

Research Paper

Comparing Selected Parameters of Plantar Foot Pressure Distribution in Healthy Versus Genu Valgum Students During Walking on a Slope



Haniyeh Zehtab Asghari¹ , *AmirAli Jafarnezhadgero² , Mohammad Ali Azarbaijany³

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

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

3. Department of Sport Physiology, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.



Citation Zehtab Asghari H, Jafarnezhadgero AA, Azarbaijany MA. [Comparing Selected Parameters of Plantar Foot Pressure Distribution in Healthy Versus Genu Valgum Students During Walking on a Slope (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2024; 13(1):132-147. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.1.9>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.1.9>

ABSTRACT

Background and Aims Moving on steep surfaces is a demanding task in daily life, especially during walking. It poses challenges for the human locomotor system, especially for those with neuromuscular injuries or disease. Therefore, this study aimed to compare plantar pressure variables in healthy versus genu valgum students during walking on a sloped surface.

Methods This applied study was quasi-experimental and causal-comparative. The samples comprised 15 girls with genu valgum knees (between medial malleolus distance of 3.90 ± 0.44 cm) and 15 with healthy knees (between medial malleolus distance of 0.73 ± 0.29 cm). Plantar pressure variables were evaluated in 10 areas of the foot on the sloping surfaces at 0%, $\pm 8\%$, $\pm 10\%$, and $\pm 20\%$ in the stance phase of walking. A 2-way analysis of variance with repeated measures was used for statistical analysis. The significant level was set at 0.05.

Results Maximum pressure was only significant in the areas of the tarsal 1, metatarsal 2-4, and lateral rearfoot on the slopes of +8, -15, and -20 between the genu valgum and the healthy groups. The pressure was higher in the genu valgum group. Changes in the center of foot pressure on the positive and negative slopes of 8 and 15 in the genu valgum group compared to the healthy in the mediolateral direction significantly trended toward negative values.

Conclusion The study results showed that changes in the center of pressure increase the amount of foot supination by increasing the slope and decrease the amount of ankle pronation by increasing the negative slope. Therefore, slopes of -20, -15, and -8 can be suggested to improve the distribution pattern of plantar pressure in adolescent girls with genu valgum knee. However, further study in this area is warranted.

Keywords Genu valgum, Gait, Slope, Plantar pressure variables, Adolescents

Received: 06 Mar 2022

Accepted: 26 Mar 2022

Available Online: 20 Mar 2024

* Corresponding Author:

AmirAli Jafarnezhadgero, PhD.

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

Tel: +98 (910) 5146214

E-Mail: amiralijafarnezhad@gmail.com



Copyright © 2024 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Walking on ramps is an inevitable part of daily activities and exercises for various purposes, such as rehabilitation. The movement of the lower limbs changes with the angle of inclination. The difficulty of steep walking is evident in biomechanical results, such as increased metabolic energy consumption uphill relative to the ground surface and increased force absorption at the knee joint downhill. While the various aspects of walking on a ramp have been extensively studied, the plantar pressure variables were not. Improper distribution of forces on the sole causes stress on the foot, leg, and knee structure and can cause abnormal movements and muscle dysfunction. Any change in the mechanical direction of the lower limb can change the biomechanical pattern of walking and running, which is the most important change in this axis of the knee valgus. Genu valgum knee deformity causes the line of gravity to shift to the outer part of the knee. It increases the compressive forces on this part, making the knee prone to premature erosive changes and osteoarthritis.

Based on the literature, no study has been conducted on the foot pressure distribution in people with genu valgum while walking on sloped surfaces. However, this issue was addressed in people with healthy lower limbs when walking. Some studies have shown that the balance function and foot pressure distribution in humans when standing varies according to different factors. For normal people, there is usually more pressure on the front of the foot, followed by the back of the foot, and then the middle and the highest peak, and mean plantar pressure at the head of the second and third metatarsal bones are distributed in healthy individuals. On the other hand, the heel areas, the head bones of the second and third soles of the feet, and the thumb have the most pressure while walking, and the slightest pressure is applied to the two to five toes and the middle area of the foot. It should be noted that based on this information, most pressure in the heel area occurs in the early phase of the stance, and the maximum pressure below the plantar bones occurs in the late phase of the stance on a flat surface.

Given the importance of the onset of puberty in adolescence and the occurrence of musculoskeletal abnormalities in this age group, walking on a sloped surface can reduce gait stability and change the variety and complexity of walking. This is more obvious because some previous studies have shown that walking is biomechanically

more challenging and imposes more needs on the musculoskeletal system to increase the risk of slipping, change the mechanism of absorption, and reduce the softness of the walking pattern. Given that non-invasive methods are recommended to correct the alignment of children and adolescents to reduce the load on the knee compartments, walking on sloping surfaces can be a useful, non-invasive solution in people with anomalies. The knee was considered an adjunct in biomechanics and rehabilitation sciences to reduce pressure on the knee joint and as a preventive factor to prevent premature osteoarthritis in adulthood. So, the present study aimed to compare selected pressure distribution parameters. The soles of the feet were positive and negative in healthy students with genu valgum abnormalities while walking on ramps.

Materials and Methods

This applied research was quasi-experimental and causal-comparative. The study samples comprised 15 girls with genu valgum (between medial malleolus distance of 3.90 ± 0.44 cm) and 15 with healthy knees (between medial malleolus distance of 0.73 ± 0.29 cm). The sample size for each group was estimated using G*Power software. Considering the power of 0.80, the significance level of 0.05, and the average effect size of 0.6, G*Power software estimated at least 12 people for each group. Subjects participated in the study after completing the consent form by their parents. They were reassured that their information was confidential and provided only if they wished. First, the heights and weights of the subjects were taken. Then, with the sole pressure scanner, the information of the plantar pressure in 10 anatomical areas of the sole on the sloping surfaces of 0%, $\pm 8\%$, $\pm 10\%$, and $\pm 20\%$ in the stance phase of walking was examined. The Shapiro-Wilk test was used to examine the normal distribution of data. Statistical analysis was done using a 2-way analysis of variance with repeated measures. If there was a difference, the Tukey post hoc test was used to compare the corresponding variables within each factor. The analyses were done using SPSS software version 16 at a significance level of $P < 0.05$.

Results

Maximum pressure was significant between the two groups only in the areas of the tarsal 1 and metatarsal 2-4 and lateral rearfoot on the slope of +8, -15, and -20 with values in genu valgum group higher compared with healthy ones. Changes in the center of pressure of the foot on the positive and negative slopes of 8 and 15 in the genu valgum group compared to the healthy in the mediolateral direction significantly trended toward negative values.

Conclusion

The results showed that changes in the center of pressure increase the amount of foot supination by increasing the slope and decrease the amount of ankle pronation by increasing the negative slope. Therefore, slopes of -20, -15, and -8 can be suggested to improve the distribution pattern of plantar pressure in adolescent girls with genu valgum knee. However, further study is warranted.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of [Sport Sciences Research Institute of Iran](#) (Code: IR.SSRI.REC.1400.1182). All ethical principles were considered in this article. The participants were informed about the study objectives and methods. They were also assured of the confidentiality of their information and were free to leave the study at any time, and if desired, the research results would be available to them.

Funding

The paper was extracted from the PhD thesis of Haniyeh Zehtab Asghari at the Department of Sport Biomechanics, [Islamic Azad University of Central Tehran Branch](#). This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

All authors equally contributed to preparing this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

مقایسه پارامترهای منتخب توزیع فشار کف پای در دانش‌آموزان سالم و مبتلا به ناهنجاری ژنوالگوم حین راه رفتن روی شیب

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

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳. گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.



Citation Zehtab Asghari H, Jafarnezhadgero AA, Azarbaijany MA. [Comparing Selected Parameters of Plantar Foot Pressure Distribution in Healthy Versus Genu Valgum Students During Walking on a Slope (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2024; 13(1):132-147. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.1.9>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.1.9>

چکیده

مقدمه و اهداف: حرکت بر روی سطوح شی‌بدار، یک تکلیف چالش‌برانگیز در زندگی روزمره و به‌ویژه هنگام پیاده‌روی است که چالش‌هایی را برای سیستم حرکتی انسان ایجاد می‌کند، به‌خصوص برای کسانی که آسیب‌های عصبی-عضلانی اسکلتی یا بیماری دارند. از این رو، هدف این تحقیق مقایسه پارامترهای منتخب توزیع فشار کف پای در دانش‌آموزان سالم و مبتلا به ناهنجاری ژنوالگوم حین راه رفتن بر روی شیب بود.

مواد و روش‌ها: پژوهش از نوع نیمه‌آزمایشی، مدل تحقیق علی‌مقایسه‌ای و کاربردی بود. آزمودنی‌ها شامل ۱۵ دختر مبتلا به ناهنجاری زانو ژنوالگوم (با فاصله قوزک‌های داخلی $44 \pm 9/90$ سانتی‌متر) و ۱۵ دختر زانوی سالم (با فاصله قوزک داخلی $29 \pm 7/73$ سانتی‌متر) بود. میزان فشار کف پای در ۱۰ ناحیه آناتومیک کف پا بر روی سطوح شیب‌دار 8 ± 10 ، 20 ± 20 در فاز استانس راه رفتن مورد بررسی قرار گرفت. از آزمون تحلیل واریانس دوسویه با اندازه‌گیری‌های مکرر جهت تحلیل آماری استفاده شد. سطح معناداری برابر با $0/05$ بود.

یافته‌ها: حداکثر فشار تنها در نواحی انگشت شست و استخوان‌های کف پای ۲ تا ۴ و قسمت خارجی پاشنه در شیب 8 ± 15 و 20 ± 20 بین دو گروه ژنوالگوم و سالم دارای تفاوت معناداری بود که این فشار در گروه ژنوالگوم نسبت به گروه سالم بیشتر بود. تغییرات مرکز فشار پا در شیب مثبت و منفی ۸ و ۱۵ در گروه ژنوالگوم نسبت به سالم در جهت جانب داخلی-خارجی به‌طور معناداری بیشتر به سمت مقادیر منفی رفته است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تغییرات مرکز فشار با افزایش شیب بر میزان سوپینیشن پا می‌افزاید و با افزایش شیب منفی از میزان پرونیشن مچ پا می‌کاهد؛ بنابراین می‌توان شیب‌های 20 ± 15 و 8 ± 20 را در جهت بهبود الگوی توزیع فشار کف پا دختران نوجوان دارای زانو ژنوالگوم پیشنهاد کرد. با وجود این، مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ژنوالگوم، راه رفتن، شیب، متغیرهای فشار کف پای، نوجوانان

تاریخ دریافت: ۱۵ اسفند ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۰۶ فروردین ۱۴۰۱

تاریخ انتشار: ۰۱ فروردین ۱۴۰۳

* نویسنده مسئول:

دکتر امیرعلی جعفرنژاد گرو

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

تلفن: ۵۱۴۶۲۱۴ (۹۱۰) ۹۸

رایانامه: amirali.jafarnezhad@gmail.com



Copyright © 2024 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

راه رفتن^۱ بر روی سطوح شیب‌دار بخش اجتناب‌ناپذیر از فعالیت‌های روزمره و تمرینات با مقاصد مختلفی از جمله بازتوانی و توانبخشی استفاده می‌شود [۱-۳]. در هنگام راه رفتن بر روی شیب، سیستم عصبی-عضلانی جهت حفظ کنترل پاسچر و تعادل باید پایداری بدن را حفظ کند و به‌طور هم‌زمان حرکت رو به جلو و بالا را تضمین کند [۴، ۵]. حرکت اندام تحتانی با زاویه شیب تغییر می‌کند، هر چقدر بر میزان زاویه سطح شیب‌دار افزوده شود، کنترل سیستم عصبی-عضلانی و حرکات اندام‌های بدن چالش‌برانگیزتر می‌شود و بر الگوی راه رفتن فرد تأثیرگذار می‌باشد [۶، ۷]. دشواری راه رفتن شیب‌دار در نتایج بیومکانیکی مانند افزایش مصرف انرژی متابولیک در سربالایی نسبت به سطح زمین [۸] و افزایش جذب نیرو در مفصل زانو در سراسیابی [۹] مشهود است، درحالی‌که جنبه‌های مختلف راه رفتن در سطح شیب‌دار به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۰-۱۴] و درمورد چگونگی توزیع فشار کف پا^۲ بر روی سطوح شیب‌دار مطالعه‌ای صورت نگرفته است [۱۰-۱۴].

اندازه‌گیری توزیع فشار کف پا، یکی از روش‌های متداول و جدید است که ضمن تشخیص ناهنجاری‌های ساختاری پا، عملکرد پا را در شرایط استاتیک و داینامیک به‌خصوص هنگام راه رفتن مورد بررسی قرار می‌دهد [۱۵]. نحوه توزیع حداکثر فشار کف پای تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند سن، جنس، نژاد و همچنین خصوصیات دستگاه اندازه‌گیری قرار می‌گیرد [۱۶]. توزیع نامناسب نیروها بر کف پا باعث اعمال استرس بر ساختار پا، ساق و زانو می‌شود و می‌تواند باعث حرکات غیرطبیعی و همچنین اختلال در عملکرد عضلات شود [۱۷].

هرگونه تغییر در راستای مکانیکی اندام تحتانی می‌تواند الگوی بیومکانیکی راه رفتن و دویدن را تغییر دهد که مهم‌ترین تغییر در این محور افزایش والگوس^۳ زانو می‌باشد. ناهنجاری زانو ژنوالگوم موجب جابه‌جایی خط کشش ثقل به سمت بخش خارجی زانو و افزایش نیروهای فشاری بر این قسمت می‌شود. این تغییرات موجب برهم خوردن قرینگی در توزیع نیروی وزن و بی‌ثباتی در وضعیت‌های تحمل وزن می‌گردد. این ناهنجاری با ایجاد تغییراتی در راستای طبیعی وضعیت بدنی در اندام تحتانی به‌نوبه‌خود ممکن است تغییراتی در راستای مرکز ثقل بدن نسبت به سطح اتکاء ایجاد و کنترل تعادل بدن را محدود کند [۱۸]. به‌علت تغییر محل خط ثقل و افزایش فشار غیرطبیعی وارده بر قسمت‌های مختلف سطوح مفصلی، زانو مستعد تغییرات فرسایشی زودرس و البته آرتروز خواهد شد [۱۹].

در برخی موارد، پروناسیون بیش از حد پا ممکن است باعث افزایش بار والگوس روی زانو شود [۲۰]. براساس مطالعات صورت گرفته، پژوهشی مربوط به توزیع فشار کف در افراد دارای زانوی ژنوالگوم و شیب پیدا نشد اما در مطالعات توزیع فشار کف پا در افراد دارای ناهنجاری‌های اندام تحتانی و سالم هنگام راه رفتن به این موضوع پرداختند. مطالعات نشان داد که در بین پارامترهای فشار کف پای، حداکثر بار وارده بر نواحی مختلف پا طی فاز راه رفتن و دویدن اندازه‌گیری می‌شود. هرگونه تغییر در الگوی فشار کف پای، بافت‌های اندام تحتانی را متحمل آسیب می‌کنند و ممکن است ایجاد درد را افزایش دهد [۱۶، ۲۱، ۲۲].

برخی مطالعات نشان داد که عملکرد تعادلی و توزیع فشار پای انسان در هنگام ایستادن باتوجه به عوامل مختلف متفاوت است، به‌گونه‌ای که برای افراد عادی، معمولاً فشار بیشتر روی بخش جلویی پا و به دنبال آن عقب پا و سپس بخش میانی می‌باشد و بالاترین اوج و میانگین فشار کف پای در سر استخوان‌های متاتارس دوم و سوم در افراد سالم توزیع می‌شوند [۲۳]. از طرفی مناطق پاشنه، سر استخوان‌های کف پای دوم و سوم و انگشت شست دارای بیشترین فشار حین راه رفتن است و کمترین فشار بر انگشت ۲ تا ۵ و ناحیه میانی پا متحمل می‌شوند [۱۷]. نتایج مطالعات دیگر نیز حاکی از این بود که حداکثر فشارها در ناحیه پاشنه، جلوی پا و انگشت بزرگ بود، درحالی‌که کمترین فشارها زیر ناحیه میانی پا و انگشت خارجی معرفی شد. براساس این اطلاعات، بیشترین فشارها در ناحیه پاشنه در اوایل فاز استانس و حداکثر فشارها زیر سر استخوان‌های کف پای در اواخر فاز استانس در سطح هموار رخ می‌دهد [۲۴].

باتوجه به اهمیت شروع بلوغ در دوره نوجوانی و بروز ناهنجاری‌های اسکلتی-عضلانی در این دوره سنی، راه رفتن بر روی شیب مسیر می‌تواند ثبات راه رفتن را کاهش و تنوع و پیچیدگی راه رفتن را تغییر دهد و این در پایین آمدن بارزتر است، زیرا برخی از مطالعات قبلی نشان داده‌اند که این کار از نظر بیومکانیکی چالش‌برانگیزتر از راه رفتن است و نیازهای بیشتری را به سیستم اسکلتی-عضلانی مربوط به افزایش خطر لغزش، تغییر مکانیسم جذب نیرو و کاهش نرمی الگوی راه رفتن تحمیل می‌کند [۲۵-۲۸].

باتوجه به اینکه روش‌های غیرتهاجمی در جهت تصحیح راستای اندام کودکان و نوجوانان برای کاهش بارهای وارده به کمپارتمان‌های زانو پیشنهاد می‌شود، در این میان می‌توان راه رفتن بر روی سطوح شیب‌دار را به‌عنوان یک راهکار غیرتهاجمی سودمند در افراد دارای ناهنجاری زانو پیشنهاد کرد تا به‌عنوان یک ابزار کمکی در علوم بیومکانیک و توانبخشی برای کاهش فشار به مفصل زانو در نظر گرفته شود و به‌عنوان یک عامل پیشگیرانه از بروز آرتروز زودرس در بزرگسالی جلوگیری کند. بنابراین هدف از پژوهش حاضر مقایسه پارامترهای منتخب توزیع فشار کف پای

1. Gait
2. foot pressure
3. Valgus

در دانش آموزان سالم و مبتلایه ناهنجاری ژنوالگوم حین راه رفتن بر روی سطوح شیبدار مثبت و منفی بود.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نوع نیمه‌آزمایشی، مدل تحقیق علی‌مقایسه‌ای و نوع تحقیق کاربردی بود. جامعه آماری تحقیق را دختران نوجوان شهر تهران تشکیل می‌دهند که ۳۰ نفر با محدوده سنی ۱۴ تا ۱۷ (۱۵ نفر دارای زانو ژنوالگوم و ۱۵ نفر زانو سالم) به صورت نمونه در دسترس و هدفمند براساس معیارهای ورود به پژوهش و خروج از آن توسط کارشناسان حرکات اصلاحی انتخاب شدند. برای اندازه‌گیری والگوس زانو از یک کولیس (CA46150، Alton، چین) استفاده شد.

برای این منظور از شرکت‌کنندگان درخواست شد تا در وضعیت آناتومیک بایستند. سپس فاصله بین دو قوزک داخلی پا با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. سپس افراد مبتلایه ژنوالگوم با فاصله داخلی مچ پا ۲ تا ۵ سانتی‌متر [۲۹، ۳۰] وارد مطالعه شدند. معیارهای ورود به مطالعه شامل داشتن ژنوالگوس در هر دو پا و عدم آسیب زانو در رباط‌های نگهدارنده بود. همچنین سابقه شکستگی اندام تحتانی، مشکلات عصبی عضلانی، نداشتن اختلاف طول حقیقی بیش از ۱ سانتی‌متر در پاها و عدم وجود عارضه ژنوالگوم به عنوان معیار خروج در نظر گرفته شد. گروه نرمال نیز داشتن وضعیتی طبیعی در همه بخش‌های بدن، فاصله کمتر از ۱ سانتی‌متر بین دو قوزک داخلی مچ در دامنه سنی ۱۴ تا ۱۷ سال بود.

حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور^۴ برای هر کدام از گروه‌ها 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 [۳۰]. آزمودنی‌ها پس از تکمیل فرم رضایت‌نامه توسط والدین در مطالعه شرکت کردند. به آزمودنی‌ها اطمینان داده شد که اطلاعات آن‌ها محرمانه است و در صورت تمایل تنها در اختیار آن‌ها قرار می‌گیرد. این تحقیق در پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی تأیید شده است.

در ابتدا قد آزمودنی‌ها با قدسنج دیواری مثلثی (۲۶ SM) با دقت ۰/۱ سانتی‌متر و وزن آن‌ها به وسیله ترازوی دیجیتال کالیبره (Bs101) با دقت ۰/۵ کیلوگرم اندازه‌گیری شد. سپس از دستگاه اسکن فشار کف پا^۵ (مدل PT-Scan4452F100 ساخت ایران شرکت پایافناوران مشهد) استفاده شد. این 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 در حالت ایستا و گام برداشتن در حالت

داینامیک توسط سیستم ثبت می‌شود. برای ثبت توزیع فشار کف پایی آزمودنی‌ها، یک بار با پای راست و یک بار با پای چپ با ۳ تکرار بر روی سطح مسطح و ۳ سطح شیبدار (۸، ۱۵، ۲۰ درصد) به صورت مثبت (بالا رفتن) و منفی (پایین آمدن) استفاده شد.

در ابتدا از آزمودنی درخواست شد 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 موردنظر را در شیب (۰) یک بار با پای راست و یک بار با پای چپ با ۳ تکرار انجام داد. برای سطوح شیبدار نیز ابتدا دستگاه در مرکز سطح شیبدار به صورت هم‌سطح با شیب قرار داده شد. به دلیل آنکه در ابتدا و انتهای راه رفتن با افزایش و کاهش سرعت راه رفتن فرد مواجه هستیم، از فرد خواسته شد برای تمرین شیب ۳ متری را ۵ بار به صورت تمرینی با سرعت دلخواه بالا (مثبت) و پایین (منفی) رود (تصویر شماره ۱-ب). در هنگام اجرای تست‌ها، آزمودنی هیچ‌گونه حرکت اضافی از جمله صحبت کردن و نگاه کردن به زمین نباید داشته باشد، زیرا موجب خطا در ثبت داده‌ها و تست‌ها می‌شود.

میزان فشار کف پایی در ۱۰ ناحیه آناتومیکی حساس به فشار شامل شست پا^۶، انگشتان دوم تا پنجم^۷، سرم متاتارسال اول تا پنجم^۸، ناحیه میانی پا^۹ و ناحیه داخلی پاشنه پا^{۱۰} و ناحیه خارجی پاشنه پا^{۱۱} به وسیله دستگاه مشخص شد (تصویر شماره ۱-الف). از بین پارامترهای کف پایی، حداکثر فشار کف پایی برای مقایسه بین گروه‌ها در نظر گرفته شد. علاوه بر آن مقادیر انحراف مرکز فشار از محور طولی پا نیز در این تحقیق در نظر گرفته شد. تغییرات مرکز فشار در دو محور X و Y به صورت تغییرات داخلی-خارجی مرکز فشار پا (COPX) که بر محور طولی پا عمود است و تغییرات قدامی-خلفی مرکز فشار پا (COPY) بیان می‌کند. مقادیر مثبت نشان‌دهنده حرکت داخلی مرکز فشار یا پرونیشن^{۱۲} پا و مقادیر منفی نشان‌دهنده حرکت مرکز فشار به سمت خارج پا یا سوپی نیشن^{۱۳} پاست.

از آزمون شاپیرو ویلک^{۱۴} برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها استفاده شد. با استفاده از آزمون تحلیل واریانس دوسویه مکرر، تفاوت در میزان متغیرهای مورد مطالعه هنگام راه رفتن بین دو گروه ژنوالگوم و سالم مورد بررسی قرار گرفت. در صورت وجود تفاوت، از آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه متغیرهای متناظر

6. Tarsal 1
7. Tarsal 2-5
8. Metatarsal 1-5
9. Mid Foot
10. Medial Rear Foot
11. Latera Rear Foot
12. Pronation
13. Supination
14. Shapiro-Wilk Test

4. G Power
5. Foot Pressure

جدول ۱. اطلاعات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌های حاضر در پژوهش

زنان				
میانگین $\pm$ انحراف معیار				
متغیر	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	فاصله قوزک داخلی (سانتی‌متر)
ژنوالگوم	$16/23 \pm 0/725$	$160/46 \pm 6/145$	$69/61 \pm 8/95$	$3/90 \pm 0/44$
سالم	$16/40 \pm 0/63$	$163/73 \pm 6/08$	$58/33 \pm 9/23$	$0/84 \pm 0/182$
سطح معنی‌داری	$0/515$	$0/170$	$0/03^*$	$0/000^*$

طب توانبخشی

* سطح معنی‌داری ($P \leq 0/05$)

درون هر فاکتور استفاده شد. این تجزیه و تحلیل‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ با سطح معناداری $P < 0/05$ استفاده شد.

یافته‌ها

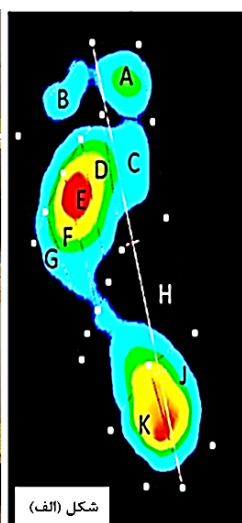
براساس مشخصات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها، وزن و فاصله بین قوزک داخلی مچ پا بین دو گروه سالم و ژنوالگوم دارای اختلاف معناداری بود. براساس جدول شماره ۱ وزن دختران مبتلا به ژنوالگوم از وزن افراد سالم کمتر بود اما میانگین سن هر دو گروه تقریباً مشابه است. همچنین گروه ژنوالگوم از قد تقریباً کوتاه‌تری نسبت به گروه سالم برخوردار بودند (جدول شماره ۱). یافته‌های به‌دست‌آمده از مقایسه توزیع فشار کف پای و تغییرات مرکز فشار دختران نوجوان دارای زانو سالم و مبتلا به ژنوالگوم در شیب مسطح و شیب‌های مثبت و منفی ۸، ۱۵ و ۲۰ در جداول شماره ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است.

مطابق یافته‌های جدول شماره ۲ در شیب‌های منفی، تنها در شیب ۲۰- در پای راست آزمودنی‌ها اختلاف معنادار بین دو گروه مشاهده می‌شود. این اختلاف معنادار بین گروهی در حداکثر فشار انگشت شست افراد مبتلا به ناهنجاری ژنوالگوم بیشتر از زانوی سالم بود؛ درحالی‌که این اختلاف معنادار در حداکثر فشار کف پای ۲ افراد مبتلا به ژنوالگوم از گروه سالم کمتر بود. در پای چپ آزمودنی‌ها در شیب ۲۰- حداکثر فشار کف پای ۳ در گروه سالم به‌طور معناداری بیشتر از گروه ژنوالگوم بود. همچنین در شیب ۱۵- حداکثر فشار کف پای ۳ و ۴ در گروه ژنوالگوم به‌طور معناداری کمتر از گروه سالم بود.

تغییرات مرکز فشار نشان می‌دهد که علامت منفی (-) در جدول شماره ۲ نشان‌دهنده زاویه سوپینیشن و علامت مثبت نیز نشان‌دهنده زاویه پرونییشن است [۱۶]. همان‌طور که در جدول یادشده مشاهده می‌کنید تغییرات مرکز فشار پای راست و چپ در جهت قدامی-خلفی در افراد مبتلا به ژنوالگوم به‌طور معناداری



شکل (ب)



شکل (الف)

- A: انگشت شست
B: انگشتان دوم تا پنجم
C: کف پای ۱
D: کف پای ۲
E: کف پای ۳
F: کف پای ۴
G: کف پای ۵
H: میانه پا
I: داخل پاشنه
K: خارج پاشنه

تصویر ۱. (الف) تقسیم‌بندی نقاط فشار کف پا؛ (ب) ارزیابی فشار کف پا حین راه رفتن روی شیب مثبت و منفی

طب توانبخشی

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار، حداکثر فشار کف پای (کیلوگرم بر سانتی متر مربع) و جابه جایی مرکز فشار (میلی متر) و نتایج مقایسه بین دو گروه ژنوالگوم و سالم در سطوح با شیب منفی

منطقه پا	شیب (درصد %)	میانگین $\pm$ انحراف معیار				Sig.	
		پای راست		پای چپ		پای راست	پای چپ
		ژنوالگوم	سالم	ژنوالگوم	سالم		
انگشت شست	-۲۰	۲۴/۶۹ $\pm$ ۱۲/۸۷	۱۴/۳۸ $\pm$ ۱۳/۸۰	۳۴/۹۰ $\pm$ ۲۵/۱۹	۲۴/۰۳ $\pm$ ۱۱/۱۱	۰/۰۵*	۰/۱۳۳
	-۱۵	۲۸/۴۲ $\pm$ ۱۳/۴۷	۱۹/۶۸ $\pm$ ۲۱/۹۸	۳۲/۸۶ $\pm$ ۱۲/۹۵	۲۵/۴۸ $\pm$ ۲۱/۸۲	۰/۲۲۷	۰/۲۹۶
	-۸	۲۱/۱۸ $\pm$ ۹/۲۷	۱۲/۳۴ $\pm$ ۱۴/۸۷	۱۷/۷۶ $\pm$ ۱۴/۸۹	۲۳/۰۷ $\pm$ ۱۴/۸۹	۰/۰۷۶	۰/۳۵۵
انگشت ۲-۵	-۲۰	۴۴/۹۷ $\pm$ ۲۵/۵۳	۳۳/۹۳ $\pm$ ۱۳/۹۲	۲۵/۲۳ $\pm$ ۱۷/۷۱	۱۹/۸۷ $\pm$ ۱۰/۶۶	۰/۱۶۰	۰/۳۳۴
	-۱۵	۳۸/۵۵ $\pm$ ۱۶/۲۹	۴۰/۸۰ $\pm$ ۱۷/۳۵	۱۶/۳۴ $\pm$ ۱۲/۱۰	۱۵/۷۸ $\pm$ ۱۱/۳۷	۰/۷۲۸	۰/۹۰۲
	-۸	۳۱/۲۲ $\pm$ ۲۰/۶۰	۳۲/۰۵ $\pm$ ۱۶/۱۸	۱۷/۲۶ $\pm$ ۱۴/۰۰	۱۳/۱۳ $\pm$ ۹/۷۶	۰/۹۰۵	۰/۳۶۹
کف پای ۱	-۲۰	۱۴/۲۵ $\pm$ ۱۲/۲۹	۲۰/۷۲ $\pm$ ۱۵/۹۷	۲۵/۶۳ $\pm$ ۲۰/۳۵	۳۱/۸۶ $\pm$ ۲۱/۴۰	۰/۲۵۴	۰/۶۳۸
	-۱۵	۲۱/۴۰ $\pm$ ۱۵/۱۸	۲۲/۳۸ $\pm$ ۲۸/۷۳	۳۷/۰۴ $\pm$ ۱۹/۱۲	۲۵/۱۷ $\pm$ ۱۴/۵۲	۰/۹۱۳	۰/۰۷۴
	-۸	۲۲/۶۷ $\pm$ ۲۱/۰۰	۱۶/۳۵ $\pm$ ۱۳/۸۵	۳۰/۹۵ $\pm$ ۲۰/۲۶	۳۱/۶۱ $\pm$ ۲۳/۲۹	۰/۲۸۰	۰/۹۳۷
کف پای ۲	-۲۰	۲۰/۸۲ $\pm$ ۸/۲۱	۳۰/۲۱ $\pm$ ۱۳/۶۳	۲۹/۹۴ $\pm$ ۱۵/۱۰	۳۸/۲۴ $\pm$ ۱۵/۹۳	۰/۰۴۰*	۰/۱۷۱
	-۱۵	۲۴/۱۱ $\pm$ ۱۳/۷۵	۲۸/۱۲ $\pm$ ۱۴/۸۰	۲۸/۰۸ $\pm$ ۱۳/۰۳	۳۹/۹۷ $\pm$ ۱۷/۳۰	۰/۴۶۶	۰/۰۵۳
	-۸	۲۵/۳۰ $\pm$ ۱۱/۷۰	۲۸/۱۳ $\pm$ ۱۹/۰۴	۳۶/۸۱ $\pm$ ۱۹/۷۵	۴۰/۱۷ $\pm$ ۲۳/۰۷	۰/۶۴۶	۰/۶۸۵
کف پای ۳	-۲۰	۳۷/۳۰ $\pm$ ۲۲/۲۱	۴۰/۹۱ $\pm$ ۱۵/۲۹	۳۶/۰۶ $\pm$ ۱۹/۸۵	۵۴/۶۶ $\pm$ ۲۵/۲۳	۰/۶۱۶	۰/۰۳۲
	-۱۵	۳۵/۱۱ $\pm$ ۱۹/۳۷	۳۸/۸۸ $\pm$ ۱۱/۸۱	۳۷/۱۳ $\pm$ ۱۸/۴۳	۵۶/۵۴ $\pm$ ۲۰/۴۶	۰/۵۳۴	۰/۰۱۵
	-۸	۴۰/۲۹ $\pm$ ۱۶/۶۷	۵۰/۸۷ $\pm$ ۱۷/۷۸	۴۴/۲۰ $\pm$ ۲۰/۱۴	۵۴/۵۶ $\pm$ ۱۱/۹۹	۰/۱۱۸	۰/۱۰۵
کف پای ۴	-۲۰	۳۵/۲۳ $\pm$ ۱۷/۲۳	۴۶/۱۰ $\pm$ ۱۸/۵۹	۳۶/۳۲ $\pm$ ۱۹/۶۶	۴۶/۸۰ $\pm$ ۲۳/۰۶	۰/۱۲۳	۰/۲۱۱
	-۱۵	۳۵/۹۰ $\pm$ ۱۵/۲۰	۴۱/۳۰ $\pm$ ۱۶/۸۹	۳۱/۰۴ $\pm$ ۱۹/۶۰	۵۳/۲۲ $\pm$ ۲۸/۰۴	۰/۳۸۵	۰/۰۲۴
	-۸	۴۳/۲۳ $\pm$ ۲۳/۹۶	۴۹/۴۰ $\pm$ ۱۰/۲۷	۴۰/۰۴ $\pm$ ۲۷/۷۸	۴۹/۹۶ $\pm$ ۲۳/۱۴	۰/۳۸۰	۰/۳۱۲
کف پای ۵	-۲۰	۲۰/۳۹ $\pm$ ۱۱/۰۱	۲۱/۶۲ $\pm$ ۱۳/۰۰	۱۱/۱۱ $\pm$ ۹/۴۹	۱۰/۱۳ $\pm$ ۹/۲۰	۰/۷۹۱	۰/۷۸۴
	-۱۵	۱۸/۵۹ $\pm$ ۱۱/۰۴	۲۶/۷۸ $\pm$ ۱۷/۲۵	۹/۷۳ $\pm$ ۷/۳۹	۱۳/۲۸ $\pm$ ۱۸/۱۹	۰/۱۵۴	۰/۵۰۴
	-۸	۲۱/۷۰ $\pm$ ۱۱/۵۴	۳۷/۹۳ $\pm$ ۱۴/۱۷	۱۱/۳۱ $\pm$ ۸/۸۹	۱۰/۸۲ $\pm$ ۷/۶۱	۰/۲۱۸	۰/۸۷۸
میانه پا	-۲۰	۱۷/۰۴ $\pm$ ۱۸/۲۱	۱۷/۵۸ $\pm$ ۱۷/۳۸	۱۷/۳۱ $\pm$ ۲۲/۱۸	۱۸/۳۶ $\pm$ ۱۶/۲۴	۰/۹۳۷	۰/۸۸۶
	-۱۵	۱۵/۴۰ $\pm$ ۱۴/۰۱	۱۹/۲۰ $\pm$ ۱۶/۱۷	۲۰/۵۹ $\pm$ ۲۰/۰۲	۲۳/۵۱ $\pm$ ۲۶/۰۶	۰/۵۱۵	۰/۷۵۴
	-۸	۲۱/۴۸ $\pm$ ۲۱/۲۷	۲۱/۲۶ $\pm$ ۱۵/۵۶	۲۴/۴۹ $\pm$ ۲۰/۸۲	۲۴/۲۶ $\pm$ ۲۲/۲۹	۰/۹۷۵	۰/۹۸۸
داخل پاشنه	-۲۰	۱۲/۱۴ $\pm$ ۷/۳۹	۲۰/۱۶ $\pm$ ۱۷/۰۴	۲۱/۶۹ $\pm$ ۲۴/۸۶	۳۰/۰۰ $\pm$ ۳۰/۱۶	۰/۱۲۸	۰/۳۲۸
	-۱۵	۲۰/۱۹ $\pm$ ۲۱/۹۲	۲۰/۱۱ $\pm$ ۲۳/۲۸	۲۷/۲۳ $\pm$ ۲۲/۵۷	۲۹/۴۳ $\pm$ ۱۷/۹۶	۰/۹۹۳	۰/۷۷۶
	-۸	۲۰/۱۶ $\pm$ ۱۲/۷۴	۲۳/۵۰ $\pm$ ۹/۹۵	۳۱/۷۴ $\pm$ ۲۲/۰۹	۲۸/۱۷ $\pm$ ۱۸/۴۴	۰/۴۴۳	۰/۶۴۵

Sig.		میانگین $\pm$ انحراف معیار				شیب (درصد%)	منطقه پا
پای چپ	پای راست	پای چپ		پای راست			
		سالم	ژنوالگوم	سالم	ژنوالگوم		
۰/۲۱۱	۰/۲۱۱	۴۰/۱۳ $\pm$ ۳۶/۳۰	۲۵/۷۹ $\pm$ ۱۸/۶۸	۵۰/۸۸ $\pm$ ۲۸/۰۶	۳۸/۹۵ $\pm$ ۱۹/۶۳	-۲۰	خارج پاشنه
۰/۵۱۹	۰/۲۱۸	۴۷/۶۶ $\pm$ ۳۸/۲۸	۳۹/۸۸ $\pm$ ۲۰/۶۵	۵۰/۹۷ $\pm$ ۲۴/۷۱	۳۸/۷۰ $\pm$ ۲۶/۶۹	-۱۵	
۰/۴۴۵	۰/۱۴۶	۰/۰۶ $\pm$ ۰/۰۲	۵۷/۰۹ $\pm$ ۲۶/۴۲	۶۵/۳۳ $\pm$ ۲۶/۶۰	۳۹/۰۶ $\pm$ ۳۰/۸۷	-۸	
۰/۱۰۷	۰/۲۶	-۰/۰۹ $\pm$ ۰/۰۲	-۰/۲۵ $\pm$ ۰/۶۰	-۰/۰۲ $\pm$ ۰/۰۳	۰/۰۸ $\pm$ ۰/۲۸	-۲۰	داخلی-خارجی
۰/۲۹۱	۰/۱۵۰	۰/۰۳ $\pm$ ۰/۰۱	-۰/۱۲ $\pm$ ۰/۴۶	-۰/۰۲ $\pm$ ۰/۰۳	۰/۰۴ $\pm$ ۰/۱۱	-۱۵	
۰/۰۳۳	۰/۱۴۳	۰/۳۵ $\pm$ ۰/۴۸	-۰/۱۹ $\pm$ ۰/۳۴	۰/۰۷ $\pm$ ۰/۰۳	۰/۱۵ $\pm$ ۰/۳۸	-۸	
۰/۰۴۸°	۰/۰۳۱°	۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۴	-۱/۴۳ $\pm$ ۲/۶۹	-۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۴	-۱/۰۸ $\pm$ ۱/۸۵	-۲۰	قدامی-خلفی
۰/۲۹۸	۰/۰۸۰	۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۴	-۰/۶۲ $\pm$ ۲/۲۵	-۰/۰۳ $\pm$ ۰/۰۳	-۰/۴۳ $\pm$ ۰/۹۲	-۱۵	
۰/۰۱۶°	۰/۱۲۹	-۰/۰۳ $\pm$ ۰/۰۳	-۱/۶۲ $\pm$ ۲/۴۳	۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۴	-۱/۳۲ $\pm$ ۳/۲۷	-۸	

* سطح معنی داری ($P \leq 0/05$)

طبتوانبخش

بحث

هدف از تحقیق حاضر بررسی تغییرات فشار کف پای طی فاز استانس راه رفتن در نوجوانان دختر دچار ژنوالگوم زانو در مقایسه با همسالان نرمال و تعیین اثر شیب سطح در تغییر الگوی توزیع فشار کف پای بود. نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر حداکثر فشار در نواحی مختلف پا در تنها در نواحی انگشت شست و استخوان‌های کف پای ۲ تا ۴ و قسمت خارجی پاشنه در شیب (+۸)، (-۱۵) و (-۲۰) بین دو گروه دارای ژنوالگوم و سالم تفاوت معناداری دارد و در دیگر نواحی ۱۲ گانه پا هیچ تفاوت معناداری بین مقادیر حداکثر فشار کف پای در سطوح مختلف مثبت و منفی دو گروه مشاهده نشد.

باتوجه به محدودیت پیشینه تحقیق در موضوع مورد بررسی، نتیجه‌گیری نهایی درمورد نتایج مستخرج از این تحقیق با محدودیت مواجه است، زیرا امکان مقایسه به چالش کشیدن نتایج با مطالعات قبلی میسر نبود؛ نتایج تحقیقات پیشین در زمینه تجزیه و تحلیل کینماتیکی راه رفتن نوجوانان و جوانان دچار زانو ژنوالگوم بر سطح شیب‌دار نشان داده است با اینکه دفورمیتی در صفحه فرونتال است، علاوه بر صفحه فرونتال تغییرات متعددی در متغیرهای کینماتیکی و کینتکی در صفحه ساجیتال و هوریزنتال نیز ایجاد می‌کند [۳۱]. فردی که فاقد پایداری کافی در صفحه فرونتال در مقابل زانو و هیپ است، ممکن است گشتاورهای آبداکشن خارجی بزرگی را در هنگام تحمل وزن، متحمل شود. این گشتاورها می‌توانند یکی از مهم‌ترین عوامل فرسایشی مفصل بین نیروها و گشتاورهای مفصلی در زانو شناخته شوند [۳۲].

نسبت به گروه سالم در شیب (-۲۰) منفی‌تر و دارای سوپینیشن بیشتری است. همچنین در شیب (-۸) تنها اختلاف معنادار در گروه ژنوالگوم با افزایش سوپینیشن نسبت به گروه سالم در جهت قدامی-خلفی و داخلی-خارجی مشاهده شد.

مطابق یافته‌های جدول شماره ۳ در شیب‌های مثبت و سطح، به‌طور معناداری حداکثر فشار داخل پاشنه پای راست تنها در شیب (۸) در افراد دارای زانو سالم بیشتر از گروه ژنوالگوم بود. با افزایش شیب مثبت از (۰) تا (۲۰) تغییرات مرکز فشار قدامی-خلفی در پای راست و چپ به‌طور معناداری در گروه ژنوالگوم سوپینیشن بیشتری در پای چپ را نسبت به گروه سالم و پرونیشن بیشتری در پای راست نشان داد، اما در تغییرات مرکز فشار داخلی-خارجی تنها در پای چپ و در شیب ۸ و ۱۵ اختلاف معناداری در گروه ژنوالگوم با افزایش سوپینیشن نسبت به گروه سالم مشاهده می‌شود. همچنین تغییرات مرکز فشار پای چپ در جهت داخلی-خارجی با افزایش شیب مثبت و همچنین شیب (-۲۰) و (-۸) دارای اختلاف معنی‌داری بین گروه سالم و ژنوالگوم بود.

جدول شماره ۴ آزمون تعقیبی توکی برای پارامترهایی که اختلاف بین گروهی آن‌ها معنی‌دار بود استفاده شد. در این جدول شیب‌ها بین دو گروه ژنوالگوم و سالم مقایسه می‌شود. این اختلاف در شیب‌های (۰)، (-۲۰) و (-۱۵) در انگشت شست، خارج پاشنه، تغییرات مرکز فشار داخلی-خارجی و انگشت دوم تا پنجم در گروه ژنوالگوم مشاهده شد.

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار، حداکثر فشار کف پای (کیلوگرم بر سانتی متر مربع) و جابه جایی مرکز فشار (میلی متر) نتایج مقایسه بین دو گروه ژنوالگوم و سالم در سطوح مثبت

Sig.	میانگین $\pm$ انحراف معیار				شیب (درصد%)	منطقه پا
پای راست	پای چپ	پای راست	پای چپ			
پای راست	پای چپ	سالم	ژنوالگوم	سالم	ژنوالگوم	
۰/۳۳۳	۰/۰۵۲	۱۰/۶۶ $\pm$ ۱۰/۲۰	۱۴/۱۶ $\pm$ ۸/۳۹	۵/۲۰ $\pm$ ۶/۲۲	۱۰/۶۲ $\pm$ ۷/۷۳	۰
۰/۶۰۰	۰/۲۲۵	۱۴/۹۴ $\pm$ ۱۲/۶۴	۱۷/۳۵ $\pm$ ۱۱/۱۹	۵/۰۳ $\pm$ ۴/۱۱	۸/۵۸ $\pm$ ۱۰/۱۷	۸
۰/۳۷۴	۰/۷۳۷	۱۶/۳۱ $\pm$ ۱۵/۷۷	۱۲/۰۸ $\pm$ ۶/۳۵	۷/۱۰ $\pm$ ۷/۱۱	۷/۹۹ $\pm$ ۶/۴۰	۱۵
۰/۵۹۲	۰/۳۳۵	۱۳/۴۹ $\pm$ ۱۱/۳۸	۱۱/۳۰ $\pm$ ۹/۷۱	۸/۳۰ $\pm$ ۱۰/۶۲	۵/۲۲ $\pm$ ۴/۰۵	۲۰
۰/۴۹۰	۰/۶۳۶	۱۴/۱۶ $\pm$ ۱۱/۷۸	۱۱/۴۴ $\pm$ ۸/۱۶	۲۵/۲۵ $\pm$ ۱۳/۱۹	۲۸/۱۷ $\pm$ ۱۸/۹۱	۰
۰/۴۹۱	۰/۴۶۹	۱۲/۲۵ $\pm$ ۱۳/۳۱	۱۵/۹۸ $\pm$ ۱۴/۹۷	۲۳/۲۲ $\pm$ ۲۰/۶۳	۲۹/۹۷ $\pm$ ۲۷/۶۲	۸
۰/۵۸۹	۰/۷۵۱	۱۲/۸۹ $\pm$ ۱۲/۷۴	۱۰/۵۱ $\pm$ ۹/۷۷	۲۲/۵۳ $\pm$ ۱۹/۳۹	۲۴/۸۷ $\pm$ ۱۹/۰۳	۱۵
۰/۳۵۶	۰/۱۹۰	۱۰/۵۸ $\pm$ ۱۰/۷۳	۷/۵۰ $\pm$ ۵/۳۰	۲۵/۴۹ $\pm$ ۱۹/۸۰	۱۷/۱۸ $\pm$ ۱۰/۸۳	۲۰
۰/۱۱۳	۰/۰۶۹	۱۴/۷۴ $\pm$ ۱۱/۸۱	۳۱/۲۳ $\pm$ ۲۰/۲۲	۹/۰۴ $\pm$ ۹/۷۹	۱۷/۹۶ $\pm$ ۱۴/۸۷	۰
۰/۱۷۲	۰/۷۳۷	۲۸/۴۵ $\pm$ ۱۹/۸۴	۳۸/۸۷ $\pm$ ۱۹/۲۳	۱۸/۹۶ $\pm$ ۱۵/۸۲	۲۱/۱۷ $\pm$ ۱۸/۶۹	۸
۰/۱۶۰	۰/۳۵۳	۲۸/۵۱ $\pm$ ۲۴/۰۰	۴۴/۰۳ $\pm$ ۳۲/۶۸	۱۴/۵۸ $\pm$ ۱۰/۷۴	۱۹/۶۲ $\pm$ ۱۷/۳۱	۱۵
۰/۴۲۸	۰/۹۱۲	۳۰/۹۰ $\pm$ ۲۵/۲۷	۳۹/۳۰ $\pm$ ۲۹/۹۸	۱۷/۴۸ $\pm$ ۲۰/۳۴	۱۶/۷۷ $\pm$ ۱۱/۲۰	۲۰
۰/۹۸۵	۰/۶۵۶	۳۴/۱۹ $\pm$ ۹/۷۵	۳۴/۳۳ $\pm$ ۲۷/۰۲	۲۴/۱۴ $\pm$ ۱۷/۹۵	۲۷/۲۷ $\pm$ ۱۴/۲۵	۰
۰/۸۴۴	۰/۵۹۹	۳۹/۴۹ $\pm$ ۱۲/۴۷	۴۰/۷۲ $\pm$ ۱۹/۸۸	۲۹/۶۶ $\pm$ ۱۴/۶۴	۲۶/۹۴ $\pm$ ۱۱/۹۰	۸
۰/۲۷۳	۰/۲۵۱	۴۳/۳۸ $\pm$ ۱۹/۳۶	۳۶/۸۰ $\pm$ ۹/۱۶	۲۶/۹۲ $\pm$ ۹/۶۲	۳۱/۷۱ $\pm$ ۱۱/۹۷	۱۵
۰/۷۶۸	۰/۸۲۴	۳۵/۲۰ $\pm$ ۱۰/۱۲	۳۳/۹۸ $\pm$ ۱۱/۳۶	۳۳/۰۴ $\pm$ ۱۱/۷۵	۳۱/۷۶ $\pm$ ۱۷/۹۲	۲۰
۰/۱۵۸	۰/۴۳۸	۵۷/۳۶ $\pm$ ۱۶/۰۰	۴۳/۱۲ $\pm$ ۳۳/۸۴	۴۷/۵۰ $\pm$ ۲۱/۷۷	۴۰/۵۸ $\pm$ ۲۴/۷۰	۰
۰/۲۸۹	۰/۷۱۰	۵۲/۷۷ $\pm$ ۲۵/۲۱	۴۲/۹۵ $\pm$ ۲۲/۳۵	۵۰/۳۹ $\pm$ ۲۱/۳۳	۵۳/۹۳ $\pm$ ۲۸/۴۹	۸
۰/۶۵۷	۰/۳۴۸	۵۳/۶۵ $\pm$ ۲۰/۸۲	۴۹/۹۹ $\pm$ ۲۲/۳۰	۴۸/۵۳ $\pm$ ۱۹/۹۵	۴۱/۷۶ $\pm$ ۱۷/۰۷	۱۵
۰/۴۲۲	۰/۳۹۲	۵۳/۶۵ $\pm$ ۲۱/۶۱	۴۶/۹۹ $\pm$ ۱۷/۶۷	۴۸/۴۹ $\pm$ ۱۵/۲۹	۴۳/۴۴ $\pm$ ۱۵/۳۰	۲۰
۰/۰۹۶	۰/۰۶۵	۴۶/۸۹ $\pm$ ۱۴/۳۶	۳۲/۶۰ $\pm$ ۲۵/۱۸	۶۲/۶۷ $\pm$ ۲۹/۵۹	۴۲/۴۲ $\pm$ ۲۵/۳۳	۰
۰/۱۳۵	۰/۹۸۵	۴۱/۴۶ $\pm$ ۲۳/۸۹	۲۹/۱۰ $\pm$ ۱۷/۴۴	۵۰/۱۴ $\pm$ ۲۶/۴۴	۵۰/۳۱ $\pm$ ۲۴/۲۰	۸
۰/۴۴۰	۰/۱۴۳	۳۸/۲۱ $\pm$ ۱۶/۹۴	۳۱/۵۶ $\pm$ ۲۷/۳۸	۴۸/۵۶ $\pm$ ۱۷/۶۲	۴۰/۵۲ $\pm$ ۲۴/۹۰	۱۵
۰/۳۵۰	۰/۸۶۴	۴۱/۵۱ $\pm$ ۳۷/۷۳	۳۰/۵۰ $\pm$ ۱۸/۹۲	۴۹/۴۰ $\pm$ ۱۰/۲۷	۴۷/۱۰ $\pm$ ۲۹/۱۱	۲۰
۰/۸۰۰	۰/۲۷۲	۷/۹۳ $\pm$ ۱۱۴۰۶	۷/۳۰ $\pm$ ۶/۸۰	۲۷/۵۰ $\pm$ ۱۹/۲۳	۲۰/۲۵ $\pm$ ۱۳/۹۷	۰
۰/۹۷۵	۰/۴۸۷	۵/۹۳ $\pm$ ۴/۴۸	۸/۸۷ $\pm$ ۶/۲۶	۲۶/۵۹ $\pm$ ۲۳/۱۴	۳۳/۸۳ $\pm$ ۳۱/۱۱	۸
۰/۷۰۷	۰/۱۳۱	۹/۲۸ $\pm$ ۸/۷۸	۸/۰۲ $\pm$ ۸/۸۰	۲۴/۹۸ $\pm$ ۱۳/۹۹	۱۶/۷۰ $\pm$ ۱۴/۰۱	۱۵
۰/۵۵۹	۰/۸۸۱	۱۰/۲۰ $\pm$ ۱۳/۷۸	۷/۶۷ $\pm$ ۷/۳۸	۲۳/۰۰ $\pm$ ۱۳/۳۱	۲۳/۹۶ $\pm$ ۲۰/۱۳	۲۰

Sig.		میانگین $\pm$ انحراف معیار				شیب (درصد%)	منطقه پا
پای چپ	پای راست	پای چپ		پای راست			
		سالِم	ژنووالگوم	سالِم	ژنووالگوم		
۰/۰۹۲	۰/۱۴۵	۳۰/۶۹ $\pm$ ۲۷/۰۴	۱۶/۲۵ $\pm$ ۱۲/۶۳	۳۲/۲۶ $\pm$ ۲۳/۱۶	۱۹/۳۵ $\pm$ ۱۷/۵۴	۰	میانه پا
۰/۵۳۹	۰/۹۴۲	۲۳/۱۹ $\pm$ ۱۹/۵۱	۱۹/۲۰ $\pm$ ۱۳/۱۷	۲۳/۲۶ $\pm$ ۸۰/۶۹	۲۳/۱۶ $\pm$ ۱۸/۶۸	۸	
۰/۷۸۸	۰/۹۸۰	۱۸/۰۷ $\pm$ ۱۳/۳۲	۱۹/۹۵ $\pm$ ۲۲/۵۶	۲۲/۱۷ $\pm$ ۱۶/۳۳	۲۱/۹۶ $\pm$ ۲۵/۱۹	۱۵	
۰/۹۹۴	۰/۷۴۸	۱۹/۷۹ $\pm$ ۱۷/۵۹	۱۹/۸۳ $\pm$ ۱۳/۶۱	۲۴/۲۲ $\pm$ ۳۰/۱۷	۲۲/۰۲ $\pm$ ۱۳/۰۷	۲۰	
۰/۳۵۷	۰/۸۴۶	۳۱/۷۸ $\pm$ ۱۹/۲۲	۳۹/۸۱ $\pm$ ۲۵/۸۴	۲۶/۲۶ $\pm$ ۹۸/۸۱	۲۸/۹۸ $\pm$ ۱۹/۷۸	۰	داخل پاشنه
۰/۲۸۷	۰/۰۳۳	۳۸/۹۹ $\pm$ ۱۹/۹۸	۴۹/۰۹ $\pm$ ۲۸/۹۸	۲۸/۱۵ $\pm$ ۶۶/۴۷	۱۶/۵۸ $\pm$ ۱۲/۳۹	۸	
۰/۴۶۲	۰/۹۴۰	۳۱/۰۹ $\pm$ ۲۴/۵۲	۳۸/۷۴ $\pm$ ۲۹/۷۳	۳۱/۲۲ $\pm$ ۸۵/۴۹	۳۱/۲۷ $\pm$ ۱۶/۶۴	۱۵	
۰/۵۵۸	۰/۲۶۹	۳۱/۴۶ $\pm$ ۱۹/۵۲	۳۶/۶۴ $\pm$ ۲۶/۵۰	۲۳/۱۷ $\pm$ ۱۳/۴۷	۳۲/۵۳ $\pm$ ۲۶/۲۶	۲۰	
۰/۰۵۵	۰/۱۱۴	۷۶/۴۶ $\pm$ ۳۰/۳۰	۵۵/۵۲ $\pm$ ۲۴/۴۶	۸۲/۳۳ $\pm$ ۵۲/۲۲	۳۱/۱۸ $\pm$ ۸/۶۴	۰	خارج پاشنه
۰/۷۰۳	۰/۹۷۸	۵۲/۲۶ $\pm$ ۲۳/۰۱	۵۲/۲۶ $\pm$ ۱۷/۱۲	۷۱/۲۷ $\pm$ ۸۱/۲۳	۷۱/۴۶ $\pm$ ۳۸/۷۰	۸	
۰/۶۴۵	۰/۹۹	۵۳/۷۴ $\pm$ ۲۰/۷۹	۵۰/۱۵ $\pm$ ۱۷/۷۹	۷۸/۲۳ $\pm$ ۲۱/۳۷	۷۸/۱۹ $\pm$ ۲۹/۷۲	۱۵	
۰/۶۴۸	۰/۹۵۸	۶۰/۷۹ $\pm$ ۲۹/۹۳	۶۷/۵۱ $\pm$ ۲۶/۳۲	۷۱/۲۸ $\pm$ ۷۷/۳۹	۷۱/۲۰ $\pm$ ۲۸/۴۷	۲۰	
۰/۰۸۹	۰/۵۴	-۰/۰۵ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۰۲ $\pm$ ۰/۰۶	۰/۱۰ $\pm$ ۰/۶۳	۰	داخلی-خارجی
۰/۰۱۴	۰/۱۱۱	۰/۰۹ $\pm$ ۰/۰۳	-۰/۴۴ $\pm$ ۰/۶۴	۰/۰۴ $\pm$ ۰/۰۵	۰/۳۵ $\pm$ ۰/۸۴	۸	
۰/۰۰۵°	۰/۵۴۷	-۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۳	-۰/۶۰ $\pm$ ۰/۷۵	۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۶	۰/۱۶ $\pm$ ۱/۰۲	۱۵	
۰/۱۲	۰/۴۵	-۰/۰۹ $\pm$ ۰/۰۳	-۰/۴۵ $\pm$ ۱/۰۹	-۰/۰۸ $\pm$ ۰/۳۳	-۰/۳۳ $\pm$ ۱/۷۶	۲۰	
۰/۵۶۲	۰/۰۲۵°	۰/۰۹ $\pm$ ۰/۰۳	۰/۰۷ $\pm$ ۰/۰۳	۰/۰۶ $\pm$ ۰/۰۳	-۱/۶۵ $\pm$ ۲/۷۰	۰	COP _y قلمی-خلفی
۰/۰۰۳°	۰/۰۰۵°	۰/۰۸ $\pm$ ۰/۰۴	-۳/۴۱ $\pm$ ۳/۸۵	۰/۰۵ $\pm$ ۰/۰۳	-۵/۴۴ $\pm$ ۶/۹۲	۸	
۰/۰۰۱°	۰/۰۰۵°	۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۳	-۵/۲۸ $\pm$ ۵/۶۸	۰/۰۹ $\pm$ ۰/۰۳	-۷/۸۶ $\pm$ ۹/۹۶	۱۵	
۰/۰۰۰°	۰/۰۰۰°	۰/۰۱ $\pm$ ۰/۰۲	-۸/۱۱ $\pm$ ۸/۲۷	۰/۳۲ $\pm$ ۰/۱۲	-۸/۴۸ $\pm$ ۹/۴۶	۲۰	

* سطح معنی داری (≤ 0.05)

طب توانبخشی

نشان داد که مناطق بخش داخلی پاشنه، استخوان‌های کف پای ۲ تا ۴ دارای بیشترین فشار بود و کمترین فشار در مناطق میانی، انگشتان پا و استخوان کف پای پنجم قرار داشت، اما این ترکیب در شیب (۱۵-) و (۲۰-) متفاوت می‌باشد و بیشترین فشار بر استخوان کف پای ۳-۴ و کمترین فشار به بخش میانی و انگشتان پا و استخوان کف پای پنجم وارد می‌شد.

از مطالعات متناقض می‌توان به مطالعه حاجیلو [۱۶]، دیزاجی [۲۱]، فرجاد [۲۲]، بیناباجی [۱۷] اشاره کرد. درعین حال یافته‌های تحقیق حاضر با یافته‌های اسمی^{۱۵} [۲۳]، صیفی‌پور [۳۳]،

بررسی متغیرهای مربوط به راه رفتن در گروه ژنوو الگوم نشان داد که مناطق بخش داخلی پاشنه، استخوان‌های کف پای ۲ تا ۴ دارای بیشترین فشار بوده و کمترین فشار در مناطق میانی، انگشت شست، انگشتان ۲ تا ۵ و استخوان کف پای پنجم قرار داشت، اما این ترکیب در شیب (۲۰-) متفاوت می‌باشد و بیشترین فشار بر استخوان‌های کف پای ۲ تا ۴، انگشت شست و کمترین فشار به استخوان کف پای پنجم، بخش میانی و پاشنه پا وارد می‌شد. نواحی جلو، عقب و میانی پا بیشترین درصد تماس با سطح را دارند. فشار در ناحیه میانی و انگشتان پا از سایر نواحی کمتر بود و فشار سر استخوان کف پای سوم از سایرین بیشتر بود. بررسی متغیرهای مربوط به راه رفتن در گروه زنانی سالم

جدول ۴. آزمون نعیبی در شیب‌های دارای اختلاف معنی‌دار، سطح معنی‌داری (۰/۰۵)

ژنوالگوم				
پای راست				
متغیر	شیب i	شیب j	اختلاف مینگین	میانگین خطای معیار
Sig.				
۰/۰۰۰		-۱۵	۱۷/۸۰	
۰/۰۰۷	۰	-۲۰	۱۴/۰۷	
۰/۰۲۲		-۸	۱۲/۵۹	
۰/۰۰۰	۸	-۱۵	۱۹/۸۴	
۰/۰۰۱		-۲۰	۱۶/۱۱	
۰/۰۱۴		۱۵	۱۳/۱۸	۳/۷۹
۰/۰۰۱	-۸	۲۰	۱۵/۹۵	
۰/۰۰۰	۱۵	-۱۵	۲۰/۴۳	
۰/۰۰۱		-۲۰	۱۶/۷۰	
۰/۰۰۰	-۱۵	۲۰	۲۳/۲۰	
۰/۰۱۵	۲۰	-۲۰	۲۷/۱۸	
۰/۰۱۵	۲۰	-۲۰	۲۷/۷۸	۸/۰۴
۰/۰۱۸		-۱۵	۳۹/۴۹	
۰/۰۲۰	۱۵	-۲۰	۳۹/۲۴	۱۱/۶۸
۰/۰۱۸	-۱۵	۲۰	۸/۰۵	
۰/۰۳۹		۱۵	۷/۴۳	۲/۳۸
۰/۰۴۰	۲۰	-۲۰	۷/۴۰	
۰/۰۰۵	۰	-۲۰	۲۰/۷۳	
۰/۰۲۹	۸	-۲۰	۱۷/۵۴	
۰/۰۳۶	-۸	-۲۰	۱۷/۱۳	
۰/۰۰۵		-۱۵	۲۰/۷۷	
۰/۰۰۱	۱۵	-۲۰	۲۲/۸۱	۵/۴۵
۰/۰۱۶		۰	۱۸/۶۹	
۰/۰۰۳	-۱۵	۲۰	۲۱/۵۵	
۰/۰۰۱	۲۰	-۲۰	۲۳/۵۹	
۰/۰۴۸	۱۵	-۲۰	۱۴/۷۱	۴/۸۵
۰/۰۰۸	۲۰	-۲۰	۱۷/۷۲	
۰/۰۰۲	۲۰	-۲۰	۴۱/۷۲	۱۰/۳۸
۰/۰۰۰	۰	۲۰	۸/۱۱	
۰/۰۴۳		۱۵	۵/۲۸	
۰/۰۰۵		-۸	۶/۴۸	۱/۷۱
۰/۰۰۱	۲۰	-۱۵	۷/۴۸	
۰/۰۰۴		-۲۰	۶/۶۷	

زنان سالم				
پای راست				
متغیر	شیب ا	شیب ز	اختلاف مینگین	میانگین خطای معیار
انگشت شست	۰	-۱۵	۱۴/۴۸	۰/۰۳۵
	۸	-۱۵	۱۴/۶۵	۰/۰۳۱
خارج پاشنه	-۱۵	۰	۳۱/۵۵	۰/۰۳۵
	-۲۰	۰	۳۱/۶۴	۰/۰۳۴
	۰	-۲۰	۳۶/۵۰	۰/۰۱۶

طب توانبخشی

چرخش اندام تحتانی در طی مرحله استانس است؛ همچنین مفصل ساب‌تالار با انجام حرکت پرونیشن باعث افزایش جذب شوک در این ناحیه می‌شود [۴۰، ۴۱]. با چرخش خارجی درشت‌نی مفصل ساب‌تالار نیز سوپینیشن انجام داده و باعث حرکت مرکز فشار به سمت خارج پا شده است [۴۰]. حرکت پرونیشن پا در مرحله استانس راه رفتن ضروری است و بدن انسان با این مکانیسم نیروهای تماسی وارده از زمین را کاهش می‌دهد [۱۹، ۳۷]. ممکن است تغییر ایجادشده در مفصل ساب‌تالار باعث مکانیسم‌های افزایشی و کاهش‌ی در گشتاور مفاصل فوقانی اندام تحتانی شود و فعالیت عضلات آن را تغییر دهد [۴۲].

هنگامی که مرکز فشار به سمت مقادیر مثبت حرکت پیش می‌رود، باعث پرونیشن بیشتری در مفصل ساب‌تالار می‌شود. پرونیشن مفصل ساب‌تالار باعث کاهش استحکام مفصل ساب‌تالار و میدتارسال شده و در نتیجه باعث شلی مفصل می‌شود و بر نیروی پیشروی می‌تواند تأثیرگذار باشد [۴۰]. کاهش سوپینیشن پا باعث اختلال در چرخش خارجی ساق و اکستنشن زانو می‌شود و می‌تواند هماهنگی بین مفاصل اندام تحتانی را تحت تأثیر قرار دهد و احتمال آسیب‌هایی چون در کشکی رانی را افزایش دهد [۲۰، ۴۰، ۴۳]. در زمان تماس پاشنه، مرکز فشار درست در خارج نقطه میانی پاشنه واقع شده است. سپس به‌طور پیشرونده به خارج ناحیه میانی پا در زمان ایستانس حرکت می‌کند. هنگام بلند شدن پاشنه تا جدا شدن انگشتان، به داخل ناحیه جلوی پا می‌رود. کف پای انسان با سطح اندک خود، نقش مهمی در حفظ تعادل ایفا می‌کند. از این رو تغییرات بیومکانیکی کوچک در محدوده سطح اتکا ممکن است کنترل پاسچر را تحت تأثیر قرار دهد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد تغییرات مرکز فشار زانو و زووالگوم در فاز استانس راه رفتن به‌صورت معناداری به سمت خارج متمایل شده است. این تغییرات در شیب‌های مثبت و در شیب‌های (-۱۵) و (-۲۰) سیر نزولی داشت. براساس یافته‌های پژوهش تلن و اولریچ راه رفتن در شیب‌های مختلف، شکل‌های جدیدی از رفتار در همکاری میان اجزای متفاوت و زمینه وظایف را پدیدار می‌سازد. زمانی که اختلالاتی که این فعل و انفعالات را تسهیل می‌کند به فرد تحمیل شود، موجب عملکردی تر و کاربردی‌تر

جعفرنژاد [۳۴]، دهقانی [۱۵] مطابقت داشت که براساس تحقیقات انجام‌شده به این نتیجه رسیده‌اند که انگشت شست نسبت به سایر نواحی دارای حداکثر فشار بود و استخوان کف پای دوم، پاشنه و سایر استخوان‌های کف پای در مراتب بعدی قرار داشتند [۳۵]. [۳۶]. در این مطالعات حداکثر فشار کف پای به‌ترتیب بر پاشنه، جلو پا و انگشتان وارد می‌شود، درحالی‌که انگشتان ۲ تا ۵ و ناحیه میانی پا دارای کمترین فشار بودند. از آنجایی که فشار از تقسیم نیرو بر سطح مقطعی که نیرو بر آن وارد می‌شود، محاسبه می‌گردد، بنابراین اولین قله فشار هنگام راه رفتن در لحظه تماس پاشنه با زمین هنگام مقاومت در برابر اعمال فشار رخ می‌دهد. پس از پاشنه، وزن بدن از ناحیه میانی پا به جلو منتقل می‌گردد. این انتقال وزن سریع صورت می‌گیرد و ممکن است به‌عنوان یکی از عوامل کاهش سطح تماس ناحیه میانی پا باشد که سبب کاهش بیشتر فشار در این ناحیه نسبت به سایر نواحی می‌شود [۳۷].

باتوجه به بالا بودن فشار در ناحیه استخوان کف پای سوم، شاید بتوان به نقش مهم و خصوصیات خاص متاتارس در انتقال وزن بدن اشاره کرد. اتصال محکم این استخوان با ناحیه میانی پا و ضخیم بودن آن سبب شد که یک پایه محکم در ناحیه جلو پا ایجاد شود و تحمل وزن بیشتر و فشار بالاتری را نسبت به سایر متاتارس‌ها تحمل کند [۳۸]. در میان انگشتان، انگشت شست نسبت به سایرین در تحمل وزن بیشتر شرکت دارد که می‌تواند به‌دلیل بزرگ بودن و متحرک بودن این انگشت باشد [۳۹]. باتوجه به محدودیت مطالعات درمورد توزیع فشار کف پای نوجوانان بر روی شیب می‌توان عنوان کرد که علت تناقض نتایج می‌تواند به‌دلیل تفاوت بین سن و جنس آزمودنی‌ها و همچنین تفاوت درمورد نوع و شدت ناهنجاری افراد باشد.

نتایج دیگری نشان می‌دهد که تغییرات مرکز فشار در شیب (-۸) و (-۲۰) به‌طور معناداری سوپینیشن بیشتری را در گروه زووالگوم نسبت به گروه سالم نشان داده است. همچنین این تغییرات در شیب (+۸) و (+۱۵) به‌طور معناداری بین دو گروه زووالگوم و سالم مشاهده شد. COP بیشتری به سمت مقادیر منفی رفته و در نتیجه پرونیشن کمتری در مفصل ساب‌تالار اتفاق افتاده است و باعث شد مرکز فشار به سمت خارج پا حرکت کند. عمل اصلی مفصل ساب‌تالار جذب

باتوجه به اهمیت سطح شیب دار در فعالیت های روزمره و تغییر الگوی راه رفتن در صورت بروز ناهنجاری و همچنین مطالعات صورت گرفته پیشنهاد می شود به ارزیابی بیومکانیک راه رفتن و نحوه توزیع فشار کف پا همراه با فعالیت الکترومایوگرافی و تأثیر برنامه های تمرینی و اصلاحی با شیب در توانبخشی افراد مبتلا به ناهنجاری های زانو پرداخته شود.

نتیجه گیری

باتوجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، بیشترین فشار کف پای در دختران نوجوان ژنوالگوم نسبت به سالم در پاشنه، سرهای کف پای دوم و سوم مشاهده شد. در راه رفتن در سربالایی، تغییر اصلی در تماس پاشنه رخ می دهد، جایی که طول اندام بیشتر نشان دهنده خم بودن یک اندام است. در راه رفتن در سراسیمی، تغییر بزرگ طول اندام منعکس کننده افزایش خم شدن اندام در طول ایستادن است. تغییرات مرکز فشار با افزایش شیب بر میزان پرونیشن پا می افزاید و با افزایش شیب منفی از میزان پرونیشن مچ پا می کاهد؛ بنابراین می توان شیب های (۲۰-)، (۱۵-) و (۸-) را در جهت بهبود الگوی توزیع فشار کف پا دختران نوجوان دارای زانو ژنوالگوم پیشنهاد کرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره IR.SSRI.REC.1400.1182 از پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی دریافت شده است.

حامی مالی

پژوهش حاضر برگرفته از رساله دکتری هانیه زهتاب عسگری در گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز است. این پژوهش هیچ گونه کمک مالی از سازمانی های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده سازی این مقاله مشارکت یکسان داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، در پژوهش حاضر هیچ گونه تعارض منافع وجود ندارد.

شدن مهارت حرکتی می شود [۴۴]، اما درمورد جوانان زانو ضربدري، باتوجه به این که سیستم عصبی آنها سالم می باشد و سطوح مفصلی آنها دچار تخریب غضروف مفصلی نشده است، راه رفتن بر سطوح بدون شیب، الگوی مشابهی با افراد سالم دارد.

باتوجه به آن که شیب می تواند به عنوان یه عامل اغتشاش محسوب شود، می تواند بر تعادل افراد حین بالا رفتن و به خصوص پایین آمدن تأثیرگذار باشد. بر همین اساس حین راه رفتن در شیب مثبت زاویه فلکشن زانو حین برخورد پاشنه و زاویه اکستنشن زانو حین میداستانس به جهت افزایش ارتفاع و جابه جایی بدن به سمت بالاتر، افزایش می یابد. همچنین، حین راه رفتن در شیب منفی، زاویه فلکشن بیشتر زانو در فاز استانس برای جابه جایی بدن به سمت پایین ضروری است. مطابق با نتایج مطالعات گذشته، افزایش زاویه فلکشن زانو به هنگام فعالیت، نیروهای وارد بر رباط صلیبی قدامی^{۱۶} را کاهش می دهد. نیروی برشی قدامی، اصلی ترین عامل تعیین کننده در میزان بار وارد شده به رباط صلیبی قدامی است [۴۵].

زمانی که فلکشن در زانو بیشتر می شود، زاویه بین تاندون کشکک و تیبیا افزایش می یابد و نیروی حاصل از انقباض کوادریسپس در پروگزیمال تیبیا، نیروی برشی قدامی کمتری تولید می کند [۴۶]. همچنین، افزایش فلکشن زانو با کاهش نیروی عکس العمل خلفی زمین همراه است و به دلیل اینکه نیروی عکس العمل خلفی ارتباط مستقیمی با میزان نیروی برشی قدامی در پروگزیمال تیبیا دارد [۴۷]، می توان گفت که افزایش فلکشن زانو، نیروی وارد بر رباط صلیبی قدامی را کاهش خواهد داد. از این رو، باتوجه به نتایج به دست آمده مبنی بر افزایش زاویه فلکشن حین راه رفتن در شیب منفی، به نظر می رسد باید نگاه جدیدی به تمرینات در شیب منفی داشت. از آنجاکه راه رفتن در شیب منفی، زاویه زانو در صفحه فرونتال را به سمت واروس متمایل می کند و از طرف دیگر موجب افزایش زاویه فلکشن و کاهش بار وارد شده بر رباط صلیبی می شود، این نوع راه رفتن می تواند در توانبخشی افراد زانو ضربدري تأثیرگذارتر باشد. این نتایج می تواند به مربیان و فیزیوتراپیست ها کمک کند تا برنامه های آسیب، پیشگیری و ورزشی را طراحی کنند.

از محدودیت های پژوهش حاضر می توان به عدم اندازه گیری فعالیت الکتریکی عضلات اندام تحتانی و همچنین اندازه گیری کینماتیک و کینتیک زانو اشاره کرد. پیشنهاد می شود به دلیل تفاوت فیزیولوژیکی دختران و پسران، تحقیقات آینده به بررسی مقایسه الگوهای توزیع فشار کف پای و تغییرات مرکز فشار گروه دختران و پسران با درجات مختلف ناهنجاری ژنوالگوم بر روی سطوح شیب دار به صورت مثبت و منفی بپردازند.

References

- [1] Sheehan RC, Gottschall JS. At similar angles, slope walking has a greater fall risk than stair walking. *Applied Ergonomics*. 2012; 43(3):473-8. [DOI:10.1016/j.apergo.2011.07.004] [PMID]
- [2] Leroux A, Fung J, Barbeau H. Postural adaptation to walking on inclined surfaces: I. Normal strategies. *Gait and Posture*. 2002; 15(1):64-74. [DOI:10.1016/S0966-6362(01)00181-3] [PMID]
- [3] 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. [DOI:10.1007/s12206-016-0954-3]
- [4] Jeong J, Oh YK, Shin CS. Measurement of lower extremity kinematics and kinetics during valley-shaped slope walking. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2015; 16(13):2725-30. [Link]
- [5] Lee J, Yoon YJ, 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. [DOI:10.1123/jab.2016-0221] [PMID]
- [6] 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):153-66. [DOI:10.1123/jab.21.2.153] [PMID]
- [7] Patla AE, Rietdyk S, Martin C, Prentice S. Locomotor patterns of the leading and the trailing limbs as solid and fragile obstacles are stepped over: Some insights into the role of vision during locomotion. *Journal of Motor Behavior*. 1996; 28(1):35-47. [DOI:10.1080/00222895.1996.9941731] [PMID]
- [8] 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. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2015.04.023] [PMID]
- [9] Kuster M, Sakurai S, Wood GA. Kinematic and kinetic comparison of downhill and level walking. *Clinical Biomechanics*. 1995; 10(2):79-84. [DOI:10.1016/0268-0033(95)92043-L] [PMID]
- [10] Montgomery JR, Grabowski AM. The contributions of ankle, knee and hip joint work to individual leg work change during uphill and downhill walking over a range of speeds. *Royal Society Open Science*. 2018; 5(8):180550. [PMID]
- [11] Alexander N, Strutzenberger G, Ameshofer LM, Schwameder H. Lower limb joint work and joint work contribution during downhill and uphill walking at different inclinations. *Journal of Biomechanics*. 2017; 61:75-80. [PMID]
- [12] Pickle NT, Grabowski AM, Auyang AG, Silverman AK. The functional roles of muscles during sloped walking. *Journal of Biomechanics*. 2016; 49(14):3244-51. [PMID]
- [13] Lay AN, Hass CJ, Gregor RJ. The effects of sloped surfaces on locomotion: A kinematic and kinetic analysis. *Journal of Biomechanics*. 2006; 39(9):1621-8. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2005.05.005] [PMID]
- [14] Silverman AK, Wilken JM, Sinitski EH, Neptune RR. Whole-body angular momentum in incline and decline walking. *Journal of Biomechanics*. 2012; 45(6):965-71. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2012.01.012] [PMID]
- [15] Dehghani M, Jafarnezhadgero A, Abdollahpour Darvishani M. [Evaluation of plantar pressure variables in blind individuals compared to healthy controls (Persian)]. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2019; 8(3):171-8. [DOI:10.22037/JRM.2019.111146.1791]
- [16] Hajilu B, Anbarian M, Sepehrian M, Esmaeili H. [The effect of quadriceps muscle fatigue on foot plantar pressure distribution during stance phase of walking (Persian)]. *Razi Journal of Medical Sciences*. 2014; 21(121):1-8. [Link]
- [17] Beinabaji H, Anbarian M, Sokhangoue Y. [The effect of flat foot on lower limb muscles activity pattern and plantar pressure characteristics during walking (Persian)]. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*. 2013; 8(8):1328-41. [Link]
- [18] 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. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2007.06.002] [PMID]
- [19] Johnson F, Leitzl S, Waugh W. The distribution of load across the knee. A comparison of static and dynamic measurements. 1980; 62(3):346-9. [DOI:10.1302/0301-620X.62B3.7410467] [PMID]
- [20] Frankel VH. *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. Pennsylvania: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. [Link]
- [21] Dizaji E, Memar R, Sadeghi H. [Comparison of plantar pressure distribution in dominant & non-dominant leg of female Kata and Kumite National Team (Persian)]. *Journal of Sport Biomechanics*. 2016; 2(2):17-30. [Link]
- [22] Farjad-Pezeshk A, Sadeghi H, Farzadi M. [Comparison of plantar pressure distribution and vertical ground reaction force between dominant and non-dominant limb in healthy subjects using principle component analysis (PCA) technique (Persian)]. *Archives of Rehabilitation*. 2013; 14(1):91-102. [Link]
- [23] Asmi A, Othman N, Zain MM, Ab Wahid M. A study on human foot pressure behaviour and balancing characteristics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 1-10. [DOI:10.1088/1757-899X/884/1/012001]
- [24] Perttunen J. *Foot loading in normal and pathological walking*. Jyväskylä: University of Jyväskylä; 2002. [Link]
- [25] McIntosh AS, Beatty KT, Dwan LN, Vickers DR. Gait dynamics on an inclined walkway. *Journal of Biomechanics*. 2006; 39(13):2491-502. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2005.07.025]
- [26] Ferraro RA, Pinto-Zipp G, Simpkins S, Clark M. Effects of an inclined walking surface and balance abilities on spatiotemporal gait parameters of older adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2013; 36(1):31-8. [DOI:10.1519/JPT.0b013e3182510339] [PMID]
- [27] Scaglioni-Solano P, Aragón-Vargas LF. Age-related differences when walking downhill on different sloped terrains. *Gait & Posture*. 2015; 41(1):153-8. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2014.09.022] [PMID]

- [28] Tulchin K, Orendurff M, Karol L. The effects of surface slope on multi-segment foot kinematics in healthy adults. *Gait & Posture*. 2010; 32(4):446-50. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2010.06.008] [PMID]
- [29] Siqueira CM, Lahoz Moya GB, Caffaro RR, Fu C, Kohn AF, Amorim CF, et al. Misalignment of the knees: Does it affect human stance stability. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2011; 15(2):235-41. [DOI:10.1016/j.jbmt.2009.08.005] [PMID]
- [30] Faul F, Erdfelder E, Lang AG, 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]
- [31] Shubert TE, McCulloch K, Hartman M, Giuliani CA. The effect of an exercise-based balance intervention on physical and cognitive performance for older adults: A pilot study. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2010; 33(4):157-64. [DOI:10.1519/JPT.0b013e3181ff22f5] [PMID]
- [32] Cote KP, Brunet ME, Gansneder BM, Shultz SJ. Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. *Journal of Athletic Training*. 2005; 40(1):41-6. [PMID]
- [33] Seifi-Skishahr F, Alavi Mehr SM, Jafarnezhadgero A, Katanchi M. [Effect of elastic gait training on Foot pressure variables in subjects with low back pain during running (Persian)]. *Anesthesiology and Pain*. 2018; 9(2):47-59. [Link]
- [34] 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 (Persian)]. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences*. 2020; 42(1):40-7. [DOI:10.34172/mj.2020.018]
- [35] Hennig EM, Rosenbaum D. Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot & Ankle*. 1991; 11(5):306-11. [DOI:10.1177/107110079101100507]
- [36] Putti AB, Arnold GP, Cochrane L, Abboud RJ. The pedar in-shoe system: Repeatability and normal pressure values. *Gait and Posture*. 2006; 25(3):401-5. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2006.05.010] [PMID]
- [37] Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation*. New York: Mosby Publishers; 2016. [Link]
- [38] Levangie PL, Norkin CC. *Joint structure and function*. F.A. Davis company. Philadelphia; 2001. [Link]
- [39] Oatis CA. *Kinesiology: The mechanics and pathomechanics of human movement*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2009. [Link]
- [40] Hamill J, Knutzen KM. *Biomechanical basis of human movement*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006. [Link]
- [41] Winter DA. *Biomechanics and motor control of human gait: Normal, elderly and pathological*. Waterloo: University of Waterloo; 1991. [Link]
- [42] Haim A, Rozen N, Dekel S, Halperin N, Wolf A. Control of knee coronal plane moment via modulation of center of pressure: A prospective gait analysis study. *Journal of Biomechanics*. 2008; 41(14):3010-6. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2008.07.029] [PMID]
- [43] Ferber R, Macdonald S. *Running mechanics and gait analysis*. Champaign: Human Kinetics; 2014. [Link]
- [44] Thelen E, Ulrich BD, Wolff PH. Hidden skills: A dynamic systems analysis of treadmill stepping during the first year. *Monographs of the Society for Research in Child Development*. 1991; 56(1):1-98. [DOI:10.2307/1166099]
- [45] Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, Shepard MF, Finerman GA, Slaughterbeck JL. Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *Journal of Orthopaedic Research*. 1995; 13(6):930-5. [DOI:10.1002/jor.1100130618] [PMID]
- [46] Nunley RM, Wright D, Renner JB, Yu B, Garrett WE. Gender comparison of patellar tendon tibial shaft angle with weight bearing. *Research in Sports Medicine*. 2003; 11(3): 173-85. [DOI:10.1080/15438620390231193]
- [47] Cerulli G, Benoit DL, Lamontagne M, Caraffa A, Liti A. In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: Case report. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2003; 11(5):307-11. [DOI:10.1007/s00167-003-0403-6] [PMID]