مربوط به راه رفتن در گروه ژنواروم نشان داد که مناطق بخش خارجی پاشنه و استخوان کف پایی سوم در شب های مثبت و همچنین استخوان های کف پایی ۳ و ۴ در شب های منفی دارای بیشترین فشار بوده و کمترین فشار در اندکشستان ۲ تا ۵ و استخوان کف پایی پنجم و انگشت شست قرار داشت. بررسی متغیرهای مربوط به راه رفتن در گروه زانوی سالم نشان داد که مناطق بخش داخلی پاشنه، استخوان های کف پایی ۲ تا ۴ دارای بیشترین فشار بوده و کمترین فشار در مناطق میانی، انگشتان پا و

هدف از تحقیق حاضر بررسی تغییرات فشار کف پایی طی فاز استانس راه رفتن در نوجوانان دختر چهار زنوار و زانو در مقایسه با همسالان نرمال و تعیین اثر شیب سطح در تغییر الگوی توزیع فشار کف پایی بود. نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر حداکثر فشار در نواحی مختلف پا، در شیب ۲۰- در استخوان های کف پایی سوم و چهارم، شیب ۱۵- کف پایی چهارم و همچنین شیب ۸- استخوان کف پایی سوم و ناحیه خارج پاشنه اختلاف معنادار بود و تنها در میانه پا در شیب ۲۰ اختلاف معناداری وجود داشت و در دیگر نواحی گانه پا هیچ تفاوت معناداری بین مقادیر حداکثر فشار کف پایی در سطوح مختلف مثبت و منفی دو گروه مشاهده نشد. با توجه به محدودیت پیشینه تحقیق در موضوع مورد بررسی، نتیجه گیری نهایی در مورد نتایج مستخرج از این تحقیق با محدودیت مواجه است. این بدراستایی زانو در صفحه ساقیتال موجب کاهش حداکثر گشتاور اکستننس زانو در مرحله استانس راه رفتن به طور معنادار می شود (۲۴). حداکثر گشتاور چرخش داخلی زانو و حداکثر گشتاور چرخش خارجی، دان طی، فاز استانس راه رفتن و همچنین

قابلیت جذب نیرو مفصل افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار واروس و گشتاور اداکشن اعمال شده به محفظه داخلی زانو کاهش می‌یابد (۲۵). نتایج نشان داد که تعییرات مرکز فشار در شیب ۱۵، ۱۵، ۸ و ۲۰ بطور معناداری در گروه ژنوواروم نسبت به گروه سالم جایگایی بیشتری نشان داد. با افزایش شیب این مقدار نسبت به گروه سالم منفی ترمی شود. در نتیجه این مقادیر منفی، پرونیشن کمتری در مفصل سابتالار اتفاق افتاده است و باعث شده مرکز فشار به سمت خارج پا حرکت کند حرکت پرونیشن پا در مرحله استانس راه رفتن ضروری است و بدن انسان با این مکانیسم نیروهای تماسی وارد از زمین را کاهش می‌دهد (۲۶). حرکات در مفصل میدتارسال به وضعیت سابتالار وابسته است، وقتی که مفصل سابتالار در وضعیت پرونیشن قرار دارد، دو محور مفصل سابتالار موازی هستند که سبب تحرک پذیری و در نتیجه جذب شوک بالا در مفصل میدتارسال می‌شود (۲۶). حرکت اصلی پا طی فاز تماس پاشنه (۱۵ درصد ابتدایی فاز استانس) پرونیشن و جذب شوک ناشی از انتقال وزن طی فاز تماس پاشنه با زمین است (۳۲). نتایج پژوهش حاضر با تحقیقات فتاحی (۳۳)، سمعاعی (۳۴)، لیتنن (۳۵) ناهمخوان بود. شاید بتوان علت این ناهمخوانی را با تفاوت در جنسیت آزمودنی‌ها و همچنین انجام تکالیف داینامیک در تحقیق حاضر مرتبط دانست و اینکه باید در نظر داشت که ابزار و روش آزمایشگاهی مورداستفاده در پژوهش حاضر به علت دقت بالاتر نسبت به تس‌های میدانی، امکان سنجش تعادل افراد را بهتر فراهم می‌کند. این نتایج می‌تواند به مریبان و فیزیوتراپیست‌ها کمک کند تا برنامه‌های آسیب‌پیشگیری و ورزشی را طراحی کنند.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به عدم اندازه‌گیری فعالیت الکتریکی عضلات اندام تحتانی و همچنین اندازه‌گیری کینماتیک و کینتیک زانو اشاره کرد. به طور کلی وقتی سخن از سلامت عمومی افراد جامعه به میان می‌آید، وضعیت قرارگیری اندام‌های بدن نسبت به یکدیگر در اجرای حرکات مختلف و به عبارت دیگر برخورداری از پاسچر مناسب در فهرست عوامل مؤثر در کسب سلامت عمومی و به ویژه سلامت ارتوپدیکی قرار می‌گیرد. وضعیت صحیح قرارگیری اندام‌ها سبب می‌شود فرد با صرف انرژی کمتر و اعمال فشار و خستگی کمتر به مفاصل و عضلات، فعالیت‌های روزمره و ورزشی را انجام دهد. بخش زیادی از نوجوانان و جوانان با وضعیت

استخوان کف پایی بنجم قرار داشت. اما این ترکیب در شیب ۱۵ و ۲۰ متفاوت می‌باشد و بیشترین فشار بر استخوان کف پایی ۳۰ و ۴۰ کمترین فشار به بخش میانی و انگشتان پا و استخوان کف پایی پنجم وارد می‌شود. همچنین حداکثر فشار پا در شیب منفی در ناحیه انگشتان دوم تا پنجم ولی در شیب مثبت استخوان کف پایی اول در نوجوانان دارای ژنوواروم نسبت به همسالان سالم بیشتر بود. احتمالاً یکی از دلایل بیشتر بودن حداکثر فشار در ناحیه انگشتان دوم تا پنجم در افراد دارای ژنوواروم طی فاز استانس راه رفتن، بیشتر بودن مقادیر حداکثر گشتاور چرخش داخلی زانو طی فاز استانس راه رفتن است (۲۴). همچنین واروس زانو، سبب والگوس جلو پا و در نتیجه کاهش سطح مقطع ناحیه انگشتان دوم تا پنجم می‌شود. نیروها و گشتاورها در این ناحیه بیشتر و سطح مقطع کاهش می‌یابد؛ از این رو این مسئله موجب بالا رفتن فشار در این ناحیه می‌شود (۲۶). از مطالعات متناقض می‌توان به مطالعه حاجیلو (۷)، دیزاجی (۲۷)، فرجاد (۲۸)، بیناباجی (۸) اشاره کرد، در عین حال یافته‌های تحقیق حاضر با یافته‌های اسمی (۱۰)، جعفرنژاد (۲۹)، دهقانی (۶)، اسماعیلی (۱۲)، یو (۱۴) مطابقت داشت. که بر اساس تحقیقات انجام شده به این نتیجه رسیده‌اند که انگشت شست نسبت به سایر نواحی دارای حداکثر فشار بوده و استخوان کف پای دوم، پاشنه و سایر استخوان‌های کف پایی در مراتب بعدی قرار داشتند (۳۰). با توجه به محدودیت مطالعات در مورد توزیع فشار کف پایی نوجوانان روی شیب می‌توان عنوان کرد که علت تناقض نتایج می‌تواند به دلیل تفاوت بین سن و جنس آزمودنی‌ها و همچنین تفاوت در مورد نوع و شدت ناهنجاری افراد باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که در نوجوانان و جوانان دارای ژنوواروم با افزایش شیب راه رفتن از ۷/۵ به ۱۰ درصد، گشتاور زاویه ای زانو در برخورد پاشنه، میداستانس و بلند شدن انگشتان کاهش می‌یابد؛ در نتیجه مفصل زانو در لحظه برخورد پاشنه در مقایسه با راه رفتن معمولی فلکشن بیشتری دارد و این حالت در هنگام راه رفتن در شیب‌های منفی بر عکس می‌شود (۲۰). هنگام راه رفتن در شیب‌های منفی، مفصل زانو در موقعیت بسته قرار می‌گیرد. در این موقعیت، قابلیت جذب نیرو مفصل کاهش یافته و اوج اولیه نیروی واکنش زمین بر بدن در لحظه تماس پاشنه پا اعمال می‌شود (۳۱)، با افزایش شیب مثبت، مکانیسم گام تغییر می‌کند و مفصل به موقعیت شل نزدیک می‌شود.

فشار کف پایی در دختران نوجوان ژنواروم نسبت به سالم در پاشنه، سرهای کف پایی سوم و چهارم مشاهده شد. در راه رفتن در سرپالایی، تغییر اصلی در تماس پاشنه رخ می‌دهد، جایی که طول اندام بیشتر نشان دهنده خم بودن یک اندام است. در راه رفتن در سراشیبی، تغییر بزرگ طول اندام منعکس کننده افزایش خم شدن اندام در طول ایستادن است. تغییرات مرکز فشار با افزایش شبیب بر میزان جابجایی قدمی داخلی پا می‌افزاید و با افزایش شبیب منفی این نواسانات تقریباً یکسان است؛ بنابراین می‌توان شبیب های ۲۰، ۱۵ و ۸ را در جهت بهبود الگوی توزیع فشار کف پا دختران نوجوان دارای زانو ژنواروم پیشنهاد نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله پژوهشگران از تمامی دانش آموزان شرکت کننده در مطالعه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

نویسنگان هیچگونه تعارض منافعی در انتشار این مطالعه ندارند.

References

1. Kim P, Oh YK, Shin CS. Investigation on the kinetic and kinematic characteristics of knee and ankle joints during simulated downhill walking: Implication for ACL injury risk. Journal of Mechanical Science and Technology. 2016;30(10):4815-22. <https://doi.org/10.1007/s12206-016-0954-3>
2. Lee J, Yoon Y-J, Shin CS. The effect of backpack load carriage on the kinetics and kinematics of ankle and knee joints during uphill walking. Journal of applied biomechanics. 2017;33(6):397-405. <https://doi.org/10.1123/jab.2016-0221>
3. Lay AN, Hass CJ, Smith DW, Gregor RJ. Characterization of a system for studying human gait during slope walking. Journal of applied biomechanics. 2005;21(2). <https://doi.org/10.1123/jab.21.2.153>
4. Jeffers JR, Auyang AG, Grabowski AM. The correlation between metabolic and individual leg mechanical power during walking at different slopes and velocities. Journal of biomechanics. 2015;48(11):2919-24.

راستای نامطلوب اندام های تحتانی و به خصوص ناحیه زانوها مواجهند. این مشکل خطر ابتلا به بیماری ها و مشکلات زانو را افزایش می‌دهد و کاهش سطح سلامت جامعه و ازدیاد هزینه های درمانی را در پی خواهد داشت. بنابراین بررسی روش های درمانی کم هزینه و غیر تهاجمی و ساده در اصلاح عوارض ناشی از دفورمیتی های عضلانی -اسکلتی بسیار اهمیت دارد. در این میان چنانکه یافته های پژوهش حاضر نشان داد، راه رفتن روی شبیب ۲۰ و ۱۵ درصد به عنوان مطمئن ترین راه می‌تواند موجب بهبود الگوی راه توزیع فشار افراد دچار زانو پرانتزی و بهبود الگوی راه رفتن شود. با توجه به اهمیت سطح شبیب دار در فعالیتهای روزمره و تغییر الگوی راه رفتن در صورت بروز ناهنجاری و همچنین تفاوت فیزیولوژیکی دختران و پسران، پیشنهاد می‌گردد که به ارزیابی بیومکانیک راه رفتن و نحوه توزیع فشار کف پا همراه با فعالیت الکترومیوگرافی و تاثیر برنامه های تمرینی و اصلاحی با شبیب در توانبخشی افراد مبتلا به ناهنجاری های زانو پرداخته شود.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر؛ بیشترین

<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.04.023>

5. Pickle NT, Grabowski AM, Auyang AG, Silverman AK. The functional roles of muscles during sloped walking. Journal of biomechanics. 2016;49(14):3244-51. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.08.004>
6. Dehghani M, Jafarnezhadgero A, Abdollahpour Darvishani M. Evaluation of Plantar Pressure Variables in Blind Individuals Compared to Healthy Controls. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2019;8(3):171-8.
7. Hajilu B, Anbarian M, Sepehrian M, Esmaeili H. The effect of quadriceps muscle fatigue on foot plantar pressure distribution during stance phase of walking. Razi Journal of Medical Sciences. 2014;21(121):1-8. <http://rjms.iums.ac.ir/article-1-3221-en.html>
8. Beinabaji H, Anbarian M, Sokhangoue Y. The effect of flat foot on lower limb muscles activity pattern and plantar pressure characteristics during walking. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2013;8(8):1328-41.
9. Anker LC, Weerdesteyn V, van Nes IJ, Nienhuis

- B, Straatman H, Geurts AC. The relation between postural stability and weight distribution in healthy subjects. *Gait & posture.* 2008;27(3):471-7. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.06.002>
10. Asmi A, Othman N, Zain MM, Ab Wahid M, editors. A Study on Human Foot Pressure Behaviour and Balancing Characteristics. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2020: IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/884/1/012001>
11. Chow T-H. Traceable Features of Static Plantar Pressure Characteristics and Foot Postures in College Students with Hemiplegic Cerebral Palsy. *Journal of Personalized Medicine.* 2022;12(3):394. <https://doi.org/10.3390/jpm12030394>
12. Esmaeili H, Anbarian M, Salari Esker F. The effect of an eight-week corrective exercise program on plantar pressure distribution pattern in adolescents with genu varum deformity during stance phase of walking. *Journal of Exercise Science and Medicine.* 2014;5(2):73-86.
13. Esmaeili H, Ghasemi MH, Anbarian M, Ghavimi A. Comparison of plantar pressure distribution in runners with different foot structures. *Iranian Journal of Rehabilitation Research.* 2018;5(1):8-18. <http://ijrn.ir/article-1-335-en.html>
14. Yu B-K, Kim E-H. The effects of the correction exercise program combined with stretching and elastic band exercise on femoral intercondylar distance, Q-angle, plantar pressure in undergraduate with genu varum. *Journal of the korea academia-industrial cooperation society.* 2015;16(3):2064-72. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.3.2064>
15. Arabkhazaeli M, Abbasi A, Khaleghi-Tazji M, Letafatkar A. A Comparison of Coordination Variability of Lower Extremity Segments in Men with Genu Varum and Healthy Men during Treadmill Running at Different Speeds: A Cross-Sectional Study. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences.* 2020;16(1):370-9.
16. Esmaeilipour S, Shoaibuddin SS, Khaleghi M. The effect of local fatigue on selective parameters of kinematic gait in males with genu varum. 2018.
17. Gheitasi M, Bayattork M, Hovanloo F, Porrajab H. Comparing the Effect of a Fatigue Protocol on Kinematic Gait Parameters in Students With Genu Valgum and Genu Varum and Their Normal Peers. *PTJ.* 2019; 9 (2) :97-106. <https://doi.org/10.32598/ptj.9.2.97>
18. Jafarnezhadgero A, Majlesi M, Etemadi H, Hilfiker R, Knarr B, 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. *Science & Sports.* 2020;35(1):44. e1-. e11. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2018.12.011>
19. 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. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.05.030>
20. Naderi S, Mohammadipour F, Amir Seyfaddini M. The effects of different walking inclinations on knee angle in the frontal plane of patients with varus malalignment. *Physical Treatments-Specific Physical Therapy Journal.* 2014;4(3):139-44.
21. Norasteh AA, Emami S, Shamsi Majelan A. Kinetic and kinematic variables in middle-aged women with normal and genu varum knee angle with emphasis on walking and running activities. *Physical Treatments-Specific Physical Therapy Journal.* 2014;4(2):77-82.
22. Tarniță D, Petcu AI, Dumitru N. Influences of treadmill speed and incline angle on the kinematics of the normal, osteoarthritic and prosthetic human knee. *Romanian Journal of Morphology and Embryology.* 2020;61(1):199. <https://doi.org/10.47162/RJME.61.1.22>
23. 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. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
24. Stief F, Böhm H, Schwirtz A, Dussa CU, Döderlein L. Dynamic loading of the knee and hip joint and compensatory strategies in children and adolescents with varus malalignment. *Gait & posture.* 2011;33(3):490-5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.01.001>
25. Haggerty M, Dickin DC, Popp J, Wang H. The influence of incline walking on joint mechanics. *Gait & posture.* 2014;39(4):1017-21.

<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.12.027>

26. Nordin M. Basic biomechanics of the musculoskeletal system: Lippincott Williams & Wilkins; 2020.
27. Dizaji E, Memar R, Sadeghi H. Comparison of Plantar Pressure Distribution in Dominant & Non-dominant leg of female Kata and Kumite National Team. Journal of Sport Biomechanics. 2016;2(2):17-30.
28. Memar R, Pezeshk AF, Ghasempour H. Comparing Plantar Pressure Distribution and Vertical Ground Reaction Force Between Healthy Subjects and Middle-aged Adults With Leg Length Discrepancy (LLD). Journal of Modern Rehabilitation. 2022;16(1):45-52. <https://doi.org/10.18502/jmr.v16i1.8561>
29. Jafarnezhadgero A, Dehghani M, Darvishani MA, Barghamadi M. Comparison of plantar pressure variables during walking with and without immediate use of textured insoles in blind subjects. Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences. 2020;42(1):40-7. <https://doi.org/10.34172/mj.2020.018>
30. Anbarian M, Esmailie H, Nejhad SEH, Rabiei M, Binabaji H. Comparison of knee joint muscles' activity in subjects with genu varum and the controls during walking and running. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2012;8(2):298-309.
31. Chung M-J, Wang M-JJ. The change of gait parameters during walking at different percentage of preferred walking speed for healthy adults aged 20-60 years. Gait & posture. 2010;31(1):131-5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.09.013>
32. Hamill J, Knutzen KM. Biomechanical basis of human movement: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
33. Shahamiri F, Alizadeh M, Minonezhad H. The effect of genu varum deformity on dynamic stability in single jump-land. Studies of Sport Medicine. 2012;13:39-52.
34. Samaei A, Bakhtiary A, Elham F, Rezasoltani A. Effects of genu varum deformity on postural stability. International journal of sports medicine. 2012;33(06):469-73. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1301331>
35. Lytytinen T, Liikavainio T, Bragge T, Hakkainen M, Karjalainen PA, Arokoski JP. Postural control and thigh muscle activity in men with knee osteoarthritis. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2010;20(6):1066-74. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.05.005>