

Research Paper



The Effect of Toe Direction Modification on Medial Knee Compartment Pressure in Students with Genu Varum

Mehrnoosh Jamali¹, Sabikeh Moghaddamnezhad¹, *Abdolrasoul Daneshjoo¹, Seyyed Kazem Mousavi Sadati¹

1. Department of Sport Sciences, ET.C., Islamic Azad university, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online



Citation: Jamali M, Moghaddamnezhad S, Daneshjoo A, Mousavi Sadati SK. The Effect of Toe Direction Modification on Medial Knee Compartment Pressure in Students with Genu Varum. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(3):236-250. <https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.3.236>

<https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.3.236>



Article Info:

Received: 6 June 2025

Accepted: 8 July 2025

Available Online: 9 July 2025

Keywords:

Genu varum, Drop landing, Knee adduction moment, Young adults

ABSTRACT

Objective Individuals with genu varum are at increased risk for various skeletal and structural injuries due to force imbalances around the knees. This study aimed to examine the effect of toe direction on medial knee compartment pressure in students with genu varum.

Methods The study population included students from Kharazmi University in Tehran. Fourteen participants with genu varum (mean height: 175 ± 3.70 cm, weight: 65 ± 12.40 kg, age: 29 ± 7.10 years) were voluntarily recruited from university dormitories based on predetermined inclusion criteria. Participants performed a drop landing from a 30 cm platform under two conditions: toe-in and toe-out. Three successful trials were recorded for each condition per participant. Kinematic and kinetic data were collected using a camera and force plate and processed with MATLAB. Statistical analysis was performed using the Shapiro–Wilk test and paired t-test in SPSS version 23, with the significance level set at $p = 0.05$.

Results During landing, knee adduction torque was significantly higher in the toe-in condition compared to the toe-out condition. The paired t-test revealed a significant difference in mean knee adduction torque between the two conditions ($p = 0.001$), indicating that toe-in positioning increases medial knee loading.

Conclusion The findings suggest that adopting a toe-out landing strategy can significantly reduce knee adduction torque compared to toe-in positioning. This adjustment may help decrease medial knee compartment pressure in individuals with genu varum during landing. Further research is recommended to confirm these findings and explore their clinical implications.

* Corresponding Author:

Abdolrasoul Daneshjoo

Address: Department of Sport Sciences, ET.C., Islamic Azad university, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 33585909

E-mail: phdanesh@yahoo.com

Extended Abstract

1. Introduction

Genu varum is a common skeletal deformity that can contribute to both acute and chronic lower limb injuries. Due to the altered alignment between the femur and tibia, individuals with genu varum experience abnormal distribution of intercondylar forces. This biomechanical imbalance is particularly pronounced during landing tasks, where ground reaction forces (GRFs) can reach several times the individual's body weight (1, 2). Jumping and landing are fundamental components of many athletic activities, and improper joint alignment during these movements can increase the risk of injury. Toe orientation—specifically toe-in and toe-out positions—has been shown to influence lower limb kinematics and is frequently considered in both performance optimization and rehabilitation strategies (13–15). In the context of osteoarthritis, which is a progressive and currently incurable condition, foot orientation strategies have been explored as a means to reduce medial knee loading by minimizing knee adduction torque during gait (16). Given that individuals with genu varum already experience increased pressure on the medial compartment of the knee, modulating toe orientation during high-impact movements such as landing could offer a useful biomechanical intervention. Altering knee adduction torque through changes in toe position may help redistribute forces more evenly across the joint, thereby providing both preventive and rehabilitative benefits (18–20). Therefore, the present study aimed to investigate the effects of toe-in and toe-out orientations during landing on knee adduction torque in young men with genu varum, in order to explore potential strategies for reducing medial knee compartment loading in this population.

2. Methods

This quasi-experimental study followed a pre-test–post-test design and was approved by the Ethics Committee of the Islamic Azad University, East Tehran Branch (IR.IAU.ET.REC.1400.025). Participants were selected from male students at Kharazmi University, aged between 22 and 36 years, who expressed willingness to participate in the study. Based on the inclusion criteria, 14 individuals with genu varum were recruited as the final sample. Eligibility criteria included appropriate age range and presence of genu varum, with exclusion criteria comprising any history of traumatic injury, lower limb fractures, musculoskeletal disorders of the lower limbs or spine, knee osteoarthritis, respiratory conditions, neurological impairments, and other musculoskeletal diseases. All participants signed informed consent forms confirming their eligibility and willingness to participate. Participants attended the biomechanics laboratory and performed a drop landing task under two toe orientation conditions: (1) toe-in and (2) toe-out. Each participant completed three successful trials per condition, which were recorded for analysis. Kinematic and kinetic data were captured using a high-speed camera and a force plate, and all recordings were processed using MATLAB software. Descriptive statistics (mean and standard deviation) were calculated for the target variables. The Shapiro–Wilk test was used to assess the normality of the data, and paired t-tests were conducted to compare the biomechanical variables between the two toe conditions. Statistical analyses were performed using SPSS version 23, with the significance level set at $p \leq 0.05$.

3. Results

The analysis of knee adduction torque during the landing phase revealed that torque values were significantly higher in the toe-in condition compared to the toe-out condition. Paired t-test results indicated a statistically significant difference in mean knee adduction torque between the two toe orientations ($p = 0.001$), with the toe-in strategy producing greater torque than the toe-out strategy (Fig. 1).

4. Discussion

This study examined the effect of toe-in and toe-out landing strategies on medial knee compartment pressure in individuals with genu varum. The results demonstrated that a toe-out landing strategy significantly reduces knee adduction torque compared to the toe-in strategy. Previous studies have explored various movement strategies and their association with acute and chronic injuries.

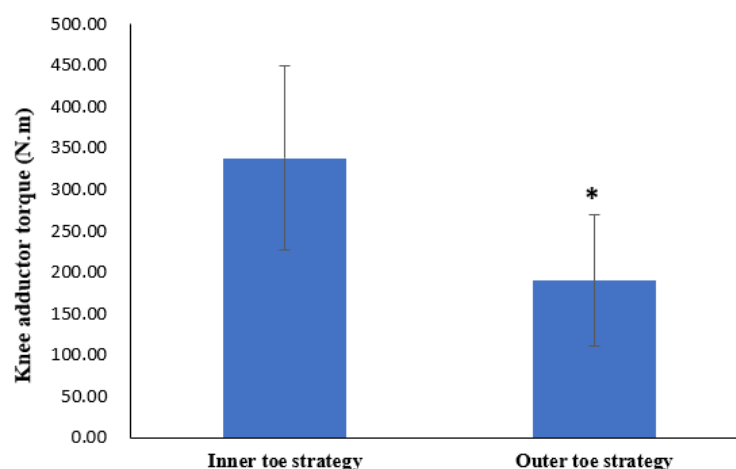


Fig. 1. Knee adductor torque between inner and outer toe strategy. *Indicates significant difference compared to the inner toe strategy, significance level $p \leq 0.05$.

One of the most frequently investigated topics has been knee alignment—specifically valgus and varus orientations—during landing, as proper alignment can help reduce injury risk (23). Toe angle has also been identified as a key factor influencing lower limb biomechanics. For instance, Andrews et al. (1996) found that individuals with a greater toe-out angle during the double-support phase of walking exhibited significantly reduced knee adduction torque—findings that are consistent with the present study (30). Similarly, Goe et al. (2007) reported that in individuals with medial knee osteoarthritis, an increased toe-out angle during walking and stair ascent was associated with reduced peak knee adduction torque, potentially helping to slow disease progression (31). However, the same study found no significant relationship between toe angle and adduction torque during stair descent, which contrasts with the findings of our current study (26). Toe angle can vary widely across individuals due to differences in movement habits or biomechanical adaptations. In the present study, to enhance consistency and accuracy, toe angles were standardized for all participants. In contrast, some previous research has allowed participants to self-select toe angles, potentially introducing variability in movement patterns and joint loading. It should be noted that this study was conducted in a single session, without accounting for long-term adaptations or motor learning effects, which may influence coordination patterns. Furthermore, landing tasks involve high ground reaction forces, and even subtle changes in lower limb alignment can significantly alter joint loading.

In conclusion, the findings suggest that adopting a toe-out landing strategy may be beneficial for reducing medial knee compartment pressure in individuals with genu varum, thereby potentially lowering the risk of both acute and chronic injuries. Further longitudinal and neuromuscular studies are recommended to explore the long-term effects and underlying mechanisms of this intervention strategy.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical considerations were fully observed in this study. Participants were informed about the research procedures in detail and provided written consent prior to participation. They were also assured of their right to withdraw from the study at any time without penalty. Furthermore, all personal information was kept strictly confidential and used solely for research purposes.

Funding

This research did not receive any grants from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

All authors participated in the design, implementation, and writing of all parts of this research.

Conflicts of interest

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

مقاله پژوهشی

تأثیر تغییر جهت پنجه پا بر میزان فشار کمپارتمان داخلی زانو در دانشجویان مبتلا به پای پراتنزی

مهرنوش جمالی^۱، سبیکه مقدم‌نژاد^۱، عبدالرسول دانشجو^۱، سیدکاظم موسوی‌ساداتی^۱

۱. گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.



Citation: Jamali M, Moghaddamnezhad S, Daneshjoo A, Mousavi Sadati SK. The Effect of Toe Direction Modification on Medial Knee Compartment Pressure in Students with Genu Varum. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(3):236-250. <https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.3.236>



<https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.3.236>

چکیده

هدف افراد مبتلا به پای پراتنزی به علت عدم بالانس نیروها بر زانوها در معرض آسیب‌های اسکلتی و ساختاری زیادی می‌باشند. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تغییر جهت پنجه پا بر میزان فشار کمپارتمان داخلی زانو در دانشجویان مبتلا به پای پراتنزی بود.

روش‌ها جامعه آماری پژوهش حاضر را دانشجویان دانشگاه خوارزمی تهران تشکیل دادند و ۱۴ آزمودنی مبتلا به پای پراتنزی از خوابگاه به‌صورت داوطلبانه برای شرکت در این پژوهش بر اساس معیارهای موجود انتخاب شدند (قد $175 \pm 3/70$ سانتی‌متر، وزن $65 \pm 12/40$ کیلوگرم و سن آزمودنی‌ها $29 \pm 7/10$ سال). آزمودنی‌ها در آزمایشگاه حضور پیدا کردند و حرکت فرود (از سکویی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) را در دو شرایط پنجه روبه‌داخل و پنجه رو به خارج انجام دادند و در نهایت ۳ تکرار صحیح برای هر آزمودنی ضبط شد. داده‌های به‌دست‌آمده از دوربین و فورس پلیت با نرم‌افزار متلب مورد پردازش قرار گرفتند. داده‌های به‌دست‌آمده توسط آزمون‌های آماری شاپیرو-ویلک و t همبسته با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ در سطح $P=0/05$ تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها داده‌های گشتاور آداکتوری زانو در حین فاز فرود در حالت پنجه رو به بیرون و پنجه رو به داخل نشان می‌دهد که گشتاور آداکتوری زانو در حالت استراتژی پنجه رو به داخل بیشتر از استراتژی پنجه رو به بیرون می‌باشد. نتایج آزمون t همبسته در خصوص تفاوت میانگین گشتاور آداکتوری زانوها در دو حالت پنجه رو به بیرون و داخل نشان می‌دهد که بین میانگین گشتاور آداکتوری زانوها در دو حالت پنجه رو به بیرون و داخل تفاوت معناداری وجود دارد ($P=0/01$).

نتیجه‌گیری نتایج نشان داد که استراتژی پنجه رو به بیرون در حین فرود می‌تواند گشتاور آداکتوری زانو را به‌طور معناداری نسبت به پنجه رو به داخل کاهش دهد و احتمالاً می‌توان از این استراتژی برای اصلاح میزان فشار کمپارتمان داخلی زانو در افراد مبتلا به پای پراتنزی در حین فرود استفاده کرد. برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر در این خصوص نیاز به بررسی‌های بیشتری می‌باشد.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۳ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۷ تیر ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۷ تیر ۱۴۰۴

کلید واژه‌ها:

زانوی پراتنزی، فرود، گشتاور آداکتوری زانو، مردان جوان

*نویسنده مسئول:

عبدالرسول دانشجو

آدرس: گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تلفن: ۳۳۵۸۵۹۰۹ (۲۱) ۰۹۸+

ایمیل: phdanesht@yahoo.com

مقدمه

ناهنجاری زانوی پرانتری یکی از ساختارهای رایج اسکلتی می‌باشد که عاملی برای آسیب‌های مزین و حاد است (۱). پرش و فرود مهارتی عمومی و رایج در اکثر فعالیت‌های ورزشی به حساب می‌رود؛ نیروی واکنش زمین (GRF)^۱ در هنگام فرود به چندین برابر وزن بدن می‌رسد (۲). نیروی فزاینده‌ی وارده بر مفصل زانو علاوه بر تأثیرات مثبتی که می‌تواند در تراکم استخوان داشته باشد، در وضعیت‌های خاص انجام تعداد بالای این حرکت به‌مرور می‌تواند منجر به ایجاد میکرو آسیب در بافت غضروفی گردد (۳). ناهنجاری پای پرانتری در ورزشکاران رایج می‌باشد به‌طوری‌که تحقیقات ارتباط بالایی بین ورزش فوتبال و پای پرانتری مشاهده کرده‌اند. در افراد مبتلا به پای پرانتری، جهت نیروهای وارد بر زانو به علت تغییر در راستا دو اندام (ران و ساق پا)، متفاوت است، به‌طوری‌که فشار کمپارتمان داخلی زانو چند برابر قسمت خارجی است (۴). لذا این افراد بیشتر در معرض آسیب‌های زانو قرار دارند و نیاز است جهت کاهش نیروهای داخلی زانو در افراد مبتلا به پای پرانتری راه‌کارهای مختلف بررسی شود. به‌منظور کاهش ضربه‌ی ناشی از فرود در تحقیقات علمی پیشنهادهای زیادی برای طراحی کفش‌های مخصوص، انجام عمل جراحی استئوتومی برای برش سطح مقطع استخوانی و اصلاح الایمنت، برای تغییر استراتژی فرود ارائه کرده‌اند (۵، ۶). به‌ویژه به جهت کاهش فشار بخش داخلی مفصل زانو برخی بررسی‌ها انجام شده است (۷). استفاده از ارتز گوه خارجی و بريس کم‌کننده‌ی فشار کمپارتمان داخلی زانو در افراد مبتلا به آرتروز زانو مورد استفاده قرار گرفته است. گوه‌ی خارجی با تغییری که در مرکز فشار به وجود می‌آورد و بريس مخصوص زانو با اصلاحی که در زاویه‌ی زانو ایجاد می‌کند، باعث تعدیل در نیروهای داخلی و خارجی سطح مفصل زانو شده و از تخریب آن جلوگیری می‌کند (۸-۱۰).

برای بررسی میزان نیروی کندیل داخلی و خارجی زانو، استفاده از سنسور در داخل کمپارتمان داخلی و خارجی زانو کار تهاجمی و غیرممکنی است و لذا در مطالعات گوناگون گشتاور آداکتوری زانو را به‌عنوان فاکتوری برای پیش‌بینی میزان نیرو در کندیل داخلی و خارجی زانو انتخاب کرده‌اند و با بررسی این فاکتور در مطالعات مختلف مقایسه‌ی بین گروه‌های کنترل و مداخله‌های مورد نظر را ارزیابی کرده‌اند (۱۱). طبق تحقیقات پیشین پنجه رو به داخل و خارج پا یکی از فاکتورهای تأثیرگذار مهم بر کینماتیک فعالیت‌های ورزشی و علاوه بر آن در استفاده از برنامه‌های تمرینی توان‌بخشی است (۱۲-۱۴). همچنین، بررسی تأثیر پوزیشن پا در هنگام فرود بر پارامترهای بیومکانیکی افراد مبتلا به پارگی رباط ACL در پرش- فرود جفت‌پا، نشان داد که پنجه رو به داخل در هنگام فرود، ریسک فاکتورهای آسیب پارگی رباط را بالا می‌برد و پنجه روبه خارج این ریسک فاکتورها را کاهش می‌دهد (۱۴). زانو پرانتری می‌تواند عاملی تأثیرگذار بر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین باشد (۱۵).

پای پرانتری از جمله ناهنجاری‌های شایع در میان ورزشکاران و حتی افراد آماتور است که می‌تواند با تغییر در فشار نیروهای مفصل زانو عاملی برای آسیب‌های گوناگون مفصلی باشد. فشار زیاد در کندیل داخلی در حرکتی همچون فرود با افزایش چندین برابری نیروها در کندیل‌های زانو همراه است و عدم تعادل نیروها در کندیل‌ها می‌تواند باعث افزایش فشار وارده شود. فرود می‌تواند گشتاور آداکتوری زانو را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه فشار متفاوتی را در کندیل داخلی زانو ایجاد کند. به دلیل اینکه در افراد مبتلا به پای پرانتری فشار کندیل داخلی زیاد است، این احتمال وجود دارد تغییر جهت انگشتان پا به‌عنوان یک استراتژی مؤثر کمک‌کننده باشد (۱۶-۱۸). در زمینه بررسی اثرات جهت پنجه پا بر فاکتورهای کینماتیک و کینتیکی مطالعات محدودی انجام شده است و در

1. Ground reaction force

زمینه بررسی گشتاور آداکتوری بر افراد مبتلا به پای پرانتزی تا اکنون پژوهشی انجام نشده است و این تحقیق برای اولین بار ارزیابی پارامترهای بیان شده را برای ناهنجاری پای پرانتزی در وضعیت فرود مورد بررسی قرار داده است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر جهت پنجه رو به داخل و خارج پا در مردان جوان در حین فرود است تا با بررسی اثرات آن بر فاکتور گشتاور آداکتوری زانو بازخورد مناسبی را برای افراد مبتلا به زانوی پرانتزی ارائه کند.

روش شناسی

شرکت کنندگان

این تحقیق از نوع نیمه تجربی و با طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون می‌باشد و با کد کمیته اخلاق IR. IAU.ET.REC.1400.025 دانشگاه آزاد واحد شرق انجام شد. جامعه آماری در این پژوهش دانشجویان پسر دانشگاه خوارزمی تهران بودند؛ نمونه‌های تحقیق به‌صورت در دسترس از بین مردان ۲۲ تا ۳۶ ساله دانشجوی دانشگاه خوارزمی تهران که تمایل به شرکت در این تحقیق داشتند، انتخاب شدند. تعداد ۱۴ نفر بر اساس معیارهای ورود به پژوهش به‌عنوان نمونه آماری انتخاب شدند (با استفاده از نرم‌افزار G*Power نسخه ۳/۱ و مقدار $\alpha=0/05$ ، $\beta=0/20$ (توان ۸۰ درصد)).

معیارهای ورود به تحقیق، شرکت نکردن در برنامه‌های توان‌بخشی اندام تحتانی طی ۶ ماه گذشته و داشتن نقص الگوی حرکتی (پای پرانتزی) بود و معیارهای خروج از تحقیق شامل، سابقه آسیب‌دیدگی عضلانی در دو ماه گذشته، سابقه آسیب‌دیدگی اندام تحتانی، لگن، زانو و مچ در شش ماه گذشته، اختلالات تعادلی ثانویه به اختلال وستیبولار یا نرولوژیکال که می‌تواند باعث از دست دادن تعادل شود، سابقه جراحی در کمر و اندام تحتانی در یک سال گذشته و هر بیماری که تأثیر منفی بر عملکرد و ایمنی فرود پس از پرش، داشته باشد، بود (۱۹).

روش اجرا

آزمون‌های این پژوهش در آزمایشگاه پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی انجام شد. آزمودنی‌ها در ابتدا با نحوه انجام حرکت آشنا شدند و توسط آزمون گیرنده آگاهی‌های لازم داده شد. ملاحظات در نحوه اجرای حرکت به آن‌ها گفته شد، فرم اطلاعات فردی و پرسشنامه‌ی سلامت توسط آن‌ها تکمیل، قد و وزن آزمودنی‌ها مورد سنجش قرار گرفت. پیش از اجرای حرکت گرم کردن انجام گردید و مارکرگذاری (شکل ۱) انجام شد. قد آزمودنی‌ها با قدسنج سکا (Seca، آلمان) با دقت ۰/۱ سانتی‌متر و وزن با ترازوی دیجیتال کالیبره شده (Seca، آلمان) اندازه‌گیری شد. توضیحات لازم و دستورالعمل‌های مربوط به اجرای آزمون، قبل از اجرای آزمون به هر آزمودنی گفته شد.

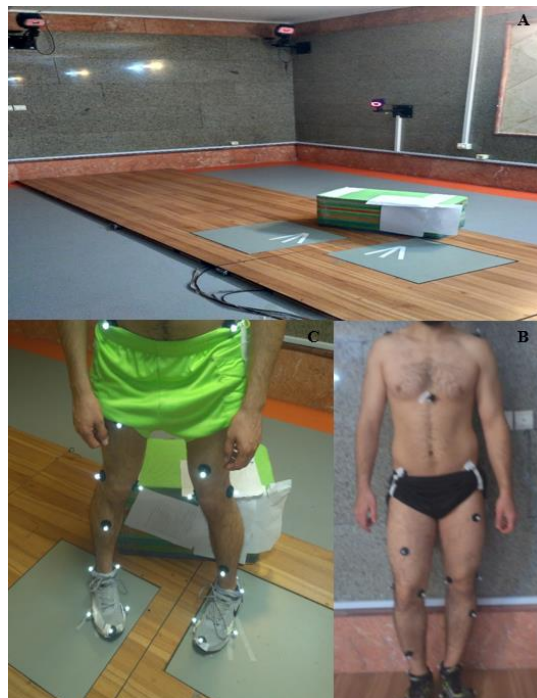
اندازه‌گیری زانوی پرانتزی با استفاده از کولیس

برای اندازه‌گیری این ناهنجاری، فرد بدون کفش و جوراب درحالی‌که زانو‌ها و ران‌های وی دیده می‌شود، بدون هیچ‌گونه انقباضی و تونوس غیرطبیعی در عضلات ناحیه ران می‌ایستد. زانو‌ها باید در حالت اکستنشن کامل قرار گرفته و قوزک دو پا به‌گونه‌ای به هم

بچسبند که استخوان‌های کشکک روبه‌رو باشند. در این حالت فاصله بین دو کندیل داخلی ران‌ها (فوق لقمه داخلی ران) با کولیس اندازه‌گیری می‌شود. اگر فاصله بین دو کندیل بیشتر از سه سانتی‌متر باشد، زانوی پرانتری محسوب می‌شود (۲۰).

اندازه‌گیری اطلاعات کینتیک و کینماتیک

ابتدا چسب دوطرفه را برای اتصال به مارک‌های به بدن آزمودنی آماده کرده و پس از آن با توجه به لند مارک‌های مورد نظر، مارک‌ها بر روی پوست آزمودنی قرار می‌گیرد (شکل ۱). لند مارک‌های مارکر گذاری شده در این پژوهش به تعداد ۲۷ عدد انتخاب شدند که با استفاده از مدل پلاگین گیت^۱ در اندام تحتانی مورد استفاده قرار گرفتند (۲۱). در این مرحله هر یک آزمودنی‌های به تعداد ۳ مرتبه حرکت صحیح فرود (از سکویی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) را در دو حالت پنجه رو به داخل و خارج انجام دادند (۲۲). مشابه تحقیقات گذشته زاویه‌ی پنجه‌ی بیرون را ۴۵ درجه از خط وسط به سمت خارجی یا لترال بدن و زاویه‌ی پنجه‌ی رو به داخل را ۴۵ درجه از خط وسط به سمت داخلی بدن یا مدیال در نظر گرفته شد (۲۳). ملاک ارزیابی و قبول بودن حرکت هم‌زمان بودن فرود هر دو پا، نگاه آزمودنی‌ها به روبه‌رو و تماس کامل کف کفش‌ها بر صفحه‌ی فرس پلیت AMTI (ساخت آمریکا مدل Acu gait با ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر و نرخ نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز در ثانیه) تعریف شده بود (شکل ۱). حرکت‌هایی که شرایط مذکور را نداشتند مورد قبول واقع نشدند و در مرحله‌ی تحلیل دیتا میانگین خروجی‌های ۳ فرود برای هر نفر به‌عنوان معیار خروجی آن فرد در نظر گرفته شد. با استفاده از نرم‌افزار کرتکس با دوربین آنالیز تصویر (یا روشن آنالایزر) ۲۵۰ هرتز ارزیابی انجام شد. داده‌های خروجی با رسم نمودار مورد ارزیابی کیفی قرار گرفت و پس از اطمینان از آن‌ها مراحل بعدی انجام شد. تمامی مراحل با استفاده از نرم‌افزار متلب (a2024 R Matlab) صورت پذیرفت (۲۲).



شکل ۱. نمایشی از فضای کالیبره شده دوربین و صفحه‌ی نیرو (A)، شکل مارکر گذاری نمای قدامی (B)، نمای آزمونی در شرایط فرود با پنجه متمایل (C)

1. Plug-in Gait

برای محاسبه‌ی گشتاور آداکتوری زانو از روش لور-آرم استفاده گردید. طول بازوی گشتاور زانو با توجه به محل مرکز فشار و فاصله تا کندیل داخلی زانو محاسبه گردید (۲۴).

$$EKAMy=rzGRF+rxGRFz$$

rZ = طول بازوی گشتاوری زانو در محور عمودی، rX = طول بازوی گشتاوری زانو در محور افقی

روش آماری

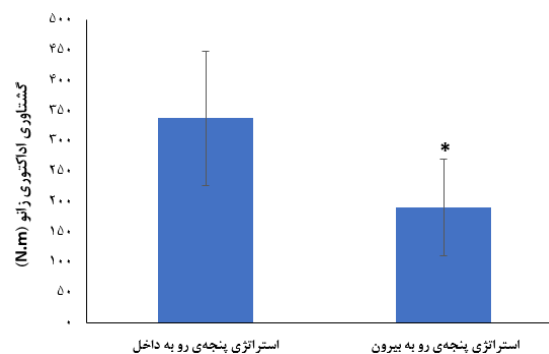
میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای مورد نظر ارزیابی شد. از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن متغیرها و از آزمون t همبسته جهت بررسی داده‌های گشتاور آداکتوری زانو در حین فاز فرود به هنگام استفاده از استراتژی پنجه رو به بیرون و پنجه رو به داخل استفاده شده است. در این پژوهش سطح معناداری $p \leq 0.05$ در نظر گرفته شد و از SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد.

نتایج

میانگین و انحراف استاندارد قد، وزن و سن آزمودنی‌ها در **جدول ۱** نشان داده شده است. داده‌های گشتاور آداکتوری زانو در حین فاز فرود به هنگام استفاده از استراتژی پنجه رو به بیرون و پنجه رو به داخل در **شکل ۲** نشان می‌دهد که گشتاور آداکتوری زانو در حالت استراتژی پنجه رو به داخل ($247/67 \pm 111/13$) بیشتر از استراتژی پنجه رو به بیرون ($105/33 \pm 79/99$) می‌باشد. نتایج آزمون t همبسته در خصوص تفاوت میانگین گشتاور آداکتوری زانو در دو حالت پنجه رو به بیرون و داخل نشان می‌دهد که بین میانگین گشتاور آداکتوری زانو در دو حالت پنجه رو به بیرون و داخل تفاوت معناداری وجود دارد ($P = 0.001$) (**جدول ۲**).

جدول ۱. مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها

متغیر	میانگین $\pm$ انحراف معیار	دامنه
سن (سال)	$29 \pm 7/10$	۳۶-۲۲
قد (سانتی‌متر)	$175 \pm 3/70$	۱۸۲/۳۲-۱۷۰/۵۴
وزن (کیلوگرم)	$65 \pm 12/40$	۷۹-۵۸
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	$21/62 \pm 12/40$	۲۴/۱۱-۲۰/۴۳



شکل ۲. گشتاور آداکتوری زانو بین شرایط پنجه به داخل و خارج. * نشان‌دهنده تفاوت معنادار نسبت به استراتژی پنجه رو به داخل، سطح معناداری $p \leq 0.05$

1. Lever-arm

جدول ۲. نتایج آزمون t همبسته بین شرایط پنجه رو به داخل و خارج

سطح معناداری	درجه آزادی	t آماره	تفاضل زوجها		گشتاور آداکتوری زانو بین استراتژی پنجه داخل و خارج
			فاصله اطمینان ۹۵٪		
			کران بالا	کران پایین	
۰/۰۰۱*	۱۳	۵/۵۲	۲۱۴/۲۴	۹۳/۸۲	

*نشان‌دهنده تفاوت معنادار در سطح $p \leq 0.05$

بحث

هدف پژوهش حاضر بررسی ارتباط استراتژی فرود با پنجه رو به بیرون و پنجه رو به داخل دانشجویان مبتلا به پای پرانتزی با میزان فشار کمپارتمان داخلی زانو بود. نتایج نشان داد که استراتژی پنجه رو به بیرون در حین فرود می‌تواند گشتاور آداکتوری زانو را به‌طور معناداری نسبت به پنجه رو به داخل کاهش دهد. زانوی پرانتزی غالباً بر نوع راه رفتن افراد تأثیرگذار بوده و برخی اوقات افراد بر روی لبه‌ی خارجی پا راه می‌روند و برخی اوقات در چرخش به سمت خارج دچار محدودیت حرکتی هستند. زانوی پرانتز با درجات بالا می‌تواند نشانه‌ی تخریب زانو باشد. در این عارضه پاها غالباً دچار چرخش خارجی شده و از حالت عادی به حالت پرونیشن تغییر وضعیت می‌دهد و عموماً با اصلاح ران در زانوی پرانتزی و پرونیشن اکتسابی وضعیت پاها اصلاح می‌شود (۲۵). در این ناهنجاری قوزک‌های داخلی به یکدیگر نزدیک شده و زانوها از هم فاصله می‌گیرند به همین خاطر عضلات خارجی ران دچار کشش می‌شوند. به‌علاوه لیگامنت‌های جانب داخلی و کپسول داخلی زانو و لیگامنت‌های بخش‌های عمقی و سطحی میچ پا دچار کوتاهی و عناصر خارجی دچار کشش می‌گردند (۲۵). در این عارضه خط ثقل از حالت عادی خارج شده و با ایجاد فاصله از مرکز مفصل زانو باعث ایجاد نیروی گشتاور غیرطبیعی و فشارهای غیرمتعارفی در سطح مفصلی می‌گردد. در این حالت نیروهای بین مفصل در کنبدیل داخلی بیشتر شده و در قسمت خارجی نیروی بین مفصلی کاهش می‌یابد. این تغییر توزیع نیرو ممکن است منجر به آسیب به ساختار غضروف شود و ممکن است منجر به ابتلا یا تشدید در استئوآرتریت کمپارتمان داخلی زانو گردد و به دلیل نزدیک شدن نقطه‌ی اتصال لیگامنت کپسول داخلی به سائیدگی غضروف مفصلی در قسمت داخلی باعث افزایش شلی داخلی مفصل می‌شود. زانوی پرانتزی در مردها متداول‌تر از زنان است. مفصل زانو در هنگام برهم خوردن تعادل نیروهای عضلانی و بدن عملکرد طبیعی خود را ندارد (۲۶، ۲۷).

نتایج نشان می‌دهد که در حالت پنجه رو به بیرون، گشتاور آداکتوری کمتری ایجاد می‌شود که نشان‌دهنده‌ی کاهش فشار کمپارتمان داخلی است. مطابق با تحقیقات پیشین این تغییر می‌تواند با کاهش بار از بخش خلفی بیرونی کمپارتمان داخلی زانو همچون غضروف‌های خارجی، لیگامنت‌های خارجی زانو، باند الیوتیال و فاشیای خارجی همراه باشد (۲۸). برخی مطالعات استراتژی‌های مختلف حرکت و ارتباط آن با آسیب‌های مزمن و حاد را بررسی کرده‌اند. یکی از پرتکرارترین پژوهش‌ها در این زمینه مربوط به بررسی والگوس و واروس زانوها در حین فرود بوده است؛ به این علت که با تعیین استراتژی صحیح احتمال آسیب را کاهش دهیم (۲۹). همچنین مطالعاتی بررسی تأثیر زاویه‌ی پنجه پا را در حرکات مختلف بررسی کرده‌اند. آندریوز و همکاران (۱۹۹۶) در پژوهش خود بیان کردند که افرادی که زاویه‌ی پنجه بیرون بیشتری در فاز حمایت دوگانه دارند، گشتاور آداکتوری به‌طور معناداری در این افراد همچون نتیجه‌ی خروجی این مطالعه کاهش می‌یابد (۳۰). علاوه بر این، جئو و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی این متغیر در حین

1. Andrews
2. Guo

راه رفتن و بالا رفتن از پله‌ها در افراد مبتلا به آرتروز داخلی زانو‌ها برای بررسی راهکار کاهش میزان پیش روی این بیماری، بیان کردند که پیک دوم گشتاوری آداکتوری در حین راه رفتن با زاویه‌ی پنجه پا ارتباط غیرمستقیم دارد؛ بدین معنی که با افزایش این زاویه و بیرون رفتن پنجه‌ها گشتاور کاهش می‌یابد و می‌توان روند پیشگیری این بیماری را بهبود بخشید (۳۱) و گشتاور آداکتوری را کاهش دهد. همچنین، آن‌ها بیان کردند که ارتباط معناداری در حین پایین آمدن از پله‌ها و متغیر مربوطه وجود ندارد (۳۱) که مخالف نتایج پژوهش حاضر است.

راه رفتن با پنجه پا به سمت بیرون، فشار وارده به زانو را با جابه‌جایی جانبی محل مرکز فشار و در نتیجه GRF تغییر می‌دهد و منجر به کاهش بازوی اهرمی GRF در صفحه فروتنال در زانو و در نتیجه کاهش گشتاور اداکشن زانو می‌شود (۲۸). راه رفتن با پنجه پا به سمت داخل، اوج گشتاور اداکشن زانو در اوایل ایستادن را با تغییر مرکز مفصل زانو به سمت داخل و/یا چرخش خارجی پاشنه و در نتیجه تغییر جانبی مرکز فشار، تغییر می‌دهد (۳۲). تغییر در گشتاور اداکشن زانو در اوایل ایستادن با تغییر زاویه پیشروی پا ممکن است با افزایش گشتاور خم شدن خارجی همراه باشد که احتمالاً بار مفصل را از قرار گرفتن غالب در محفظه داخلی به توزیع یکنواخت‌تر بین دو محفظه منتقل می‌کند (۲۸). بر این اساس، کاهش گشتاور اداکشن زانو ممکن است با افزایش گشتاور خم شدن زانو در طول اوایل ایستادن یا گشتاور باز شدن زانو در طول اواخر ایستادن همراه باشد که به‌طور بالقوه اثرات مثبت کاهش گشتاور اداکشن زانو را خنثی می‌کند (۳۳).

برخی مطالعات نیز اثرات این استراتژی را در حالت فرود بررسی کرده‌اند که به این پژوهش نزدیک‌تر است. کوشینو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی گشتاور و فاکتورهای آسیب‌مچ پا در فرود تک پا در حالت پنجه با جهت‌های گوناگون، به این نتیجه رسیدند که پنجه رو به داخل می‌تواند این فاکتورها را تشدید کرده و احتمال آسیب را به نسبت پنجه رو به بیرون افزایش دهد (۲۲). همچنین، ایشیدا^۲ و همکاران (۲۰۱۵) جهت پنجه‌های پا را در سه حالت خنثی، داخل و خارج در حرکت پرش عمودی برای بررسی پارامترهای آسیب رباط صلیبی مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد حالت پنجه به داخل به نسبت دیگر موقعیت‌ها اثرات معناداری داشت. این معناداری در فاکتورهای زاویه‌ی اداکشن زانو، چرخش داخلی تیبا و گشتاور زانو برای پنجه رو به داخل و تغییر معنادار چرخش داخلی در حالت پنجه رو به خارج بود (۳۴)؛ نتایج نشان می‌دهد، علاوه بر تأثیرات منفی پنجه رو به داخل در این پژوهش، این استراتژی در فاکتورهای آسیب‌های دیگر نیز تأثیرگذار است. علاوه بر این، جئو و همکاران (۲۰۰۱) و لین^۳ و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که پنجه رو به بیرون می‌تواند جهت بردار نیروی واکنش زمین را به سمت بیرون هدایت کرده و با این تغییر جهت خط نیروها در صفحه‌ی فروتنال بازوی گشتاوری کاهش می‌یابد. این مکانیزم می‌تواند کاهش گشتاور آداکتوری را به همراه داشته باشد (۳۱). تفاوت بار بین دو استراتژی تست شده در این پژوهش ۲/۶ درصد می‌باشد و لذا این تفاوت چشم‌گیر بوده و نشان‌دهنده اهمیت توجه به این استراتژی‌ها است. این تغییر کمیت در حرکت تکراری فرود می‌تواند به‌مرور میکرو آسیب‌های داخلی زانو را کم کند و به حفظ سلامت افراد در حین انجام فعالیت ورزشی در افراد مبتلا به پای پرانتری بیفزاید.

همان‌طور که گفته شد زانوی پرانتری می‌تواند گشتاور گرانشی داخلی - خارجی را روی زانو و اندام تحتانی افزایش دهد و اثر منفی بر تعادل بگذارد (۳۶). افزایش و یا عدم تعادل نیروهای بین دو کندیل مفصل زانو، باعث احتمال آسیب مفصل و افت عملکرد می‌شود.

1. Koshino
2. Ishida
3. Lin

ساختار مفصلی زانو از جمله غضروف‌ها و مینیسک‌ها در صورت عدم تعادل نیروها در ناهنجاری مثل زانوی پرانتزی، تخریب و مستعد بیماری‌هایی همچون آرتروز زانو قرار می‌گیرند. بررسی‌ها نشان داده افزایش گشتاور آداکتوری در این گروه افراد به‌عنوان فاکتور پیش‌بینی کننده‌ی فشار بین کندیل داخلی و خارجی، فاکتوری مهم برای ارزیابی شرایط افراد می‌باشد. کاهش فشار کندیل داخلی در افراد مبتلا به پای پرانتزی به معنی تعادل نیروها وارده می‌باشد و در نتیجه باعث کاهش گشتاور آداکتوری زانو شده و می‌تواند باعث کاهش آسیب‌های مزمن و حاد شود (۳۷، ۳۸).

زاویه‌ی پنجه پا به‌طور عادی در افراد متفاوت است که از عادت‌ها یا مداخلات مختلف در آن‌ها ناشی می‌شود (۳۹). در این پژوهش برای بالا بردن دقت، زاویه‌ی پنجه پا به‌طور دقیق برای همه ثابت بود. با این وجود بعضی مطالعات در این حیطه به دلیل کم کردن تغییرات الگوی حرکتی بازخورد کلی برای زاویه‌ی پنجه‌ها به فرد داده و نتیجه‌ی کلی را گزارش کرده‌اند. هماهنگی الگوی حرکت نیز از جمله موادی است که در این پژوهش به دلیل یک جلسه‌ای بودن در نظر گرفته نشد و به‌عنوان محدودیت بر متغیرهای خروجی تأثیرگذار است. در حرکت فرود شاهد اعمال نیروی زیادی هستیم، به همین جهت کوچک‌ترین تداخل می‌تواند اثرات بزرگی به‌جای گذارد. مطابق با توضیحات و استدلال‌های بیان شده، فشار بین کندیلی زانوها در افراد مبتلا به ناهنجاری زانوی پرانتزی به جهت کنترل و پیشگیری آسیب‌های حاد و مزمن از اهمیت بالایی برخوردار است.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طور کلی نتایج نشان داد که استراتژی پنجه رو به بیرون در حین فرود می‌تواند گشتاور آداکتوری زانو را به‌طور معناداری نسبت به پنجه رو به داخل کاهش دهد و در نهایت در افراد مبتلا به پای پرانتزی منجر به تعدیل نیروها در زانو و کاهش میزان آسیب‌های ناگهانی و مزمن شود. برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر نیاز به پژوهش‌های بیشتر و بررسی سایر فاکتورهای عملکردی در زاویه‌های گوناگون می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

حامی مالی

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

مشارکت نویسندگان

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

تعارض

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Fombonne E. Modern views of autism. The Canadian Journal of Psychiatry. 2003;48(8):503-5. [DOI:10.1177/070674370304800801] [PMID]
2. Al-Heizan MO, AlAbdulwahab SS, Kachanathu SJ, Natho M. Sensory processing dysfunction among Saudi children with and without autism. Journal of physical therapy science. 2015;27(5):1313-6. [DOI:10.1589/jpts.27.1313] [PMID]
3. Schmitz N, Rubia K, Daly E, Smith A, Williams S, Murphy DG. Neural correlates of executive function in autistic spectrum disorders. Biological psychiatry. 2006;59(1):7-16. [DOI:10.1016/j.biopsych.2005.06.007] [PMID]
4. Adamson LB, Bakeman R, Deckner DF, Ronski M. Joint engagement and the emergence of language in children with autism and Down syndrome. Journal of autism and developmental disorders. 2009;39:84-96. [DOI:10.1007/s10803-008-0601-7] [PMID]
5. Jekan M, Hoseini SA, Mohammadi MR, Salehi M. The Effects of Ball Skills Training on Adaptive Behaviors of Children with Hgh Functioning Autism. Archives of Rehabilitation. 2013;13:136-44.
6. Musavi SH, Ghasemi B, Davodi M. The relationship of the rate of internal longitudinal foot arch with cardiorespiratory endurance and agility in male students (12-14 years old). Journal of Exercise Science and Medicine. 2011;3(2):49-65.
7. Arasto M, Zahed Nejad S, Arasto A, Negahban H, Gohar Pay S. Measurement of ground reaction forces during forward and backward walking in flat foot female subjects. Journal of Modern Rehabilitation. 2011;5(1):1-7.
8. Ghasemi V, Rajabi R, Alizadeh M, Dashti Rostami K. The comparison of dynamic balance in males with different foot types. Journal of Exercise Science and Medicine. 2011;3(1):5-20.
9. Hessari f, Norasteh a. Effects of 8-week core stabilization exercises on the balance of students with high-functioning autism. International Journal of Sport Studies. 2011;615(2):56-61. [DOI:10.2478/v10036-011-0010-4]
10. Cheldavi H, Shakerian S, Boshehri SNS, Zarghami M. The effects of balance training intervention on postural control of children with autism spectrum disorder: Role of sensory information. Research in Autism Spectrum Disorders. 2014;8(1):8-14. [DOI:10.1016/j.rasd.2013.09.016]
11. Nikkhouamiri F, Akochakian M, Shirzad Araghi E. Effect of a course of selected corrective exercises on balance and function of female adolescents with flexible flatfoot. International Journal of Musculoskeletal Pain Prevention. 2019;4(2):170-9. [DOI:10.52547/ijmpp.4.2.170]
12. Clark M, Lucett S. NASM essentials of corrective exercise training: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
13. Kumar DS, Gautham G, Sadiq M, Das B, Krishna KJ. Characteristics of foot dimensions of children with cerebral palsy and standardizing orthosis size-through an anthropometric pilot study. The Anthropologist. 2015;20(3):727-34. [DOI:10.1080/09720073.2015.11891779]

14. Dehghani M, Jaafarnejad A, Abdollahpour Darvishani M. Effect of texture insole on the frequency spectrum of ground reaction forces in children with autism spectrum disorder during walking. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2020;9(3):102-11.
15. Sadeghi H, Shirvanipour S, Mimar R. The Comparison of Vertical Ground Reaction Force during Forward and Backward Walking among Professional Male Karatekas with Genu Varum and Normal Knees. *Journal of Sport Biomechanics*. 2017;3(1):37-46.
16. Thomas M, Jankovic J, Suteerawattananon M, Wankadia S, Caroline KS, Vuong KD, Protas E. Clinical gait and balance scale (GABS): validation and utilization. *Journal of the neurological sciences*. 2004;217(1):89-99. [DOI:10.1016/j.jns.2003.09.005] [PMID]
17. Garcia-Villamizar D, Dattilo J, Muela C. Effects of B-active2 on balance, gait, stress, and well-being of adults with autism spectrum disorders and intellectual disability: A controlled trial. *Adapted Physical Activity Quarterly*. 2017;34(2):125-40. [DOI:10.1123/apaq.2015-0071] [PMID]
18. Babadi A, Nazemzadegan G, Hadianfard H. The Effect of Ball Exercises on Static and Dynamic Balance in Children with Autism Spectrum Disorders. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2017;6(3):118-24.
19. Marshall AN, Hertel J, Hart JM, Russell S, Saliba SA. Visual biofeedback and changes in lower extremity kinematics in individuals with medial knee displacement. *Journal of Athletic Training*. 2020;55(3):255-64. [DOI:10.4085/1062-6050-383-18] [PMID]
20. Bakhtiary AH, Fatemi E, Rezasoltani A. Genu varum deformity may increase postural sway and falling risk. *Koomesh*. 2012;13(3):330-8.
21. Davis III RB, Ounpuu S, Tyburski D, Gage JR. A gait analysis data collection and reduction technique. *Human movement science*. 1991;10(5):575-87. [DOI:10.1016/0167-9457(91)90046-Z]
22. Koshino Y, Ishida T, Yamanaka M, Samukawa M, Kobayashi T, Tohyama H. Toe-in landing increases the ankle inversion angle and moment during single-leg landing: implications in the prevention of lateral ankle sprains. *Journal of sport rehabilitation*. 2017;26(6):530-5. [DOI:10.1123/jsr.2016-0004] [PMID]
23. Harato K, Sakurai A, Morishige Y, Kobayashi S, Niki Y, Nagura T. Biomechanical correlation at the knee joint between static lunge and single-leg drop landing-a comparative study among three different toe directions. *Journal of Experimental Orthopaedics*. 2019;6:1-7. [DOI:10.1186/s40634-019-0208-2] [PMID]
24. Lewinson RT, Worobets JT, Stefanyshyn DJ. Calculation of external knee adduction moments: A comparison of an inverse dynamics approach and a simplified lever-arm approach. *The Knee*. 2015;22(4):292-7. [DOI:10.1016/j.knee.2015.04.003] [PMID]
25. Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for physical rehabilitation*: Mosby; 2002.
26. Alderink GJ. Joint structure and function: a comprehensive analysis. *Physical Therapy*. 2001;81(7):1365.
27. Rybski MF. *The Knee, Ankle, and Foot. Kinesiology for Occupational Therapy*. Routledge; 2024. [DOI:10.4324/9781003524724-13]
28. Jenkyn TR, Hunt MA, Jones IC, Giffin JR, Birmingham TB. Toe-out gait in patients with knee osteoarthritis partially transforms external knee adduction moment into flexion moment during early stance phase of gait: a tri-planar kinetic mechanism. *Journal of biomechanics*. 2008;41(2):276-83. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2007.09.015] [PMID]

29. Schmidt E, Harris-Hayes M, Salsich GB. Dynamic knee valgus kinematics and their relationship to pain in women with patellofemoral pain compared to women with chronic hip joint pain. *Journal of sport and health science*. 2019;8(5):486-93. [DOI:10.1016/j.jshs.2017.08.001] [PMID]
30. Andrews M, Noyes FR, Hewett TE, Andriacchi TP. Lower limb alignment and foot angle are related to stance phase knee adduction in normal subjects: a critical analysis of the reliability of gait analysis data. *Journal of orthopaedic research*. 1996;14(2):289-95. [DOI:10.1002/jor.1100140218] [PMID]
31. Guo M, Axe MJ, Manal K. The influence of foot progression angle on the knee adduction moment during walking and stair climbing in pain free individuals with knee osteoarthritis. *Gait & posture*. 2007;26(3):436-41. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2006.10.008] [PMID]
32. Shull PB, Shultz R, Silder A, Dragoo JL, Besier TF, Cutkosky MR, Delp SL. Toe-in gait reduces the first peak knee adduction moment in patients with medial compartment knee osteoarthritis. *Journal of biomechanics*. 2013;46(1):122-8. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2012.10.019] [PMID]
33. Walter JP, D'Lima DD, Colwell Jr CW, Fregly BJ. Decreased knee adduction moment does not guarantee decreased medial contact force during gait. *Journal of orthopaedic research*. 2010;28(10):1348-54. [DOI:10.1002/jor.21142] [PMID]
34. Ishida T, Yamanaka M, Takeda N, Homan K, Koshino Y, Kobayashi T, et al. The effect of changing toe direction on knee kinematics during drop vertical jump: a possible risk factor for anterior cruciate ligament injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015;23:1004-9. [DOI:10.1007/s00167-013-2815-2] [PMID]
35. Lin C-J, Lai K-A, Chou Y-L, Ho C-S. The effect of changing the foot progression angle on the knee adduction moment in normal teenagers. *Gait & Posture*. 2001;14(2):85-91. [DOI:10.1016/S0966-6362(01)00126-6] [PMID]
36. 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]
37. Andriacchi TP. Dynamics of knee malalignment. *Orthopedic Clinics of North America*. 1994;25(3):395-403. [DOI:10.1016/S0030-5898(20)31924-6] [PMID]
38. Zhao D, Banks SA, Mitchell KH, D'Lima DD, Colwell Jr CW, Fregly BJ. Correlation between the knee adduction torque and medial contact force for a variety of gait patterns. *Journal of orthopaedic research*. 2007;25(6):789-97. [DOI:10.1002/jor.20379] [PMID]
39. Aghamohammadi F, Jalalvand A. The Effect of Different Walking Strategies (Normal, Toe-Out, and Toe-In) on Maximum Force and Plantar Pressure in Ten Regions of the Foot. *Journal of Sport Biomechanics*. 2025;10(4):262-75. [DOI:10.61186/JSportBiomech.10.4.262]