



Original Paper

Effect of Short-Term Use of Anti-Pronation Insoles on Plantar Pressure Variables Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with a Pronated Foot during Gait

Raziyeh Alizadeh¹ , Amir Ali Jafarnezhadgero (Ph.D)*² , Davood Khezri (Ph.D)³
Heidar Sajedi (Ph.D)⁴ , Ehsan Fakhri Mirzanag⁵

¹ Ph.D Candidate in Sport Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. ² Associate Professor, Department of Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. ³ Assistant Professor, Department of Sports Biomechanics, Sport Sciences Research Institute, Tehran, Iran. ⁴ Assistant Professor, Faculty of Health Science, Department Exercise and Sports Sciences for Disabled People, International Science and Technology University, Warsaw, Poland. ⁵ Ph.D Candidate in Sport Biomechanics, Department of Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Abstract

Background and Objective: Individuals with a history of anterior cruciate ligament (ACL) injury are at a higher risk of re-injury compared to healthy individuals. ACL-injured patients exhibit weaker longitudinal arches and increased foot pronation compared to healthy individuals. This study aimed to determine the effect of short-term use of anti-pronation insoles on plantar pressure variables following ACL reconstruction (ACLR) with a pronated foot during gait.

Methods: This quasi-experimental study was conducted on 15 male participants who had undergone ACLR with a pronated foot (mean age= 23.2±4.5 years) and 15 healthy males (mean age= 22.7±4.3 years) in Ardabil, Iran during 2022. Plantar pressure values during gait with and without the use of anti-pronation insoles were recorded and compared using a foot scanner (sampling rate: 300 Hz).

Results: The effect of the group factor on the big toe plantar pressure variable was statistically significant ($P < 0.05$). Pairwise comparison results demonstrated a significant increase in pressure in the ACLR group (154.63 ± 41.71 N/cm²) compared to the healthy group (126.54 ± 26.57 N/cm²) ($P < 0.05$). Intragroup comparison results revealed a significant decrease in pressure on the second to fifth toes (215.73 ± 60.74 N/cm²) and the first plantar (420.58 ± 107.56 N/cm²) when using anti-pronation insoles compared to the non-insole condition (the second to fifth toes (201.57 ± 76.21 N/cm²) and the first plantar (400.78 ± 118.20 N/cm²) in the ACL reconstruction group ($P < 0.05$).

Conclusion: The use of anti-pronation insoles can effectively reduce plantar pressure after ACLR in individuals with a pronated foot during gait.

Keywords: Foot, Pronation, Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, Walking

*Corresponding Author: Amir Ali Jafarnezhadgero (Ph.D), E-mail: amiralijafarnezhad@gmail.com



Received 11 Oct 2023

Final Revised 30 Jan 2024

Accepted 7 Feb 2024

Published Online 9 Sep 2024

Cite this article as: Alizadeh R, Jafarnezhadgero AA, Khezri D, Sajedi H, Fakhri Mirzanag E. [Effect of Short-Term Use of Anti-Pronation Insoles on Plantar Pressure Variables Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with a Pronated Foot during Gait]. J Gorgan Univ Med Sci. 2024;26(3):36-44. [Article in Persian]





Extended Abstract

Introduction

One of the most common injuries among male athletes is an anterior cruciate ligament (ACL) injury.

ACL reconstruction (ACLR) is a common treatment following an ACL injury to restore joint stability and return patients to their pre-injury level of physical activity. ACLR appears to induce changes in the kinematics and kinetics of sagittal plane knee joint motion. Mechanically, ground reaction force in the vertical axis and loading rate are higher in individuals with ACLR compared to healthy individuals. Subtalar joint pronation causes excessive internal rotation of the tibia, resulting in an increased likelihood of knee joint dysfunction. The more pronation an athlete exhibits, the greater the association with ACL injury. Studies have shown that increased internal rotation of the knee joint occurs in individuals with pronated foot. Similarly, it has been reported that with increased internal or external rotation of the knee joint, ACL strength decreases. Regarding the use of insoles to reduce subtalar pronation and consequently reduce tibial internal rotation, researchers have reported varying results. However, it appears that the use of anti-pronation insoles in the knee joint is more beneficial for reducing tibial internal rotation and consequently reducing foot pronation.

Plantar pressure distribution measurement is a common and novel method for quantitatively assessing lower limb function under static and dynamic conditions, particularly during gait. Abnormal plantar pressure distribution can lead to abnormal movements and stress on lower limb structures, affecting muscle dysfunction. Examining the effect of anti-pronation insoles on gait variables using plantar pressure data can provide researchers with valuable information for gait analysis. On the other hand, the high prevalence of ACL injury and ACLR in young and active populations necessitates finding preventive methods to prevent individuals from developing this condition. Therefore, this study aimed to determine the effect of short-term use of anti-pronation insoles on plantar pressure variables after ACLR in pronated foot during gait.

Methods

This quasi-experimental study was conducted on 15 males who had undergone ACLR and exhibited pronated foot, and 15 healthy males recruited using a convenience sampling method.

Inclusion criteria for the ACLR group with pronated foot included the presence of pronated foot, an age range of 18-25 years, a minimum of 6 months post-ACLR surgery with a hamstring graft, a navicular drop greater than 10 mm, a foot posture index between 6 and 10, and a rearfoot inversion angle greater than 4° in a standing position.

The used insole had a 20-mm height differential between the internal and external longitudinal arches. The duration of using this insole was 8 weeks. Participants in the ACLR group with pronated foot were asked to wear the insoles for at least 6 hours daily during their regular activities. Data were collected under two conditions of with and without insole during gait everyday from 9 AM to 2 PM under the supervision of a physiotherapist and recorded by the laboratory technician.

A foot scanner was employed to record plantar pressure data using the RS Scan software at a sampling frequency of 300 Hz. The device was positioned at the midpoint of a 15-meter gait route. Prior to data collection, the foot scanner was calibrated. An initial static trial was first conducted for each participant, during which their weight and foot length were recorded in the device's software. A correct walking trial involved the foot's full contact with the central portion of the foot scanner. If the foot scanner was used by the participant to adjust gait or the participant's balance was disturbed, the gait attempt was repeated. Plantar pressure data were extracted during the stance phase of gait. To ensure participant foot placement on the foot scanner during gait, each participant performed five gait practice trials. The variables of interest included peak plantar pressure in ten regions of the foot: The big toe, second to fifth toes, first metatarsal bone, second metatarsal bone, third metatarsal bone, fourth metatarsal bone, fifth metatarsal bone, midfoot, internal heel, and external heel.

The heel contact to the ground phase was identified by a vertical ground reaction force, exceeding 20 Newtons, and toe-off was determined by the last data exceeding 20 Newtons. The vertical ground reaction force data were filtered using a fourth-order low-pass Butterworth filter with a cutoff frequency of 20 Hz.

Results

There was no significant statistical difference in plantar pressure variables between the insole and no-insole conditions in both the healthy group and the ACLR group with pronated foot.

The effect of insoles on the plantar pressure variable in the first metatarsal ($P<0.025$) and midfoot ($P<0.001$) was statistically significant. Additionally, there was a statistically significant decrease in pressure on these areas when using anti-pronation insoles compared to before insole use. The effect of group on the plantar pressure variable of the big toe was statistically significant ($P<0.017$) so that pairwise comparisons showed a statistically significant increase in pressure in the ACLR group compared to the healthy group.

There was a significant interaction of insole and group on the midfoot pressure variable ($P<0.014$). Specifically, pressure on the midfoot increased significantly with the use of anti-pronation insole, and this increase was even greater in the ACLR group compared to the healthy group ($P<0.05$).

Intragroup comparison results revealed statistically significant differences in plantar pressure variables for second to fifth toes ($P<0.04$), first metatarsal bone ($P<0.020$), second metatarsal bone ($P<0.001$), fourth metatarsal bone ($P<0.016$), and midfoot ($P<0.002$) in the healthy group so that intragroup pairwise comparison results showed a statistically significant decrease in pressure on the first and second metatarsal bones when using anti-pronation insoles compared to the no-insole condition ($P<0.020$).

Intragroup comparisons also revealed statistically significant differences in the plantar pressure variable for second to fifth toes ($P<0.014$), first metatarsal bone ($P<0.001$), midfoot ($P<0.006$), internal heel ($P<0.035$), and external heel ($P<0.041$) in the ACLR group so that intragroup pairwise comparisons showed a statistically significant decrease in pressure on the second to fifth toes and first metatarsal bone when using anti-pronation insoles compared to the no-insole condition. Additionally, there was a statistically significant increase in pressure on the midfoot, internal heel, and external heel ($P<0.041$).

Conclusion

The results of this study demonstrated a significant reduction in pressure on the first metatarsal bone in individuals who had undergone ACLR with pronated foot after using anti-pronation insole. The use of anti-pronation insole exhibited a beneficial effect on the forefoot region compared to the condition without insole during gait. Unlike athletes, individuals who have undergone ACLR do not require high levels of athletic ability. However, abnormal physical activity can lead to lower extremity biomechanical abnormalities, often culminating in arthritis.

Ethical Statement

This study was approved by the Research Ethics Committee of the Sport Sciences Research Institute (IR.SSRC.REC.1401.140).

Funding

This research has been extracted from a doctoral dissertation by Ms. Razieh Alizadeh in the field of Sports Biomechanics at the Faculty of Educational Sciences, Islamic Azad University, Tehran Branch.

Conflicts of Interest

No conflict of interest.

Acknowledgment

The authors would like to thank all those who assisted in conducting this study.

The use of anti-pronation insoles may be effective in reducing plantar pressures following ACLR in individuals with pronated foot during gait. However, further research is needed to definitively confirm this finding.



تحقیقی

اثر استفاده کوتاه مدت از کفی آنتی پرونیت بر متغیرهای فشارکف پایی پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت طی راه رفتن

راضیه علیزاده^۱، دکتر امیرعلی جعفرنژادگرو^{۲*}، دکتر داود خضری^۳، دکتر حیدر ساجدی^۴، احسان فخری میرزانی^۵

۱ دانشجوی دکتری بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ۲ دانشیار، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ۳ استادیار بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران. ۴ استادیار آسیب شناسی ورزشی، دانشکده علوم بهداشت، گروه ورزش و علوم ورزشی برای افراد معلول، دانشگاه بین المللی علم و فناوری، وروشو، لهستان. ۵ دانشجوی دکتری بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: افرادی با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی (ACL)، احتمال بیشتری برای آسیب مجدد نسبت به افراد سالم دارند. بیماران مبتلا به آسیب ACL نسبت به افراد سالم قوس طولی ضعیف تر و پای پرونیت بیشتری را دارا هستند. این مطالعه به منظور تعیین اثر استفاده کوتاه مدت از کفی آنتی پرونیت بر متغیرهای فشارکف پایی پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت طی راه رفتن انجام شد.

روش بررسی: این مطالعه شبه تجربی روی ۱۵ مرد پس از بازسازی ACL با پای پرونیت (میانگین سنی ۲۳/۴/۵ سال) و ۱۵ مرد سالم (میانگین سنی ۲۲/۷/۴/۳ سال) در شهرستان اردبیل طی سال ۱۴۰۱ انجام شد. مقادیر فشارکف پایی طی راه رفتن با و بدون استفاده از کفی آنتی پرونیت توسط دستگاه فوت اسکن (نرخ نمونه برداری: ۳۰۰ هرتز) ثبت و مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته ها: اثر عامل گروه بر متغیر فشارکف پایی انگشت شست از لحاظ آماری معنی دار بود ($P < ۰/۰۵$). مقایسه جفتی نتایج نشان دهنده افزایش معنی دار فشار در گروه ACLR ($۱۵۴/۶۳ \pm ۴۱/۷۱$ نیوتن بر سانتی متر مربع) در مقایسه با گروه سالم ($۱۲۶/۵۴ \pm ۲۶/۵۷$ نیوتن بر سانتی متر مربع) بود ($P < ۰/۰۵$). نتایج درون گروهی نشان دهنده کاهش معنی دار فشار بر روی انگشتان دوم تا پنجم ($۲۱۵/۷۳ \pm ۶۰/۷۴$ نیوتن بر سانتی متر مربع) و کف پایی اول ($۴۲۰/۵۸ \pm ۱۰۷/۵۶$ نیوتن بر سانتی متر مربع) هنگام استفاده از کفی آنتی پرونیت در مقایسه با شرایط بدون کفی (انگشتان دوم تا پنجم $۲۰۱/۵۷ \pm ۷۶/۲۱$ نیوتن بر سانتی متر مربع و کف پایی اول $۴۰۰/۷۸ \pm ۱۱۸/۲۰$ نیوتن بر سانتی متر مربع) در گروه بازسازی ACL بودند ($P < ۰/۰۵$).

نتیجه گیری: استفاده از کفی آنتی پرونیت می تواند در کاهش مقادیر فشارکف پایی پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی در افراد با پای پرونیت طی راه رفتن موثر باشد.

واژه های کلیدی: پا، پرونیت، بازسازی رباط صلیبی قدامی، راه رفتن

* نویسنده مسؤول: دکتر امیرعلی جعفرنژادگرو، پست الکترونیکی: amiralijafarnezhad@gmail.com

نشانی: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تلفن و نمابر ۰۴۵-۳۱۵-۵۶۴۹

وصول ۱۴۰۲/۷/۱۹ اصلاح نهایی ۱۴۰۲/۱۱/۱۰ پذیرش ۱۴۰۲/۱۱/۱۸ انتشار ۱۴۰۳/۶/۱۹

مقدمه

۱۸-۲۵ سال ۱۱/۲۵ درصد در سال گزارش شده است.^۴ پس از آسیب ACL، پزشکان بایستی رویکرد درمانی بهینه را برای بیماران برای اطمینان از ثبات مفصل و ارتقای بازگشت به عملکرد طبیعی اندام تحتانی تعیین کنند. بازسازی رباط صلیبی قدامی (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: ACLR) درمان رایج پس از آسیب رباط برای بازگرداندن ثبات مفصل و بازگرداندن بیماران به سطح فعالیت بدنی قبل از آسیب است. تخمین زده شده سالانه ۲۵۰۰۰۰ آسیب ACL و ۱۳۰۰۰۰ روش ACLR در ایالات متحده رخ می دهد.^۵ متأسفانه، در ایران با وجود فراوانی به

ساختار عملکردی پا بر الگوی راه رفتن اثر مهمی دارد.^۱ به طوری که هر گونه انحراف در پاها اثر خود را به شکل زنجیروار به مفاصل و اندام های بالاتر انتقال می دهد. چپش استخوانی غیرطبیعی پا به طور نظری باعث حرکت غیرطبیعی پا هنگام راه رفتن می شود. از این رو، بروز ناهنجاری در این ناحیه به لحاظ بیومکانیکی حائز اهمیت است.^۲ یکی از شایع ترین آسیب ها در بین ورزشکاران مرد آسیب رباط صلیبی قدامی (Anterior Cruciate Ligament: ACL) از ۰/۶ تا ۸/۵ درصد در سال گزارش شده است.^۳ شیوع پای پرونیت در گروه سنی

کف پا، نه تنها روش مناسبی برای آنالیز و شناسایی نارسایی‌های راه رفتن است؛ بلکه اطلاعات سودمندی را در اختیار محققین با اهداف کلینیکی متفاوت قرار می‌دهد. بررسی اثر کفی آنتی‌پرونیوت بر متغیرهای راه رفتن با استفاده از داده‌های فشار کف پای می‌تواند اطلاعات مفیدی را در آنالیز راه رفتن در اختیار محققین قرار دهد که کمتر به آن توجه شده است. از سوی دیگر، شیوع بالای آسیب ACL و ACLR در جمعیت جوان و فعال جامعه که می‌تواند سبب محدودیت فعالیت حرکتی و ورزشی آنها شود؛ یافتن روش‌های پیشگیرانه برای جلوگیری از ابتلای افراد به این عارضه را ضروری می‌کند. لذا این مطالعه به منظور تعیین اثر استفاده کوتاه‌مدت از کفی آنتی‌پرونیوت بر متغیرهای فشار کف پای پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیوت طی راه رفتن انجام شد.

روش بررسی

این مطالعه شبه‌تجربی روی ۱۵ مرد پس از بازسازی ACL با پای پرونیوت (سن $23 \pm 4/5$ سال، وزن $71/8 \pm 6/5$ کیلوگرم، قد $177/2 \pm 7/2$ سانتی‌متر) و ۱۵ مرد سالم (سن $22/7 \pm 4/3$ سال، وزن $72/5 \pm 6/2$ کیلوگرم، قد $176/2 \pm 8/3$ سانتی‌متر) به روش نمونه‌گیری در دسترس در شهرستان اردبیل طی سال ۱۴۰۱ انجام شد.

مطالعه مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی (IR.SSRC.REC.1401.140) قرار گرفت. از آزمودنی‌ها فرم رضایت‌نامه کتبی شرکت آگاهانه در مطالعه اخذ شد. برای تعیین تعداد نمونه‌ها از نرم‌افزار G*Power-3.1.9.4 استفاده شد. تعداد نمونه‌ها مطابق مطالعه قبلی ما^{۲۰} برای متغیر فشار در ناحیه انگشتان دوم تا پنجم (بدون کفی $17/48 \pm 4/11$ ، با کفی $11/90 \pm 5/64$ نیوتن بر سانتی‌متر مربع) برای اندازه اثر برابر با ۰/۰۹، سطح معنی‌داری برابر با ۰/۰۵ و توان آماری برابر با ۰/۸ با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر ۳۰ نفر تعیین شد.

تشخیص بیماری توسط پزشک متخصص ارتوپد انجام شد.

معیارهای ورود به مطالعه برای گروه ACLR یا پای پرونیوت شامل وجود پای پرونیوت، دامنه سنی ۱۸-۲۵ سال، گذشت ۶ ماه از بازسازی لیگامان ACL با گرافت همسترینگ، افت استخوان ناوی بیشتر از ۱۰ میلی‌متر، شاخص پاسچر پا بین ۶ تا ۱۰ و اورژن ریفوت بیشتر از ۴ درجه در حالت ایستاده بودند.^{۲۱-۲۳}

معیارهای ورود به مطالعه برای گروه سالم شامل عدم ابتلا به انواع بیماری اسکلتی عضلانی مانند پارگی ACL و یا با بازسازی آن، پای پرونیوت و بیماری قلبی و عروقی بودند.

معیارهای خروج از مطالعه برای هر دو گروه شامل ناهنجاری‌های اندام تحتانی و تنه به‌جز پای پرونیوت (برای گروه بیمار)، سابقه جراحی به غیر از ACLR (برای گروه بیمار)، آسیب‌دیدگی در مفاصل مچ پا و ران، دامنه سنی بیش از ۲۵ سال و سابقه استفاده از

نسبت بالا، آمار دقیقی از آن در دسترس نیست. به نظر می‌رسد ACLR منجر به ایجاد تغییرات در کینماتیک و کینتیک حرکت مفصل زانو در صفحه ساجیتال می‌شود.^۶ به‌طوری که از نظر مکانیکی، مقدار نیروی عکس‌العمل زمین در راستای محور عمودی و میزان نرخ بارگذاری در افراد مبتلا به ACLR در مقایسه با افراد سالم بیشتر است.^۷ گروهی از محققین بیان داشته‌اند که پرونیوتن مفصل ساب تالار سبب چرخش بیش از حد داخلی استخوان تیبیا و در نتیجه احتمال افزایش بروز اختلال مفصل زانو می‌شود.^{۸،۹} گزارش شده ورزشکاران آسیب دیده ACL مقادیر بیشتری از افت ناویکولار داشته‌اند که نشان‌دهنده پرونیوتن بیشتر مفصل ساب تالار و شلی مفصل قدامی زانو است.^{۱۰} همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها بروز این آسیب را برای زنان $87/5$ درصد و برای مردو جنسیت $70/5$ درصد پیش‌بینی کرده‌اند.^{۱۱} این نتایج نشان می‌دهد که هرچه ورزشکار پرونیوت بیشتری داشته باشد؛ ارتباط بیشتری با آسیب ACL وجود دارد.^{۱۱} Coplan چرخش داخلی بیشتر مفصل زانو را در افراد دارای پای پرونیوت گزارش کرده است.^{۱۱} در همین راستا Alm و همکاران گزارش کردند که با افزایش چرخش داخلی یا چرخش خارجی مفصل زانو، قدرت ACL کاهش می‌یابد.^{۱۲} در مورد به‌کار بردن کفی برای کاهش پرونیوتن ساب تالار و در نتیجه کاهش چرخش داخلی تیبیا، نتایج متفاوتی از سوی محققین گزارش شده است.^{۱۳} به‌عنوان مثال Bellchamber و van den Bogert گزارش کردند که در اغلب افراد استفاده از کفی برای کاهش پرونیوتن پا، ممکن است سبب وارد آوردن فشار مضاعف بر مفصل زانو گردد.^{۱۴} از طرفی دیگر مطالعات کارآزمایی بالینی نشان داده‌اند که کفی آنتی‌پرونیوت برای استفاده طولانی‌مدت طی دویدن^{۱۵} نسبت به کفی‌های تخت^{۱۶} بهتر هستند. با این حال به‌نظر می‌رسد استفاده از کفی آنتی‌پرونیوت در مفصل زانو برای کاهش چرخش داخلی تیبیا و در نتیجه کاهش پرونیوتن پا مفیدتر باشد. در همین راستا برغم‌دی و همکاران گزارش کردند که استفاده از کفی با قابلیت حمایت از قوس طولی داخلی پا می‌تواند منجر به کاهش نیروهای عکس‌العمل زمین و افزایش زمان رسیدن به اوج مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین در هنگام فرود و افزایش نیروها و زمان رسیدن به اوج هنگام پرش در هندبالست‌های دارای پای پرونیوت شود که می‌تواند باعث کاهش آسیب و عملکرد بهتر شود.^{۱۷}

اندازه‌گیری توزیع فشار کف پا، یکی از روش‌های متداول و جدید است که عملکرد اندام تحتانی را در شرایط استاتیکی و دینامیکی به‌خصوص هنگام راه رفتن به‌صورت کمی بررسی می‌کند.^{۱۸} توزیع نامناسب نیروهای کف پای سبب ظهور حرکات غیرطبیعی و اعمال استرس در ساختارهای اندام تحتانی شده و در بروز اختلال در عملکرد عضلات موثر است.^{۱۹} بررسی توزیع فشار

جدول ۱: نتایج آزمون شاپیرو ویلک گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و گروه سالم طی دو شرایط بدون کفی و با کفی				
متغیرها	بدون کفی	با کفی	گروه سالم	گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت
انگشت شست	۰/۳۷۶	۰/۵۹۷		۰/۷۱۳
انگشتان دوم تا پنجم	۰/۰۷۳	۰/۵۲۹		۰/۱۹۲
کف پایی اول	۰/۸۷۶	۰/۸۸۴		۰/۱۸۸
کف پایی دوم	۰/۰۳۱	۰/۲۲۳		۰/۵۱۶
کف پایی سوم	۰/۵۹۹	۰/۳۳۰		۰/۷۷۵
کف پایی چهارم	۰/۸۲۲	۰/۵۲۹		۰/۴۱۸
کف پایی پنجم	۰/۱۱۶	۰/۶۴۷		۰/۰۵۱
میانی کف پا	۰/۱۲۴	۰/۰۵۲		۰/۳۵۵
داخلی پاشنه	۰/۸۶۵	۰/۲۵۶		۰/۱۰۴
خارجی پاشنه	۰/۰۲۵	۰/۶۸۴		۰/۰۹۵
				۰/۲۸۱
				۰/۲۱۴

کفی بودند.

کفی مورد استفاده دارای اختلاف ارتفاع ۲۰ میلی متر در بخش قوس طولی داخلی نسبت به بخش خارجی بود. مدت زمان استفاده از این کفی ۸ هفته بود. از شرکت کنندگان گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت خواسته شد که حداقل ۶ ساعت در طی فعالیت های روزانه خود از این کفی استفاده نمایند که از طریق تماس تلفنی مورد کنترل قرار گرفتند. داده ها در دو شرایط با و بدون استفاده از کفی طی راه رفتن در مرکز سلامت و تندرستی دانشگاه محقق اردبیلی هر روز از ساعت ۹ تا ۱۴ زیر نظر یک فیزیوتراپست و توسط مسؤول آزمایشگاه ثبت گردید.

از دستگاه فوت اسکن برای ثبت داده های متغیر فشار کف پایی با استفاده از نرم افزار (آر، اس، اسکن) با فرکانس نمونه برداری ۳۰۰ هرتز استفاده شد. دستگاه در وسط مسیر راه رفتن ۱۵ متری قرار داده شد. ابتدا فرآیند کالیبره نمودن دستگاه فوت اسکن انجام شد. در ابتدا برای هر شرکت کننده یک کوشش ایستا ثبت گردید که در آن وزن شرکت کننده و طول پای وی در نرم افزار دستگاه ثبت گردید. کوشش راه رفتن صحیح شامل برخورد کامل پا بر روی بخش میانی دستگاه فوت اسکن بود. اگر فوت اسکن توسط شرکت کننده برای تنظیم گام مورد هدف قرار می گرفت یا تعادل شرکت کننده دچار اختلال می شد؛ کوشش راه رفتن تکرار می شد. داده های فشار کف پایی طی فاز اتکای راه رفتن استخراج شد. برای تنظیم قرارگیری پای شرکت کننده ها بر روی فوت اسکن طی راه رفتن، ۵ مرتبه عمل راه رفتن به طور آزمایشی توسط هر شرکت کننده انجام گرفت. متغیرهای مورد نظر اوج فشار کف پایی در نواحی ده گانه پا که این نواحی به ترتیب شامل انگشت شست، انگشتان دوم تا پنجم، استخوان کفپایی اول، استخوان کف پایی دوم، استخوان کف پایی سوم، استخوان کف پایی چهارم، استخوان کف پایی پنجم، بخش میانه پا، بخش داخلی پاشنه و بخش خارجی پاشنه استخراج گردید.

فاز برخورد پاشنه با زمین توسط بیشتر بودن نیروی عمودی عکس العمل بیشتر از ۲۰ نیوتن و جدا شدن پنجه توسط آخرین داده

بیشتر از ۲۰ نیوتن مشخص گردید. داده های نیروی عمودی عکس العمل زمین توسط فیلتر باتروورث پایین گذر مرتبه چهارم و با برش فرکانس ۲۰ هرتز انجام شد.

داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS-22 انجام شد. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده ها از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد. برای تحلیل آماری داده های دموگرافیک شرکت کنندگان از آزمون آنالیز واریانس یک سویه (One Way Anova) و برای داده های فشار کف پایی از آزمون آنالیز واریانس دوسویه با اندازه های تکراری (Two way Anova-repeated measures) در سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۵ استفاده گردید.

یافته ها

بین متغیرهای فشار کف پایی طی دو شرایط بدون کفی و با کفی در گروه سالم و گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت تفاوت آماری وجود نداشت (جدول یک).

مطابق جدول ۲، اثر عامل کفی بر متغیر فشار کف پایی استخوان اول ($P < 0/025$) و قسمت میانی کف پا ($P < 0/001$) از نظر آماری معنی دار بود. همچنین کاهش آماری معنی دار فشار بر روی این نواحی طی استفاده از کفی آنتی پرونیت در مقایسه با قبل از کفی مشاهده شد. اثر عامل گروه بر متغیر فشار کف پایی انگشت شست از لحاظ آماری معنی دار بود ($P < 0/017$). به طوری که مقایسه جفتی نتایج نشان دهنده افزایش آماری معنی دار فشار در گروه ACLR در مقایسه با گروه سالم بود.

اثر متقابل کفی و گروه بر متغیر فشار قسمت میانی کف پا به لحاظ آماری معنی دار بود ($P < 0/014$). به طوری که فشار بر روی قسمت میانی کف پا طی استفاده از کفی آنتی پرونیت و همچنین افزایش فشار در این نواحی در گروه ACLR در مقایسه با گروه سالم افزایش آماری معنی داری یافت.

مطابق جدول ۳، مقایسه درونی گروهی نتایج از لحاظ آماری تفاوت معنی داری بین متغیر فشار کف پایی انگشتان دوم تا پنجم ($P < 0/04$)، کف پایی اول ($P < 0/020$)، کف پایی دوم ($P < 0/001$)،

جدول ۲: میانگین و انحراف استاندارد متغیر فشار کف پای (نیوتن بر سانتی متر مربع) نواحی ده گانه پا در دو گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و گروه سالم

متغیرها	گروه سالم		گروه ACLR		اثر عامل کفی		اثر عامل گروه		اثر متقابل کفی و گروه	
	بدون کفی	با کفی	بدون کفی	با کفی	اندازه اثر	P-value	اندازه اثر	P-value	اندازه اثر	P-value
انگشت شست	۱۲۷/۷۸±۲۹/۰۳	۱۲۵/۳۰±۲۴/۸۵	۱۵۳/۹۸±۳۱/۵۲	۱۵۵/۲۸±۵۲/۹۱	۰/۰۰۰	۰/۹۴۸	۰/۲۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۸۲۷
انگشتان دوم تا پنجم	۱۹۵/۱۹±۸۰/۸۱	۱۹۶/۶۸±۹۰/۰۵	۲۱۵/۷۳±۶۰/۷۴	۲۰۱/۵۷±۷۶/۲۱	۰/۰۱۲	۰/۵۹۷	۰/۰۰۸	۰/۶۵۵	۰/۰۱۸	۰/۵۱۴
کف پای اول	۳۹۹/۸۱±۹۵/۸۳	۳۵۱/۹۱±۷۴/۹۴	۴۲۰/۵۸±۱۰۷/۵۶	۴۰۰/۷۸±۱۱۸/۲۰	۰/۱۹۲	۰/۰۲۵	۰/۰۳۶	۰/۳۵۳	۰/۰۳۹	۰/۳۳۲
کف پای دوم	۲۶۰/۳۸±۱۰۵/۸۳	۲۱۹/۸۳±۸۳/۰۷	۲۲۹/۲۵±۶۵/۲۵	۲۲۲/۷۳±۵۵/۱۳	۰/۱۳۴	۰/۰۶۶	۰/۰۱۰	۰/۶۲۸	۰/۰۷۵	۰/۱۷۶
کف پای سوم	۲۹۶/۳۵±۹۹/۷۸	۲۷۳/۱۱±۸۷/۴۷	۲۶۰/۲۱±۶۶/۵۶	۲۶۸/۲۸±۶۵/۱۶	۰/۰۱۳	۰/۵۷۲	۰/۰۲۱	۰/۴۸۵	۰/۰۵۵	۰/۲۴۹
کف پای چهارم	۳۰۷/۴۵±۱۰۷/۲۹	۳۰۷/۹۵±۱۰۵/۱۶	۲۷۱/۵۸±۸۷/۰۳	۲۶۶/۶۷±۵۹/۲۴	۰/۰۰۱	۰/۸۹۳	۰/۰۵۷	۰/۲۴۲	۰/۰۰۱	۰/۸۶۹
کف پای پنجم	۲۰۰/۴۱±۶۷/۴۵	۱۵۸/۲۷±۶۷/۵۹	۱۶۹/۴۴±۶۷/۰۹	۱۸۶/۹۴±۱۰۶/۱۶	۰/۰۲۱	۰/۴۸۱	۰/۰۰۰	۰/۹۶۵	۰/۱۱۱	۰/۰۹۶
میانی کف پا	۴۲۴/۷۱±۱۹۵/۶۹	۶۵۶/۳۰±۲۱۹/۳۱	۶۱۶/۳۶±۱۹۰/۴۵	۶۹۱/۹۸±۲۱۸/۷۴	۰/۵۳۲	۰/۰۰۱	۰/۰۸۶	۰/۱۶۵	۰/۲۳۶	۰/۰۱۴
داخلی پاشنه	۷۱۵/۳۷±۱۲۲/۰۲	۷۲۴/۷۴±۱۵۶/۲۱	۶۴۵/۰۷±۱۹۵/۰۷	۶۵۰/۴۳±۱۶۸/۷۴	۰/۰۰۲	۰/۸۱۴	۰/۰۶۶	۰/۲۰۷	۰/۰۰۰	۰/۹۴۹
خارجی پاشنه	۶۶۱/۹۱±۱۵۶/۴۸	۷۱۱/۳۳±۱۳۳/۰۹	۶۰۳/۱۱±۲۳۸/۳۳	۵۹۰/۶۳±۲۱۷/۲۵	۰/۰۱۱	۰/۶۰۴	۰/۰۷۱	۰/۱۸۸	۰/۰۳۱	۰/۳۸۸

جدول ۳: مقایسه درون گروهی متغیر فشار کف پای (نیوتن بر سانتی متر مربع) نواحی ده گانه پا در دو گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و گروه سالم

متغیرها	گروه سالم		گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت	
	بدون کفی	با کفی	بدون کفی	با کفی
انگشت شست	۱۲۷/۷۸±۲۹/۰۳	۱۲۵/۳۰±۲۴/۸۵	۱۵۳/۹۸±۳۱/۵۲	۱۵۵/۲۸±۵۲/۹۱
انگشتان دوم تا پنجم	۱۹۵/۱۹±۸۰/۸۱	۱۹۶/۶۸±۹۰/۰۵	۲۱۵/۷۳±۶۰/۷۴	۲۰۱/۵۷±۷۶/۲۱
کف پای اول	۳۹۹/۸۱±۹۵/۸۳	۳۵۱/۹۱±۷۴/۹۴	۴۲۰/۵۸±۱۰۷/۵۶	۴۰۰/۷۸±۱۱۸/۲۰
کف پای دوم	۲۶۰/۳۸±۱۰۵/۸۳	۲۱۹/۸۳±۸۳/۰۷	۲۲۹/۲۵±۶۵/۲۵	۲۲۲/۷۳±۵۵/۱۳
کف پای سوم	۲۹۶/۳۵±۹۹/۷۸	۲۷۳/۱۱±۸۷/۴۷	۲۶۰/۲۱±۶۶/۵۶	۲۶۸/۲۸±۶۵/۱۶
کف پای چهارم	۳۰۷/۴۵±۱۰۷/۲۹	۳۰۷/۹۵±۱۰۵/۱۶	۲۷۱/۵۸±۸۷/۰۳	۲۶۶/۶۷±۵۹/۲۴
کف پای پنجم	۲۰۰/۴۱±۶۷/۴۵	۱۵۸/۲۷±۶۷/۵۹	۱۶۹/۴۴±۶۷/۰۹	۱۸۶/۹۴±۱۰۶/۱۶
میانی کف پا	۴۲۴/۷۱±۱۹۵/۶۹	۶۵۶/۳۰±۲۱۹/۳۱	۶۱۶/۳۶±۱۹۰/۴۵	۶۹۱/۹۸±۲۱۸/۷۴
داخلی پاشنه	۷۱۵/۳۷±۱۲۲/۰۲	۷۲۴/۷۴±۱۵۶/۲۱	۶۴۵/۰۷±۱۹۵/۰۷	۶۵۰/۴۳±۱۶۸/۷۴
خارجی پاشنه	۶۶۱/۹۱±۱۵۶/۴۸	۷۱۱/۳۳±۱۳۳/۰۹	۶۰۳/۱۱±۲۳۸/۳۳	۵۹۰/۶۳±۲۱۷/۲۵

از استفاده از کفی آنتی پرونیت مشاهده شد. هرچند تاکنون تحقیقات معدودی در این زمینه انجام شده؛ ولی با توجه به این نتایج می توان گفت استفاده از کفی آنتی پرونیت اثر مفیدی در نواحی جلو نسبت به بدون کفی هنگام راه رفتن ایجاد می کند. افراد پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی برخلاف ورزشکاران نیازی به توانایی زیاد ورزشی ندارند و در صورتی که فعالیت بدنی به صورت غیرعادی باشد؛ ناهنجاری های بیومکانیکی اندام تحتانی رخ می دهد که بیشتر به آرتروز منجر می شود.^{۲۴} در راستای یافته های نتایج مطالعه حاضر، در مطالعه قبلی ما متغیرهای فشار کف پای طی راه رفتن با و بدون استفاده آنتی از کفی بافت دار در افراد نابینا مقایسه شد و نتایج نشان داد که اوج فشار کف پای و اوج نیروها در اولین استخوان کف پای طی راه رفتن با کفی به ترتیب به میزان ۲۵/۶۹ درصد و ۶۴/۳۰ درصد در مقایسه با راه رفتن بدون کفی کمتر بود.^{۲۵} افزایش فشار کف پای یکی از عوامل مرتبط با آسیب های مفصل میچ پا است.^{۲۶} در همین راستا نتایج مطالعه حاضر نشان داد که اثر عامل گروه بر متغیر فشار کف پای انگشت شست از لحاظ آماری معنی دار است. به طوری که تست تعقیبی نتایج نشان دهنده افزایش معنی دار فشار در گروه ACLR در مقایسه با گروه سالم بود. در مطالعه حاضر نتایج نشان دهنده افزایش معنی دار فشار بر روی قسمت میانی کف پا طی استفاده از کفی آنتی پرونیت در گروه افراد پس از بازسازی

کف پای چهارم ($P < 0/016$) و بخش میانی کف پا ($P < 0/002$) در گروه سالم را نشان داد. به طوری که مقایسه جفتی نتایج درون گروهی نشان دهنده کاهش آماری معنی دار فشار بر روی استخوان کف پای اول و دوم هنگام استفاده از کفی آنتی پرونیت نسبت به شرایط بدون کفی در این گروه را نشان داد ($P < 0/020$). همچنین نتایج افزایش فشار بر روی استخوان انگشتان دوم تا پنجم و قسمت میانی کف پا را نشان داد.

مطابق جدول ۳، مقایسه درون گروهی نتایج از لحاظ آماری تفاوت معنی داری بین متغیر فشار کف پای انگشتان دوم تا پنجم ($P < 0/014$)، کف پای اول ($P < 0/001$)، بخش میانی کف پا ($P < 0/006$)، داخلی پاشنه ($P < 0/035$) و بخش خارجی پاشنه ($P < 0/041$) در گروه ACLR را نشان داد. به طوری که مقایسه جفتی نتایج درون گروهی کاهش آماری معنی دار فشار بر روی قسمت استخوان انگشتان دوم تا پنجم و کف پای اول هنگام استفاده از کفی آنتی پرونیت نسبت به شرایط بدون کفی در این گروه را نشان داد. همچنین فشار بر روی قسمت میانی کف پا، بخش داخلی و خارجی استخوان پاشنه افزایش آماری معنی داری یافت ($P < 0/041$).

بحث

با توجه به نتایج این مطالعه، کاهش معنی دار فشار بر روی استخوان کف پای اول گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت پس

نظر گرفتن دامنه سنی، نوع بیماری، شرایط فیزیولوژیکی و بیومکانیکی مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج تحقیق حاضر در سایر متغیرهای فشار کف پای در بین دو گروه افراد پس از بازسازی ACL با پای پرونیت و سالم اختلاف معنی داری نشان نداد. هرچند برخی تحقیقات تفاوت معنی دار در بین پای پرونیت و نرمال را نشان داده اند.^{۳۵-۳۶} در مقابل، یافته های محققین دیگر با تحقیق حاضر همخوانی نزدیکی نشان داد.^{۳۷-۳۹} در مجموع می توان نتیجه گرفت که اگر افراد مبتلا به پای پرونیت برای مدت کوتاهی راه بروند یا فاصله کوتاهی را طی نمایند؛ توزیع فشار با افراد با کف پای نرمال تفاوتی ندارد. بنابراین ممکن است افراد مبتلا به پای پرونیت هنگام راه رفتن در مسافت کوتاه، نیازی به استفاده از کفی طبی و یا غیره نداشته باشند. همچنین به نظر می رسد که کفی آنتی پرونیت در مقایسه با کفی معمولی در کاهش توزیع فشار در نواحی مختلف در این افراد مؤثرتر است.

از آنجایی که آسیب ACL و پای پرونیت با تغییرات در مکانیسم های جذب شوک با افزایش فشار به ویژه در نواحی عقب و میانی کف پا همراه است؛^{۴۰} لذا ارائه روش های مطلوب برای کاهش و بهینه سازی نیروهای اعمالی به این نواحی و به تبع آن تصحیح فشار وارده می تواند کارایی و عملکرد پا را افزایش داده و منجر به بهبود وضعیت در این افراد گردد.

از محدودیت های این مطالعه می توان به عامل سختی لایه های زیره کفش و همچنین جنس به کار گرفته شده در کفی اشاره نمود که نقش اساسی در تعدیل نیروهای برخوردی و فشار حاصل از نیروی عمودی دارند. پیشنهاد می شود در مطالعات آتی وضعیت فشار و نیروهای اعمالی نواحی نسبت به هم در سایر دفورمیتی ها ناحیه پا نظیر گودی کف پا و سایر شرایط فیزیولوژیک نظیر خستگی مورد توجه پژوهشگران علاقه مند قرار گیرد تا نظر جامعی در مورد اثرات این نوع کفی بیان گردد.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از کفی آنتی پرونیت می تواند در کاهش مقادیر فشار کف پای پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی در افراد با پای پرونیت طی راه رفتن مؤثر باشد. با این وجود، اثبات هر چه بهتر این موضوع نیاز به انجام مطالعات بیشتری دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه خانم راضیه عزیزاده برای اخذ درجه دکتری در رشته بیومکانیک ورزشی از دانشکده علوم تربیتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران بود. بدین وسیله از همه افرادی که ما را در انجام این مطالعه یاری نمودند؛ صمیمانه تشکر می نمایم. بین نویسندگان تضاد منافع وجود ندارد.

ACL و پای پرونیت نسبت به گروه سالم بود. علت احتمالی برای افزایش فشار بر روی این ناحیه می تواند به خاطر وجود ساپورت قوس طولی در کفی باشد. از طرف دیگر احتمالاً با وجود افزایش قوس طولی در کفی آنتی پرونیت، افزایش فشار در این ناحیه به دلیل مقدار سفتی کفی و خاصیت جذب شوک کمتر است. در نتیجه این فشارهای غیرطبیعی با گذشت زمان زمینه ایجاد آسیب در ناحیه کف پا را فراهم می کند که این نتایج با تحقیق Rao و همکاران همسو است.^{۲۷} از طرف دیگر نتایج مطالعه Stewart و همکاران^{۲۸} برخلاف یافته نتایج مطالعه حاضر بود. احتمالاً این اختلاف به خاطر نوع ابزار مورد استفاده برای اندازه گیری فشار است. زیرا Stewart و همکاران^{۲۸} فشار موجود بین کف پا و کف داخلی کفش را با استفاده از دستگاه تو کفشی پدار اندازه گیری کردند و در مطالعه حاضر فشار موجود بین کف زیرین کفش و زمین با استفاده از دستگاه فوت اسکن اندازه گیری شد. مغایرت برخی از نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات دیگر نیز ممکن است به جهت نوع مطالعه (اثرات کوتاه یا طولانی مدت) باشد. از طرفی دیگر مقایسه درون گروهی نتایج مطالعه ما کاهش معنی دار فشار بر روی قسمت انگشتان و استخوان کف پای هنگام استفاده از کفی آنتی پرونیت در هر دو گروه را نشان داد. مطالعه ای در این زمینه که اثرات کفی را در افراد دارای بازسازی لیگامان صلیبی قدامی مورد بررسی قرار داده باشد؛ توسط ما یافت نشد. گزارش شده است که برای به حداقل رساندن درد و زخم پای دیابتی، بیشترین فشار به ناحیه استخوان کف پا آنها وارد می شود.^{۳۰،۳۹} همچنین از آنجایی که دیابت ارتباط مستقیمی با اضافه وزن دارد^{۳۱} و مطالعه ای ارتباط چاقی با کف پای صاف و افزایش فشار کف پای در ناحیه پا در مقایسه با گروه سالم را نشان داده است؛^{۳۲} لذا نیازمند است در مطالعات آینده با در نظر گرفتن نوع بیماری و نمونه مورد مطالعه اثرات استفاده کوتاه و طولانی مدت کفی آنتی پرونیت در هر دو گروه نمونه های آماری زنان و مردان بررسی شود. مقایسه درون گروهی نتایج مطالعه حاضر نشان دهنده افزایش معنی دار فشار بر روی قسمت میانی پا در هر دو گروه طی استفاده از کفی آنتی پرونیت نسبت به قبل از آن بود. احتمالاً یکی دیگر از دلایل افزایش فشار هنگام استفاده از کفی آنتی پرونیت به تفاوت بیومکانیکی شکل گرفته در ساختار پا در مردان نسبت به زنان باشد.^{۳۳} در همین راستا Putti و همکاران متغیر فشار کف پای در هر دو گروه زنان و مردان را مقایسه نمودند و نتایج افزایش معنی دار فشار در قسمت میانی پا در مردان را در مقابل زنان نشان داد.^{۳۴} در مطالعه حاضر از نمونه آماری مردان استفاده شد؛ بنابراین برای تایید و تعمیم نتایج نیاز است تا در مطالعات آتی اثرات استفاده کوتاه مدت و طولانی مدت کفی آنتی پرونیت بر روی نمونه آماری زنان نیز با در

References

- Ledoux WR, Hillstrom HJ. The distributed plantar vertical force of neutrally aligned and pes planus feet. *Gait Posture*. 2002 Feb;15(1):1-9. doi: 10.1016/s0966-6362(01)00165-5.
- Zifchock RA, Davis I. A comparison of semi-custom and custom foot orthotic devices in high- and low-arched individuals during walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2008 Dec;23(10):1287-93. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2008.07.008.
- Lewek M, Rudolph K, Axe M, Snyder-Mackler L. The effect of insufficient quadriceps strength on gait after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2002 Jan;17(1):56-63. doi: 10.1016/s0268-0033(01)00097-3.
- Milandri G, Posthumus M, Small TJ, Bothma A, van der Merwe W, Kassanjee R, et al. Kinematic and kinetic gait deviations in males long after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2017 Nov;49:78-84. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2017.07.012.
- Spencer A, Davis K, Jacobs C, Johnson D, Ireland ML, Noehren B. Decreased quadriceps force steadiness following anterior cruciate ligament reconstruction is associated with altered running kinematics. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2020 Feb;72:58-62. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2019.11.021.
- Jafarnejadgero A, Ghorbanloo F, Fatollahi A, Dionisio VC, Granacher U. Effects of an elastic resistance band exercise program on kinetics and muscle activities during walking in young adults with genu valgus: A double-blinded randomized controlled trial. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2021 Jan;81:105215. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105215.
- Wei LJ, Lachin JM. Properties of the urn randomization in clinical trials. *Control Clin Trials*. 1988 Dec;9(4):345-64. doi: 10.1016/0197-2456(88)90048-7.
- Jung DY, Kim MH, Koh EK, Kwon OY, Cynn HS, Lee WH. A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises. *Phys Ther Sport*. 2011 Feb;12(1):30-35. doi: 10.1016/j.ptsp.2010.08.001.
- Farahpour N, Jafarnejadgero A, Allard P, Majlesi M. Muscle activity and kinetics of lower limbs during walking in pronated feet individuals with and without low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018 Apr;39:35-41. doi: 10.1016/j.jelekin.2018.01.006.
- Woodford-Rogers B, Cyphert L, Denegar CR. Risk factors for anterior cruciate ligament injury in high school and college athletes. *J Athl Train*. 1994 Dec;29(4):343-46.
- Coplan JA. Rotational motion of the knee: a comparison of normal and pronating subjects. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1989;10(9):366-69. doi: 10.2519/jospt.1989.10.9.366.
- Alm A, Ekström H, Strömberg B. Tensile strength of the anterior cruciate ligament in the dog. *Acta Chir Scand Suppl*. 1974;445:15-23.
- Wilson T. The measurement of patellar alignment in patellofemoral pain syndrome: are we confusing assumptions with evidence? *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007 Jun;37(6):330-41. doi: 10.2519/jospt.2007.2281.
- Bellchamber TL, van den Bogert AJ. Contributions of proximal and distal moments to axial tibial rotation during walking and running. *J Biomech*. 2000 Nov;33(11):1397-403. doi: 10.1016/s0021-9290(00)00113-5.
- Mills K, Blanch P, Dev P, Martin M, Vicenzino B. A randomised control trial of short term efficacy of in-shoe foot orthoses compared with a wait and see policy for anterior knee pain and the role of foot mobility. *Br J Sports Med*. 2012 Mar;46(4):247-52. doi: 10.1136/bjsports-2011-090204.
- Collins N, Crossley K, Beller E, Darnell R, McPoil T, Vicenzino B. Foot orthoses and physiotherapy in the treatment of patellofemoral pain syndrome: randomised clinical trial. *Br J Sports Med*. 2009 Mar;43(3):169-71. doi: 10.1136/bmj.a1735.
- Barghamadi M, Shokrzadehsarebanlar M, Nosratihashi A, Piri E, Imani F. [Effects of Arch Support Insole on Vertical GRF Variables and Time to Peak Among Handball Players with Pronated Foot During Jump and Landing Three-Step Shot Technique]. *Journal of Paramedical Sciences & Rehabilitation*. 2023;12(1):53-62. doi: 10.22038/jpsr.2023.68575.2439. [Article in Persian]
- Firth J, Turner D, Smith W, Woodburn J, Helliwell P. The validity and reliability of PressureStat for measuring plantar foot pressures in patients with rheumatoid arthritis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2007 Jun;22(5):603-606. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2007.01.016.
- Kwon OY, Mueller MJ. Walking patterns used to reduce forefoot plantar pressures in people with diabetic neuropathies. *Phys Ther*. 2001 Feb;81(2):828-35. doi: 10.1093/ptj/81.2.828.
- Jafarnejadgero AA, Dehghani M, Abdollahpourdarvishani M, Sheikhalizadeh H, Akrami M. Effect of textured foot orthoses on walking plantar pressure variables in children with autism spectrum disorders. *J Biomech*. 2021 Dec 2;129:110775. doi: 10.1016/j.jbiomech.2021.110775.
- Cote KP, Brunet ME, Gansneder BM, Shultz SJ. Effects of Pronated and Supinated Foot Postures on Static and Dynamic Postural Stability. *J Athl Train*. 2005 Mar;40(1):41-46.
- Bok SK, Kim BO, Lim JH, Ahn SY. Effects of custom-made rigid foot orthosis on pes planus in children over 6 years old. *Ann Rehabil Med*. 2014 Jun;38(3):369-75. doi: 10.5535/arm.2014.38.3.369.
- Butler RJ, Hillstrom H, Song J, Richards CJ, Davis IS. Arch height index measurement system: establishment of reliability and normative values. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2008 Mar-Apr;98(2):102-106. doi: 10.7547/0980102.
- Xiaojun Z, Ming M, Jianye G, Wudong S, Yi Q, Jun C, et al. Effects of proprioceptive training on gait and plantar pressure after anterior cruciate ligament reconstruction: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2023 Nov;24(1):714. doi: 10.1186/s13063-023-07759-2.
- Jafarnejadgero AA, Dehghani M, Abdollahpour Darvishani M, Barghamadi M. [Comparison of plantar pressure variables during walking with and without immediate use of textured insoles in blind subjects]. *Med J Tabriz Uni Med Sciences Health Services*. 2020 April- May; 42(1):40-47. doi: 10.34172/mj.2020.018. [Article in Persian]
- Ménard AL, Begon M, Barrette J, Green B, Ballaz L, Nault ML. Plantar pressure analysis : identifying risk of foot and ankle injury in soccer players. *Translational Sports Medicine*. 2021;4(6):684-90.
- Rao S, Baumhauer JF, Becica L, Nawoczenski DA. Shoe inserts alter plantar loading and function in patients with midfoot arthritis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2009 Jul;39(7):522-31. doi: 10.2519/jospt.2009.2900.
- Stewart L, Gibson JN, Thomson CE. In-shoe pressure distribution in "unstable" (MBT) shoes and flat-bottomed training shoes: a comparative study. *Gait Posture*. 2007 Apr;25(4):648-51. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.06.012.
- Cavanagh PR, Ulbrecht JS. Clinical plantar pressure measurement in diabetes: rationale and methodology. *The Foot*. 1994;4:123-35.
- Rai DV, Aggarwal LM. The study of plantar pressure distribution in normal and pathological foot. *Pol J Med Phys*

- Eng. 2006;12(1):25-34.
31. Nguyen NT, Nguyen XM, Lane J, Wang P. Relationship between obesity and diabetes in a US adult population: findings from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2006. *Obes Surg.* 2011 Mar;21(3):351-55. doi: 10.1007/s11695-010-0335-4.
 32. Teh E, Teng LF, Acharya R, Ha TP, Goh E, Min LC. Static and frequency domain analysis of plantar pressure distribution in obese and non-obese subjects. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* 2006 Apr;10(2):127-33. doi: 10.1016/j.jbmt.2005.07.004.
 33. Wunderlich RE, Cavanagh PR. Gender differences in adult foot shape: implications for shoe design. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Apr;33(4):605-11. doi: 10.1097/00005768-200104000-00015.
 34. Putti AB, Arnold GP, Abboud RJ. Foot pressure differences in men and women. *Foot Ankle Surg.* 2010 Mar;16(1):21-24. doi: 10.1016/j.fas.2009.03.005.
 35. Simkin A, Leichter I, Giladi M, Stein M, Milgrom C. Combined effect of foot arch structure and an orthotic device on stress fractures. *Foot Ankle.* 1989 Aug;10(1):25-29. doi: 10.1177/107110078901000105.
 36. Han JT, Koo HM, Jung JM, Kim YJ, Lee JH. Differences in Plantar Foot Pressure and COP between Flat and Normal Feet During Walking. *Journal of Physical Therapy Science.* 2011;23(4):683-85. doi: 10.1589/jpts.23.683.
 37. Kanatli U, Yetkin H, Yalcin N. The relationship between accessory navicular and medial longitudinal arch: evaluation with a plantar pressure distribution measurement system. *Foot Ankle Int.* 2003 Jun;24(6):486-89. doi: 10.1177/107110070302400606.
 38. Burns J, Keenan AM, Redmond A. Foot type and overuse injury in triathletes. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2005 May-Jun;95(3):235-41. doi: 10.7547/0950235.
 39. Hunt AE, Smith RM. Mechanics and control of the flat versus normal foot during the stance phase of walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2004 May;19(4):391-97. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2003.12.010.