



Comparing the moment of the lower limb joints in one-leg landing skill between athletes with flexible flat feet and normal feet: A comparative descriptive study

Ilbeigi, Saeed^{1a*}; Bahari-Tahani, Javad²; Yousefi, Mohammad^{1b}; Hosseinzadeh, Effat^{1c}

1. Associate Professor^a, Assistant Professor^b, and PhD^c in Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

2. Master's degree in Sports Biomechanics, Islamic Azad University of Ferdows, Iran.

Received: May 2024; Accepted: January 2025

Keywords

Kinetic parameters,

Lower limb joints,

Landing,

Flat feet,

Abstract

Background and Aim: Flat feet are a common abnormality that can be a risk factor for acute and chronic lower limb injuries. The cause of injury in people with flat feet remains unknown. This research aims to compare the moment of lower limb joints in one-legged skill landing between athletes with flexible flat feet and normal feet.

Methods: Twenty male semi-professional futsal players (10 with flexible flat feet and 10 with normal feet) participated in this test. The height of the foot arch of these people was evaluated based on the Staheli index. The subjects performed the one-legged landing skill with the dominant leg from a step with a height of 30 cm. Kiesler force plate and Vicon analyzer were used to record the required data. To compare the moment of the joints between the two groups, an independent t-test was used at a significance level of $p \leq 0.05$.

Results: The statistical results showed that the average moment of all three joints (ankle, knee, and hip) was higher in people with flexible flat feet than in people with normal feet, but this difference was not statistically significant in all three examined joints.

Conclusion: The lower extremity joint moments in semi-professional futsal players with flexible flat feet are likely not a threat for acute and chronic injuries. This is because the changes in muscle strength and other biomechanical factors due to participation in training programs lead to a compensatory activity that reduces the amount of impact forces applied to the body.

* Corresponding Author: Tel: 09151307509

✉ Email: silbeigi@birjand.ac.ir

Orcid Code:0000-0001-9926-8936

Extended Abstract

Introduction

The arch of the foot is one of the most important structures of the human foot, which plays an important role in absorbing the force applied to the body and maintaining balance in physical activities (2-4). The reduction of the longitudinal arch of the foot or flat foot is the most common structural abnormality in the foot, which can be classified into 2 categories: 1. fixed flat foot 2. flexible flat foot (7,8). Among the people with flat feet, about 73% have flexible flat feet, and a small percentage have fixed flat feet (9). Flexible flatfoot increases the likelihood of injuries due to overuse, such as stress fractures, patellofemoral pain syndrome, lower back pain, and joint injuries, by approximately 4 to 20 times (10). Despite extensive research conducted in this area, the cause and mechanism of injury in individuals with flexible flatfoot remain unknown (4). Examining the changes in the biomechanical parameters of the lower extremity joints in people with flat feet in high-intensity skills, such as jumping, landing, where the probability of injury is very high, can greatly help to understand the cause and mechanism of injury in these people (12-14). Therefore, the present study aims to compare the torque of the lower extremity joints during single-leg landing between futsalists with flexible flat feet and normal feet.

Method

Twenty semi-professional male futsal players (10 people with flexible flat soles and 10 people with natural soles) participated in this study. The conditions for the subjects to participate in this research were the presence of flat foot and normal foot, age range between 18-35 years, body mass index between 20 and 28 kg/m², had at least 3 years of playing experience in futsal, do not have history of any musculoskeletal injuries and joint diseases in the lower limbs during the past year and the absence of any abnormalities in the lower limb. Subjects were divided into two groups, flat foot and normal foot, using the Stahli index (26). In the current research, a foot imaging device (DAF Danesh Salar Iranian) was used to calculate this

index. In order to distinguish between flexible flat foot and rigid flat foot, the subject was asked to first stand on two feet (in a weight-bearing position) and then stand on the toes. If there is no medial longitudinal arch of the foot in the weight-bearing position, but the arch appears when standing on the toes, then the flat foot is flexible (25). In the next step, the demographic information of the subjects, such as height and weight, was measured using a height meter and a digital scale.

After warming up, the subjects stand with bare feet on a box with a height of 30 cm next to the force plate. The hands of the subjects should be next to the body, and the toes should be in line with the front edge of the box. At the start of the test, the person jumps from the box and lands on the force plate with one foot without losing balance. All the subjects performed the landing skill with the dominant leg. The leg with which the subject performs the shot was considered the dominant leg (28). Kinetic and kinematic data collection was required in two-dimensional form, which was recorded by 8 cameras (sampling rate 120 Hz) and a force plate (sampling rate 1000 Hz). The desired variables in the present study were the peak moment of the hip, knee, and ankle joints in the sagittal plane, which was calculated through inverse dynamics (22). 5 attempts were recorded from each subject, and finally, the average peak moment in these 5 attempts was used for statistical analysis. An independent t-test was used to compare the torque of knee, thigh, and ankle joints between the two groups ($P \leq 0.05$).

Results

Statistical analysis showed that there was no significant difference in the parameters of age, height, mass, and body mass index in the two groups of flat feet and normal feet ($P > 0.05$), but the average of the Staheli index was significantly different between the two groups. ($P > 0.05$). Also, according to the results of the present study, the amount of moment lower limb joints (ankle, knee, and hip) in futsal player with flexible flat feet was more than the group with normal, but this difference was not statistically significant in all three joints of the hip, knee and ankle.

Discussion

Based on the results of the present study, it can be said that the reduction medial longitudinal arch does not cause a significant change in the lower extremity joints' moments in single-leg landing, which is contrary to the researcher's initial assumption. The absence of a significant difference in joint moments between the two groups could be due to the history of the subjects' activity, because

all the subjects were semi-professional futsal players who participated in futsal and its exercises for at least three years. Changes in muscle strength and other biomechanical factors due to sports training may have caused a compensatory activity to reduce joint moments in people with flexible flat feet.

Table 1. The result of the independent t-test comparing the moment of the lower limb joints (N.m/kg) in the sagittal plane during single leg landing in people with flexible flat foot and normal

	Variables (sagittal plane)	Groups	Mean $\pm$ SD	df	T	sig
Single-leg landing	Peak ankle joint moment (plantar flexor- dorsi flexor+)	Normal	0.78 $\pm$ 3.104	1	0.451	0.53
		Flexible flat feet	0.58 $\pm$ 3.442			
	Peak knee joint moment (extensor-, flexor+)	Normal	2.19 $\pm$ 0.417	1	0.632	0.78
		Flexible flat feet	1.98 $\pm$ 0.894			
	Peak hip joint moment (extensor-, flexor)	Normal	1.84 $\pm$ 2.351	1	0.391	0.91
		Flexible flat feet	1.72 $\pm$ 3.102			

Clinical application

Using research with the approach of comparing different parameters between people with flat feet and normal feet, along with understanding the compensatory activities that occur in other parts and organs of the body due to the reduction in the arch of the foot in these people, seems necessary to identify the cause of injury in people with flat feet.

Compliance with ethical guidelines

This study was conducted under the supervision of the ethics committee of the Islamic Azad University, Ferdous, and with the permission issued by this committee with the code of ethics.

Funding

No financial support was used in this research.

Author's Contribution

The design of the study and ideation was done by Dr. Saeed Ilbigi, Dr. Mohammad Yousefi and Javad Behari Thani, and the collection of data and practical implementation of the research was done by Mr. Javad Behari, the analysis and analysis of the data, and the writing of the initial and final versions of the article were the responsibility of all the authors.

Conflict of interest

The authors of the article declare that there is no conflict of interest in the present study.

Acknowledgments

The authorities of Ferdows Azad University are grateful for supporting this research and also the athletes who participated in this study.



مقایسه گشتاور مفاصل اندام تحتانی در مهارت فرود تک پا بین ورزشکاران با کف پای صاف منعطف و طبیعی: یک مطالعه توصیفی مقایسه‌ای

سعید ایل بیگی^{۱*}، جواد بهاری ثانی^۲، محمد یوسفی^۱، عفت حسین زاده^۱

۱- دانشیار^۱، استادیار^۲ و دکتری^۳ بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- کارشناسی ارشد بیومکانیک ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی فردوس، فردوس، ایران.

مقاله پژوهشی

دریافت: خرداد ۱۴۰۳؛ پذیرش: بهمن ۱۴۰۳

چکیده

زمینه و هدف: کف پای صاف یک ناهنجاری شایع بوده که می‌تواند یک عامل خطرزا در وقوع آسیب‌های حاد و مزمن اندام تحتانی باشد. علت وقوع آسیب در افراد مبتلا به کف پای صاف ناشناخته مانده است. هدف این تحقیق، مقایسه گشتاور مفاصل اندام تحتانی در مهارت فرود تک پا بین افراد دارای کف پای صاف منعطف و طبیعی است.

روش بررسی: تعداد ۲۰ مرد فوتسالیست نیمه حرفه‌ای (۱۰ نفر کف پای صاف منعطف و ۱۰ نفر کف پای طبیعی) در این آزمون شرکت کردند. ارتفاع قوس کف پای این افراد بر اساس شاخص استاهلی مورد ارزیابی قرار گرفت، آزمودنی‌ها مهارت فرود تک پا با پای برتر را از سکویی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر انجام دادند. برای ثبت داده‌های مورد نیاز از صفحه نیروسنج کیسلر و دستگاه آنالیز وایکن استفاده شد. برای مقایسه گشتاور مفاصل بین دو گروه از آزمون تی مستقل استفاده شد ($p \leq 0.05$). **نتایج:** نتایج آماری نشان داد که میانگین گشتاور هر سه مفصل (مچ پا، زانو و ران) در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف بیشتر از افراد با کف پای طبیعی بود؛ اما این تفاوت در هر سه مفصل مورد بررسی از نظر آماری معنادار نبود.

نتیجه‌گیری: گشتاور مفاصل اندام تحتانی موجود در فوتسالیست‌های نیمه حرفه‌ای مبتلا به کف پای صاف منعطف احتمالاً تهدیدی برای بروز آسیب‌های حاد و مزمن نیست. زیرا تغییرات به وجود آمده در قدرت عضلات و دیگر فاکتورهای بیومکانیکی به دلیل شرکت در برنامه‌های تمرینی باعث ایجاد یک فعالیت جبرانی جهت کاهش مقدار نیروهای برخوردی اعمال شده به بدن می‌شود.

واژگان کلیدی

پارامترهای کینتیکی

مفاصل اندام تحتانی

فرود آمدن

کف پای صاف

مقدمه

پا اولین اندامی از بدن است که در حین مهارت‌های مختلف مانند راه رفتن، دویدن و فرود با زمین تماس داشته لذا ساختار و عملکرد پا در مهارت‌های ورزشی و غیر ورزشی بسیار حائز اهمیت است (۱). کف پا از سه قوس ساخته شده که عبارتند از: قوس طولی داخلی^۱، قوس طولی خارجی^۲ و قوس عرضی^۳. قوس طولی داخلی یکی از ساختارهای مهم در کف پا است که نقش اصلی را در جذب نیروهای اعمال شده به بدن دارد (۲، ۳). قوس طولی داخلی به دلیل ایجاد خاصیت ارتجاعی در پاها ضربه وارد شده به بدن را در حین فعالیت‌های مختلف مثل راه رفتن، دویدن، پریدن و فرود آمدن جذب کرده و بخش زیادی از نیروی عکس‌العمل زمین را کاهش می‌دهد (۳، ۴). هرگونه تغییری در میزان قوس های کف پا به خصوص قوس داخلی علاوه بر اینکه تأثیر منفی در کارایی کف پا در حین اجرای مهارت‌های بدنی داشته بلکه عملکرد اندام تحتانی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین می‌تواند در آسیب‌پذیری افراد و عملکرد ورزشی آنها نقش داشته باشد (۵، ۶). کاهش قوس طولی کف پا که اصطلاحاً به آن کف پای صاف گفته می‌شود، شایع‌ترین ناهنجاری ساختاری در پا است که به دو دسته تقسیم بندی می‌شود ۱- کف پای صاف ثابت^۴ - ۲- کف پای صاف منعطف^۵. کف پای صاف منعطف حالتی است که در آن قوس طولی کف پا در زمانی که وزن بدن روی پا است ناپدید شده و پس از برداشتن وزن بدن از روی پا دوباره قابل مشاهده است (۷، ۸). پژوهش ها نشان می‌دهند شیوع کف پای صاف در بزرگسالان حدود ۲۵ درصد است و میزان ابتلا به این ناهنجاری در زنان بیشتر از مردان می‌باشد. از بین افراد مبتلا به کف پای صاف، حدود ۷۳ درصد آنها مبتلا به صافی کف پا از نوع منعطف بوده و درصد کمی کف پای صاف از نوع ثابت دارند (۹). شواهد قوی در ادبیات تحقیق نشان می‌دهد کاهش قوس کف پا می‌تواند در وقوع آسیب‌های اندام تحتانی نقش داشته باشد (۴).

پرمورسیلو و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که در افراد مبتلا به کف پای صاف با توجه به شدت این عارضه احتمال وقوع آسیب‌های ناشی از استفاده بیش‌ازحد مانند استرس فراکچرها، سندرم درد کشکی‌رانی، کمردرد و آسیب

مفاصل اندام تحتانی حدود ۴ تا ۲۰ برابر بیشتر از افراد با کف پای طبیعی است (۱۰). از سوی دیگر کاهش قوس طولی کف پا یک عامل خطرزا برای ایجاد آسیب‌های حاد در اندام تحتانی مثل پارگی لیگامنت صلیبی قدامی، اسپرین مفصل مچ پا، و استرین عضلات ساق پا و ران می‌باشد (۴، ۱۱).

باوجود تحقیقات زیاد انجام‌شده در این زمینه همچنان علت و مکانیسم وقوع آسیب در افراد مبتلا به کف پای صاف ناشناخته مانده است (۴). تحقیقات انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری افراد مبتلا به کف پای صاف در فعالیت‌های ورزشی انفجاری کوتاه‌مدت و تکرارشونده مانند پرش و فرود متوالی نسبت به افراد سالم بیشتر بوده چراکه در این فعالیت‌ها فشار زیادی روی عضلات اندام تحتانی وجود داشته و وضعیت قوس کف پا بر آسیب‌پذیری افراد تأثیر بیشتری دارد (۶، ۱۲). لذا محققان معتقدند که بررسی تغییرات پارامترهای بیومکانیکی مفاصل اندام تحتانی در افراد مبتلا به کف پای صاف در ورزش‌های با شدت بالا می‌تواند کمک بسزایی به شناخت علت و مکانیسم وقوع آسیب در این افراد نماید (۱۲-۱۴).

فرود جز اصلی و رایج در بسیاری از رشته‌های ورزشی است که به دو حالت فرود با یک پا^۶ و دو پا^۷ انجام می‌شود. در هر دو حالت فرود میزان زیادی نیرو در لحظه تماس با زمین به بدن وارد شده و به مفاصل و اندام‌های پروگزیمال منتقل می‌شود به این دلیل فرود یکی از مهارت‌های پر خطر در ایجاد آسیب در ورزشکاران محسوب می‌شود (۱۵). طبق گزارش تحقیقات گذشته در طی مهارت فرود حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین که به بدن اعمال می‌شود حدود ۳.۵ تا ۷.۱ برابر وزن بدن بوده که میزان این نیرو در فرود یک پا به مراتب بیشتر از فرود با دو پا است (۲). تکرار اعمال این میزان نیرو به بدن در مهارت‌های ورزشی و عدم توانایی بدن در جذب آن می‌تواند ورزشکار را در معرض انواع آسیب‌های حاد و مزمن قرار دهد (۱۶). نیروی عکس‌العمل زمین باعث ایجاد گشتاور خارجی در مفاصل می‌شود، گشتاور خارجی که به مفصل وارد می‌شود، باید توسط عضلات کنترل شود. اگر عضلات نتوانند این گشتاور خارجی را کنترل کنند، این مسئله باعث ایجاد آسیب به مفصل می‌شود. در واقع عضلات

^۵. rigid flat feet

^۶. single leg landing

^۷. Double leg landing

^۱. medial longitudinal arch

^۲. lateral longitudinal arch t

^۳. transverse arch

^۴. flexible flat feet

با تولید گشتاور داخلی که برابر و در خلاف جهت گشتاور خارجی اعمال شده بر مفاصل می‌باشند اثر نیروی عکس-العمل زمین و گشتاور خارجی وارد شده بر مفاصل را کاهش می‌دهند. بنابراین عضلات به مقدار زیادی مسئول توانایی بدن برای جذب شوک هنگام تماس پا با زمین و کاهش نیروهای وارده بر بدن هستند (۱۷).

افزایش نیروهای وارده بر مفاصل نشان دهنده توانایی اندک بدن برای جذب شوک و شاخصی برای اعمال فشارهای زیاد بر بدن در زمان بسیار کوتاه می‌باشد (۱۷، ۱۸). شوکی که در نتیجه فرود پس از پرش به وجود می‌آید به وسیله سیستم اسکلتی عضلانی جذب می‌شود. عضلاتی که قدرت بالاتری دارند نسبت به عضلات با قدرت پایین‌تر بهتر می‌توانند میزان باری که به بدن اعمال می‌شود را کاهش دهند (۱۷، ۱۸). در واقع هرچه قدرت عضلات بالاتر باشد می‌توانند گشتاور درونی بیشتری بر مفصل وارد کرده و از این طریق نیروهای وارد بر بدن را جذب کنند (۱۷، ۱۸). پژوهش‌های انجام شده در این زمینه بیان کردند که عضلات اکستنسور زانو اولین عامل جذب کننده نیروی عکس‌العمل زمین در بدن بوده و عضلات پلانتر فلکسور مچ پا و اکستنسورهای مفصل ران دومین عامل در جذب این نیروها طی مهارت فرود هستند. لذا تجزیه و تحلیل گشتاور مفاصل اندام تحتانی در صفحه ساجیتال برای پیشگیری از آسیب و شناخت افرادی که مستعد آسیب‌پذیری هستند بسیار حائز اهمیت است (۱۹).

پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که گشتاور داخلی مفاصل اندام تحتانی علاوه بر نقش حمایتی برای پایداری مفاصل و جلوگیری از آسیب‌های اندام تحتانی، می‌تواند یک فاکتور مهم در آسیب‌های اندام تحتانی در مهارت‌های ورزشی باشد (۲۰، ۲۱). برای مثال در مهارت فرود عضلات اکستنسور زانو و ران و عضلات پلانتر فلکسور مچ پا برای جلوگیری از خم شدن بیش از حد مفاصل اندام تحتانی و حفظ تعادل فرد به صورت برون‌گرا منقبض می‌شود. حال اگر هر عاملی باعث افزایش بیش از فعالیت برون‌گرای عضلات چهارسر رانی شود نیروی تولید شده توسط این عضله باعث به جلو کشیده شدن استخوان درشت‌نی و افزایش بار اعمال شده بر روی لیگامنت صلیبی قدامی می‌گردد (۲۲، ۲۳). مطالعات انجام شده گزارش کردند که در آسیب پارگی لیگامنت صلیبی قدامی افزایش گشتاور اکستنشن زانو و کاهش گشتاور اکستنشن

مفصل ران و کاهش گشتاور پلانتر فلکسوری مفصل مچ پا می‌تواند جز فاکتورهای خطرزا در ایجاد این آسیب باشند (۲۰، ۲۲). همچنین کاهش گشتاور اکستنشن زانو یک عامل مهم در بروز سندرم درد کشکی رانی می‌باشد (۲۱). در مورد تغییرات گشتاور مفاصل اندام تحتانی در افراد مبتلا به کف پای صاف محققان گزارش کردند که کاهش قوس طولی کف پا منجر به کاهش گشتاور اکستنسورهای ران و پلانتر فلکسورهای مچ پا در مهارت راه رفتن می‌شود (۲۴) در نتیجه کف پای صاف باعث تغییر در متغیرهای کینتیکی مثل گشتاور داخلی مفاصل شده که می‌تواند نقش مهمی در آسیب‌پذیری این افراد در مهارت‌های راه رفتن باشد (۲۴، ۲۵).

اکثر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه مهارت‌های راه رفتن و دویدن را مورد بررسی قرار داده و تاکنون هیچ مطالعه‌ای به بررسی تفاوت گشتاور مفاصل اندام تحتانی در مهارت‌های با شدت بالا که وقوع آسیب در آنها بسیار شایع است، نپرداخته است. بنابراین با توجه به شیوع بالای عارضه کف پای صاف منعطف در جوامع ورزشی، غیر ورزشی و با توجه به مراتب بالا هدف پژوهش حاضر بررسی وجود یا عدم وجود تفاوت گشتاور مفاصل اندام تحتانی بین فوتسالیست-های دارای کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی طی مهارت فرود با یک پا است.

روش تحقیق

این تحقیق نیمه تجربی و از نوع توصیفی-مقایسه‌ای بوده و روش نمونه‌گیری از نوع هدفمند و به شیوه در دسترس بود. در این مطالعه تعداد ۲۰ مرد فوتسالیست نیمه حرفه‌ای (۱۰ نفر با کف پای طبیعی و ۱۰ نفر با کف پای صاف منعطف) شرکت داشتند. حجم نمونه بر اساس مطالعات مشابیه در این زمینه برآورد گردید (۵). پژوهش حاضر توسط هیات مربوطه مورد بررسی و بر اساس اصول اخلاق انسانی مورد تایید قرار گرفت (کد اخلاق: IR-KHU.KRC.1000.221). شرایط آزمودنی‌ها برای ورود به این پژوهش عبارت بود از: ۱- داشتن کف پای صاف و طبیعی؛ ۲- محدوده سنی بین ۱۸-۳۵ سال؛ ۳- شاخص توده بدنی بین ۲۰ تا ۲۸ کیلوگرم بر متر مربع؛ ۴- نداشتن سابقه هر گونه آسیب اسکلتی عضلانی و بیماری‌های مفصلی نظیر استئوآرتریت در مفاصل اندام تحتانی طی یک سال گذشته؛ ۵- عدم وجود بد شکلی‌های پایین تنه مثل کف پای گود،

میلی متر استفاده شد. ۸ دوربین مورد استفاده در دو طرف تخته نیروسنج به گونه‌ای چیده شدند که اشراف کامل به همه نشانگرهای متصل به بدن داشته باشند. نشانگرهای منعکس کننده نور برای مشخص کردن و ردیابی لگن، ران، ساق و مچ پا به صورت دو طرفه براساس مدل plugin-Gait روی اندام‌ها قرار داده شد (۲۷). این نشانگرها بر روی متاتارس دوم، پاشنه، قوزک خارجی، قسمت خارجی ساق، کندیل خارجی استخوان ران، قسمت خارجی استخوان ران، خار خاصره قدامی فوقانی، خار خاصره خلفی فوقانی در دو طرف بدن قرار گرفتند. قبل از اجرای آزمون، از شرکت‌کنندگان خواسته شد که به مدت ۵ دقیقه عمل گرم کردن را با اجرای حرکات کششی و دوییدن درجا انجام دهند. سپس آزمودنی با پای برهنه روی سکویی به ارتفاع ۳۰ سانتی متر که در کنار تخته نیروسنج قرار دارد می‌ایستد. دست‌های آزمودنی باید در کنار بدن قرار داشته و انگشتان پا در راستای لبه جلویی سکو می‌باشد. با فرمان شروع آزمودنی از روی سکو پریده و بدون برهم خوردن تعادل با یک پا روی تخته نیروسنج فرود می‌آید. همه آزمودنی‌ها مهارت فرود را با پای غالب انجام دادند. پایی که آزمودنی با آن عمل شوت را انجام می‌دهد به عنوان پای غالب در نظر گرفته شد (۲۸). گشتاور مفاصل مورد بررسی در پژوهش حاضر گشتاور داخلی مفاصل بوده و جهت گشتاورها به این صورت است که گشتاور اکستنسورهای ران، زانو و پلانتر فلکشن مچ پا منفی در نظر گرفته شده و گشتاور فلکسورهای ران، زانو و دورسی فلکسورهای مچ پا مثبت می‌باشند. برای محاسبه گشتاور داخلی مفاصل اندام تحتانی (زانو و ران و مچ پا) در صفحه ساجیتال از معادلات دینامیک معکوس نیوتن - اولر به صورت دوبعدی استفاده شد (معادله ۱ و ۲) (۲۲).

$$\sum F = ma \begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \end{cases}$$

معادله ۱. قانون دوم نیوتن

$$\sum M = I \alpha$$

معادله ۲. معادله اولر

زانوی ضربدری و پرانتزی؛ ۶- داشتن حداقل سه سال سابقه بازی در رشته فوتسال در سطح باشگاهی ولی حرفه‌ای نباشند؛ ۷- عدم شرکت به صورت منظم در برنامه تمرینی پرشی و قدرتی که شامل پرش و فرود تک پا باشد (۲، ۵، ۲۳، ۲۴). وجود هر گونه آسیب یا درد در روند اجرای آزمون و عدم تمایل آزمودنی‌ها به ادامه شرکت در آزمون نیز جزء معیارهای خروج از پژوهش در نظر گرفته شد. بعد از انتخاب آزمودنی‌ها طی یک جلسه توجیهی روند اجرای آزمون برای آنها توضیح داده شد و همه آزمودنی‌ها رضایت خود برای شرکت در این آزمون، اطلاعات شخصی خود و شرایط ورود به این آزمون را در فرمی که قبل از اجرای آزمون به آنها ارائه شد ثبت کردند. قبل از شروع آزمون ابتدا آزمودنی‌ها با استفاده از شاخص استاهلی به دو گروه کف پای صاف و کف پای طبیعی تقسیم بندی شدند (۲۶). شاخص استاهلی^۱ از طریق تقسیم کم‌عرض‌ترین قسمت کف پا به پهن‌ترین قسمت پاشنه (بخش عقبی پا) به دست می‌آید (۲۶) که در پژوهش حاضر برای محاسبه این شاخص از دستگاه عکس‌برداری پا (DAF) دانش سالار ایرانیان استفاده شد.

براساس شاخص استاهلی مقادیر $SI < 0/44$ به عنوان کف پای گود، مقادیر $0/44 < SI < 0/89$ به عنوان کف پای طبیعی و مقادیر $SI > 0/89$ به عنوان کف پای صاف در نظر گرفته شد (۲۶). برای تشخیص کف پای صاف منعطف از کف پای صاف ثابت نیز از آزمودنی درخواست شد که ابتدا بر روی دو پا (در حالت تحمل وزن) بایستد سپس روی پنجه پا بلند شود. اگر در حالت تحمل وزن قوس طولی داخلی پا وجود نداشت، اما با ایستادن روی پنجه پا قوس ظاهر شد، صافی کف پا از نوع منعطف می‌باشد (۲۵). در مرحله بعدی اطلاعات دموگرافیکی آزمودنی‌ها مانند قد، وزن و سن با استفاده از قدسنج، ترازوی دیجیتالی و پرسش از شخص جمع‌آوری شده و در برگه‌های مخصوص هر آزمودنی ثبت گردید.

جمع‌آوری داده‌های کینماتیکی و کینماتیکی مورد نیاز توسط دستگاه آنالیز حرکت وایکن ساخت کشور انگلیس ثبت و استخراج شد. به این منظور از ۸ دوربین با فرکانس ۱۲ هرتز و یک تخته نیروسنج مدل کیستلر با فرکانس ۱۲۰۰ هرتز و ۱۶ نشانگرهای منعکس کننده نور با قطر ۱۴

¹. staheli index

محاسبه متغیرها و رسم نمودارهای مربوط به نتایج در محیط نرم‌افزار متلب (version 2015, American,) انجام شد. لازم به ذکر است که از هر آزمودنی ۵ تلاش صحیح ثبت شد و برای تجزیه و تحلیل آماری از میانگین اوج گشتاور مفاصل اندام تحتانی در این ۵ تلاش استفاده شد. همه متغیرهای گشتاور مفاصل به جرم بدن نرمالایز شده تا اثر تفاوت‌های فردی در نتایج کاسته شود. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد و نتایج آن نشان داد که

توزیع کلیه متغیرهای مورد بررسی طبیعی است. با توجه به برقرار شدن فرض‌های لازم، از آزمون‌های پارامتریک برای تحلیل استفاده شد. از آزمون تی مستقل برای مقایسه گشتاور مفاصل اندام تحتانی بین دو گروه کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی استفاده شد. همه آزمون‌های آماری ذکر شده در نرم افزار spss نسخه ۱۵ (version 15 SPSS Inc, Chicago, IL) و با سطح معناداری $p \leq 0.05$ انجام شد.

جدول ۱. اطلاعات دموگرافیک و شاخص استاهلی دو گروه کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی (انحراف استاندارد $\pm$ میانگین)

گروه	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	جرم (کیلوگرم)	شاخص توده بدنی (کیلوگرم/متر مربع)	شاخص استاهلی
کف پای طبیعی	$27 \pm 2/68$	$177/45 \pm 6/26$	$70/45 \pm 6/93$	$22/33 \pm 1/38$	$0/62 \pm 0/09$
کف پای صاف منعطف	$24/30 \pm 3/97$	$174/60 \pm 6/27$	$66/80 \pm 9/51$	$21/85 \pm 1/78$	$0/91 \pm 0/01$
P value	$0/081$	$0/311$	$0/285$	$0/504$	$* 0/001$

نتایج مطالعه

اطلاعات دموگرافیک آزمودنی‌ها و شاخص استاهلی در جدول ۱ گزارش شده است. نتایج مقایسه اطلاعات دموگرافیک بین دو گروه نشان داد که تفاوت معناداری در

پارامترهای سن، قد، جرم، شاخص توده بدنی در دو گروه کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی وجود ندارد ($p > 0.05$) اما در میانگین شاخص استاهلی بین دو گروه تفاوت معناداری مشاهده شد ($p < 0.05$).

جدول ۲. نتایج آزمون تی مستقل در مقایسه اوج گشتاور داخلی مفاصل اندام تحتانی (N.m/kg) در صفحه ساجیتال هنگام فرود تک‌پا در افراد دارای کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی

متغیرها (صفحه ساجیتال)	گروه‌ها	میانگین $\pm$ انحراف استاندارد	df	T	sig
۲. اوج گشتاور	اوج گشتاور مفصل مچ پا (پلانتر فلکسور - ، دورسی فلکسور +)	$-3/104 \pm 0/78$	۱	۰/۴۵۱	۰/۵۳
	کف پای طبیعی	$-3/442 \pm 0/58$			
	کف پای صاف منعطف	$-0/417 \pm 2/19$	۱	۰/۶۳۲	۰/۷۸
	اوج گشتاور مفصل زانو (اکستنسور - ، فلکسور +)	$-0/894 \pm 1/98$			
	کف پای طبیعی	$-2/351 \pm 1/84$	۱	۰/۳۹۱	۰/۹۱
	کف پای صاف منعطف	$-3/102 \pm 0/72$			

جدول ۲ میانگین و انحراف استاندارد گشتاور مفاصل اندام تحتانی (ران، زانو و مچ پا) در هر دو گروه را نشان می‌دهد. نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که اوج گشتاور داخلی مفاصل اندام تحتانی (مچ پا، زانو و ران) هنگام فرود تک‌پا در فوتسالیست‌های مبتلا به کف پای صاف منعطف

بیشتر از افراد دارای کف پای طبیعی بود، اما در هر سه مفصل مورد بررسی این تفاوت بین گروه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. برای درک بهتر اوج گشتاور مفاصل اندام تحتانی هر دو گروه کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی در نمودار ۱ نشان داده شده است.



نمودار ۱- اوج گشتاور مفاصل اندام تحتانی هنگام فرود تک پا در افراد دارای کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی

بحث

هدف از مطالعه حاضر، مقایسه اوج گشتاور داخلی مفاصل اندام تحتانی در صفحه ساجیتال هنگام فرود تک پا بین فوتسالیست‌های دارای کف پای طبیعی و کف پای صاف منعطف به منظور بررسی وجود یا عدم وجود تفاوت این متغیرها بین دو گروه می‌باشد. بررسی‌های آماری نشان داد که گشتاور مفاصل اندام تحتانی (مچ پا، زانو و ران) در صفحه ساجیتال هنگام فرود تک پا در فوتسالیست‌های مبتلا به کف پای صاف منعطف از فوتسالیست‌های دارای کف پای طبیعی بیشتر بوده ولی این تفاوت از نظر آماری معنادار نبود. مقادیر گشتاور مفاصل اندام تحتانی مربوط به افراد دارای کف پای طبیعی در این پژوهش تفاوت قابل توجهی با مقادیر گشتاور این مفاصل در اکثر پژوهش‌های پیشین نداشت (۱۹، ۲۹). در پژوهش حاضر گشتاور مفصل زانو کمترین مقدار گشتاور را بین مفاصل مورد نظر به خود اختصاص داده در حالی که در پژوهش هووی و همکاران (۲۰۲۱) و سینیورین و همکاران (۲۰۱۳) کمترین میزان گشتاور در مفصل مچ پا گزارش شده است (۳۰، ۳۱). این اختلاف می‌تواند به دلیل تفاوت در روش اجرای پژوهش‌ها مانند تکنیک فرود باشد. زیرا بررسی‌ها نشان داد که آزمودنی‌های پژوهش حاضر بیشتر از استراتژی پاشنه پا (بخش عقبی پا) هنگام فرود استفاده کرده‌اند در حالی که در دو پژوهش ذکر شده افراد مهارت فرود را با پنجه پا (بخش جلویی پا) انجام داده‌اند. نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که در فرود با پاشنه پا گشتاور

مفصل مچ پا به میزان قابل توجهی بیشتر از فرود با پنجه است. زیرا در این نوع فرود گشتاور بیشتر در مفصل مچ پا با تولید کمتر گشتاور زانو در صفحه ساجیتال مرتبط است (۲۲، ۳۲)، که این مسئله اهمیت مفصل مچ پا و عضلات مرتبط با آن را در جذب نیرو یا بار اعمال شده به بدن نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به بررسی‌های انجام شده تاکنون تحقیقی در زمینه گشتاور مفاصل اندام تحتانی در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف طی مهارت فرود با یک پا جهت مقایسه مقادیر بدست آمده انجام نشده و اکثر پژوهش‌ها مهارت‌های دیگر مانند راه رفتن و دویدن مورد بررسی قرار داده‌اند. لذا محققان در پژوهش پیش‌رو فقط به مقایسه مقادیر گشتاور مفاصل اندام تحتانی در افراد دارای کف پای طبیعی با مطالعات قبلی پرداختند.

به طور کلی نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که کف پای صاف منعطف باعث ایجاد تغییر قابل توجهی در گشتاور مفاصل اندام تحتانی در مهارت فرود یک پا نمی‌شود، که این نتیجه برخلاف فرض اولیه محقق است. در مهارت فرود مقالات محدودی به بررسی تفاوت متغیرهای کینتیکی بین افراد دارای کف پای صاف و کف پای طبیعی پرداختند. گروهی از این پژوهش‌ها گزارش کردند که کاهش قوس طولی کف پا باعث افزایش حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین و سرعت اعمال نیرو به بدن نسبت به کف پای طبیعی در مهارت فرود با دو پا شده لذا در افراد مبتلا به کف پای صاف به دلیل تغییرات ساختاری و عملکردی ناشی از کاهش قوس کف پا نیروی عکس‌العمل بیشتری در مدت زمان کمتر

در تحقیقات قبلی مانند پژوهش یوکیانگ و همکاران (۲۰۱۱) نیز این مساله اثبات و گزارش شده که افراد دارای کف پای صاف فعالیت عضلانی بیشتری نسبت به افراد دارای کف پای معمولی در مهارت فرود دارند ولی این تفاوت از نظر آماری قابل توجه نیست (۲۳).

در مورد متغیر گشتاور مفاصل اندام تحتانی همان طور که قبلا بیان شد تا کنون تحقیقی در زمینه گشتاور داخلی مفاصل اندام تحتانی حین مهارت فرود انجام نشده و بیشتر این مقالات در زمینه راه رفتن و دویدن هستند. در مهارت راه رفتن محققان بیان کردند که افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف گشتاور پلانتر فلکشن کمتری نسبت به افراد دارای کف پای طبیعی در انتهای فاز تماس با زمین دارند (۳۷). از آنجایی که گشتاور پلانتر فلکشن یک فاکتور موثر در جذب نیروی وارده به بدن است در نتیجه کاهش آن عامل مهمی در جذب نامناسب نیرو در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف محسوب می شود (۱۹). توماسایک و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی متغیرهای کینتیکی در مراحل مختلف یک گام در راه رفتن پرداخته و گزارش کردند که کاهش قوس کف پا باعث تغییرات قابل توجهی در گشتاور داخلی مفاصل اندام تحتانی نسبت به افراد دارای کف پای طبیعی می شود (۳۷). تفاوت مهارت مورد بررسی و ویژگی آزمودنی ها از دلایل مهم تناقض نتایج این پژوهش ها با مطالعه حاضر است. آزمودنی ها در پژوهش حاضر فوتسالیست های نیمه- حرفه ای بودند که که حداقل سه سال سابقه شرکت در بازی- های فوتسال و برنامه های تمرینی مرتبط با این رشته را دارند. برنامه های تمرینی در این رشته که شامل تمرینات استقامتی، قدرتی و تمرینات پلیومتریک است می تواند در طولانی مدت به میزان قابل توجهی قدرت عضلات اندام تحتانی را افزایش داده و باعث بهبود هماهنگی بین اندام ها شود. در افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف کاهش قوس کف پا باعث افزایش حرکت پذیری و انعطاف پذیری مفاصل پا در طی مهارت های ورزشی مانند فرود می شود که برای کنترل این حرکت پذیری افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف باید قدرت عضلات بالایی داشته باشند تا تفاوت ناشی از کاهش قوس کف پا در جذب نیروهای برخوردی و انتقال آن به اندام های پروگزیمال را جبران نمایند (۳۸). لذا افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف که عضلات اندام تحتانی به خصوص اداکتورهای مفصل ران و عضلات ساق پای آنها

نسبت به افراد دارای کف پای طبیعی به بدن اعمال شده که می تواند یکی از دلایل شیوع آسیب در این افراد باشد (۲، ۵). یکی از دلایل عدم هم خوانی نتایج این مطالعه با پژوهش چانگ و همکاران (۲۰۱۲) و چوهی و همکاران (۲۰۱۲) می- تواند به دلیل تفاوت در مهارت مورد بررسی باشد. چانگ و همکاران (۲۰۱۲) و چوهی و همکاران (۲۰۱۲) مهارت فرود با دو پا را مورد بررسی قرار داده اند (۲، ۵). با توجه به نتایج مطالعات انجام شده مهارت فرود با دو پا و یک پا را نمی توان از نظر بیومکانیکی یکسان در نظر گرفت زیرا متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی و فعالیت های عضلانی در این دو مهارت متفاوت هستند (۳۳). در فرود با یک پا برخی از مطالعات انجام شده نشان دادند که هیچ تفاوت قابل توجهی در حداکثر نیروی عکس العمل زمین و سرعت اعمال نیرو به بدن بین افراد دارای کف پای صاف و طبیعی طی مهارت فرود با یک پا مشاهده نکرده و گزارش کردند که افراد مبتلا به کف پای گود بیشتر در معرض آسیب بوده و کاهش قوس طولی کف پا تفاوتی در پارامترهای بیومکانیکی افراد ایجاد نکرده لذا آسیب پذیری آنها مانند افراد دارای کف پای طبیعی است (۳۴، ۳۵) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. از این رو می توان گفت در طی مهارت هایی مانند فرود با یک پا نیروی عکس العمل بسیار زیادی از طریق تماس پا با زمین به بدن وارد شده که توانایی کنترل و جذب مناسب این نیروها هنگام انجام فعالیت های عملکردی و پویا، کلیدی برای پیشگیری از آسیب است. پرونیشن مفصل زیر قاپی نقش حیاتی در جذب نیرو هنگام برخورد پا با زمین ایفا می کند. پرونیشن مفصل زیر قاپی مفاصل میدتارسال را باز میکند و قوس طولی داخلی را پایین می برد و با این کارها به پا اجازه می دهد که منعطف تر شود و هنگام تحمل وزن، شوک را جذب کند (۳۶).

در فوتسالیست هایی که کف پای صاف منعطف دارند، پرونیشن مفصل زیر قاپی دچار تغییر شده است، اما چنین به نظر می رسد که در جذب شوک وارد شده ناشی از مهارت فرود با یک پا، کارایی خود را از دست نداده یا این شوک با افزایش فعالیت عضلات اندام تحتانی جذب شده باشد. نتایج مطالعه پیش رو نشان داد که گشتاور داخلی عضلات اکستنسور ران زانو و پلانتر فلکسور مچ پا در افراد مبتلا به کف پای صاف بیشتر از افراد دارای کف پای طبیعی است که این تفاوت اگرچه قابل توجه نیست ولی می تواند به نوعی نشان دهنده افزایش فعالیت عضلانی در افراد مبتلا به کف پای صاف باشد.

بیشتر در زمینه شناخت این مکانیسم‌های جبرانی و راهکارهای مناسب برای کاهش اثر فاکتورهای خطرزا برای ایجاد آسیب در افراد مبتلا به کف پای صاف می‌تواند کمک بسزایی به مربیان، ورزشکاران مبتلا به کف پای صاف و پزشکان حوزه توان‌بخشی نماید.

کاربرد بالینی

استفاده از پژوهش‌هایی با رویکرد مقایسه‌ی پارامترهای مختلف بین افراد دارای کف پای صاف و طبیعی در کنار شناخت فعالیت‌های جبرانی که به دلیل کاهش قوس کف پا در سایر اجزا و اندام‌های مختلف بدن در این افراد رخ می‌دهد، برای شناسایی علت وقوع آسیب در افراد دارای کف پای صاف ضروری به نظر می‌رسد.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه زیر نظر کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس و با مجوز صادرشده از سوی این کمیته با کد اخلاق: IR-KHU.KRC.1000.221 انجام شد.

حمایت مالی

در این تحقیق از هیچ گونه حمایت مالی استفاده نشده است.

نقش نویسندگان

طراحی مطالعه و ایده پردازی بر عهده آقای دکتر سعید ایل‌بیگی، دکتر محمد یوسفی و جواد بهاری ثانی بوده و جمع‌آوری داده‌ها و اجرای عملی تحقیق توسط آقای جواد بهاری انجام شده است، تجزیه و تحلیل داده‌ها، نوشتن نسخه اولیه و نهایی مقاله بر عهده همه نویسندگان بوده است.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه آزاد واحد فردوس برای حمایت از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین، از ورزشکارانی که در این مطالعه شرکت کردند، تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

از قدرت بالایی برخوردار هستند، کاهش قوس کف پا در آنها نمی‌تواند باعث تغییر قابل توجهی در میزان متغیرهای کینتیکی مانند گشتاور نسبت به افراد دارای کف پای طبیعی شود. در این راستا پیری و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که تفاوت قابل توجهی در متغیرهای کینتیکی بین فوتبالیست‌های دارای کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی وجود ندارد (۳۶). همچنین صالح و همکاران (۲۰۱۴) هم گزارش کردند که در متغیرهای کینتیکی صفحه ساجیتال بین ورزشکاران دارای کف پای صاف منعطف و کف پای طبیعی تفاوت قابل توجهی وجود ندارد (۳۹) که هم راستا با نتایج پژوهش حاضر است. در نتیجه با استناد به نتایج پژوهش حاضر می‌توان گفت متغیرهای کینتیکی مانند گشتاور داخلی مفاصل اندام تحتانی در فوتبالیست‌های با کف پای صاف منعطف احتمالاً تهدیدی برای بروز آسیب‌های حاد و مزمن نیست.

یکی از محدودیت‌های پژوهش حاضر این است که پژوهش حاضر فقط گشتاور مفاصل اندام تحتانی در صفحه ساجیتال مورد بررسی قرار گرفت در حالی که این احتمال وجود دارد که کاهش قوس کف پا بر گشتاور مفاصل اندام تحتانی در صفحات حرکتی دیگر اثر گذار باشد. علاوه بر این کم بودن نمونه در دسترس برای انتخاب آزمودنی نیز محدودیت دیگر این پژوهش بود. لذا پیشنهاد می‌شود که مطالعات آینده تعداد نمونه بیشتری را مورد بررسی قرار دهند تا تعمیم نتایج بدست آمده به جامعه مورد نظر با اطمینان بالاتر و به راحتی صورت پذیرد. از سوی دیگر تحقیقات آینده می‌توانند با بررسی و مقایسه گشتاور مفاصل اندام تحتانی در سه صفحه حرکتی بین افراد مبتلا به کف پای صاف منعطف و افراد دارای کف پای طبیعی نتایج کامل‌تری را در این زمینه ارائه دهند.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاهش قوس طولی کف منجر به تغییر گشتاور مفاصل اندام تحتانی نمی‌شود. احتمال دارد که عضلات و استخوان‌ها و لیگامنت‌ها به‌صورت فعالیت جبرانی برای کاهش مقدار گشتاور مفاصل اندام تحتانی جهت جلوگیری از بروز آسیب در افراد مبتلا به کف پای صاف حین فعالیت پرش - فرود وارد عمل شوند. لذا انجام پژوهش‌های

References

- Williams DS, McClay IS, Hamill J, Buchanan TS. Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches. *Journal of applied biomechanics*. 2001;17(2):153-63. doi: <https://doi.org/10.1123/jab.17.2.153>
- Choi J-H, An H-J, Yoo K-T. Comparison of the loading rate and lower limb angles on drop-landing between a normal foot and flatfoot. *Journal of Physical Therapy Science*. 2012;24(11):1153-7. doi: <https://doi.org/10.1589/jpts.24.1153>
- Fu FQ, Wang S, Shu Y, Li JS, Popik S, Gu YD. A comparative biomechanical analysis the vertical jump between flatfoot and normal foot. *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*. 2016;28:26-35. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JB-BBE.28.26>
- Setiawan A, Yudhistira D. Prevalence and characteristics of sports injuries in athletes with flat feet: A quantitative descriptive study. *Journal Sport Area*. 2023;8(2):207-16. doi: [https://doi.org/10.25299/sportarea.2023.vol8\(2\).12602](https://doi.org/10.25299/sportarea.2023.vol8(2).12602)
- Chang JS, Kwon YH, Kim CS, Ahn S-H, Park SH. Differences of ground reaction forces and kinematics of lower extremity according to landing height between flat and normal feet. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*. 2012;25(1):21-6. doi: 10.3233/BMR-2012-0306
- Kumala MS, Tinduh D, Poerwandari D. Comparison of lower extremities physical performance on male young adult athletes with normal foot and flatfoot. *Surabaya Phys Med Rehabil J*. 2019;1(1):6-13. doi: 10.20473/spmrj.v1i1.16156
- Hoseini Y, Karimi MT. Ground reaction force analysis in flexible and rigid flatfoot subjects. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2024;39:441-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.02.020>
- Pita-Fernandez S, Gonzalez-Martin C, Alonso-Tajes F, Seoane-Pillado T, Pertega-Diaz S, Perez-Garcia S, et al. Flat foot in a random population and its impact on quality of life and functionality. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*. 2017;11(4):LC22. doi: 10.7860/JCDR/2017/24362.9697
- Ghazaleh L, Hoseiny Y, Sharifmoradi K. Comparison of foot-ankle complex and knee joint kinematics in women with flexible and rigid flatfeet during walking. *Studies in Sport Medicine*. 2020;12(27):187-200. doi: <https://doi.org/10.22089/smj.2021.10212.1473>
- Pérez-Morcillo A, Gómez-Bernal A, Gil-Guillen VF, Alfaro-Santafé J, Alfaro-Santafé JV, Quesada JA, et al. Association between the Foot Posture Index and running related injuries: A case-control study. *Clinical Biomechanics*. 2019;61:217-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.12.019>
- Neal BS, Griffiths IB, Dowling GJ, Murley GS, Munteanu SE, Franettovich Smith MM, et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. *Journal of foot and ankle research*. 2014;7:1-13. doi: <https://doi.org/10.1186/s13047-014-0055-4>
- Cain LE, Nicholson LL, Adams RD, Burns J. Foot morphology and foot/ankle injury in indoor football. *Journal of science and medicine in sport*. 2007;10(5):311-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.07.012>
- Lopezosa-Reca E, Gijon-Nogueron G, Morales-Asencio JM, Cervera-Marin JA, Luque-Suarez A. Is there any association between foot posture and lower limb-related injuries in professional male basketball players? A cross-sectional study. *Clinical journal of sport medicine*. 2020;30(1):46-51. doi: 10.1097/JSM.0000000000000563
- Snodgrass SJ, Ryan KE, Miller A, James D, Callister R. Relationship between posture and non-contact lower limb injury in young male amateur football players: A prospective cohort study. *International journal of environmental research and public health*. 2021;18(12):6424. doi: 10.3390/ijerph18126424
- Powell DW, Hanson NJ, Long B, Williams III DB. Frontal plane landing mechanics in high-arched compared with low-arched female athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2012;22(5):430-5. doi: 10.1097/JSM.0b013e318257d5a1
- Xu D, Jiang X, Cen X, Baker JS, Gu Y. Single-leg landings following a volleyball spike may increase the risk of anterior cruciate ligament injury more than landing on both-legs. *Applied Sciences*. 2020;11(1):130. doi: <https://doi.org/10.3390/app11010130>
- Fatahi F, Sharifnezhad A, Karimi MT. The relationship between maximum lower extremities joint moment with maximum vertical ground reaction force during single leg drop landing. *Studies in Sport Medicine*. 2017;9(22):101-18. doi: <https://doi.org/10.22089/smj.2017.3761.1214>

- 18 .Kolodziej M, Willwacher S, Nolte K, Schmidt M, Jaitner T. Biomechanical risk factors of injury-related single-leg movements in male elite youth soccer players. *Biomechanics*. 2022;2(2):281-300. doi: <https://doi.org/10.3390/biomechanics2020022>
- 19 .Yeow CH, Lee PVS, Goh JCH. An investigation of lower extremity energy dissipation strategies during single-leg and double-leg landing based on sagittal and frontal plane biomechanics. *Human movement science*. 2011;30(3):624-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.11.010>
- 20 .Leppänen M, Pasanen K, Krosshaug T, Kannus P, Vasankari T, Kujala UM, et al. Sagittal plane hip, knee, and ankle biomechanics and the risk of anterior cruciate ligament injury: a prospective study. *Orthopaedic journal of sports medicine*. 2017;5(12):2325967117745487. doi: <https://doi.org/10.1177/2325967117745487>
- 21 .Morita ÂK, Tavella Navega M. Women with patellofemoral pain show changes in trunk and lower limb sagittal movements during single-leg squat and step-down tasks. *Physiotherapy Theory and Practice*. 2023;1-9. doi: <https://doi.org/10.1080/09593985.2023.2228396>
- 22 .Shimokochi Y, Yong Lee S, Shultz SJ, Schmitz RJ. The relationships among sagittal-plane lower extremity moments: implications for landing strategy in anterior cruciate ligament injury prevention. *Journal of Athletic Training*. 2009;44(1):33-8. doi: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.1.33>
- 23 .Yoo K-T. Comparative Analysis of Maximum Vertical Reaction Force and Lower Limbs on Drop Landing between Normal and Flat Foot Group. *Journal of international academy of physical therapy research*. 2011;2(1):222-8. doi: <https://doi.org/10.5854/JIAPTR.2011.2.1.222>
- 24 .Hunt AE, Smith RM. Mechanics and control of the flat versus normal foot during the stance phase of walking. *Clinical biomechanics*. 2004;19(4):391-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2003.12.010>
- 25 .Jafarnezhadgero A, Majlesi M, Madadi-Shad M. The effects of low arched feet on lower limb joints moment asymmetry during gait in children: A cross sectional study. *The Foot*. 2018;34:63-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foot.2017.11.005>
- 26 .Staheli L. Evaluation of planovalgus foot deformities with special reference to the natural history. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 1987;77(1):2-6. doi: <https://doi.org/10.7547/87507315-77-1-2>
- 27 .Association WM. Ethical principles for medical research involving human subjects. *European journal of emergency medicine: official journal of the European Society for Emergency Medicine*. 2001;8(3):221-3. doi: [10.1097/00063110-200109000-00010](https://doi.org/10.1097/00063110-200109000-00010)
- 28 .Bartz BL. Biomechanical analysis of the vertical jump and identification of ground reaction forces related to the vertical jump: University of Nevada, Reno; 1998.
- 29 .Tamura A, Akasaka K, Otsudo T. Contribution of lower extremity joints on energy absorption during soft landing. *International journal of environmental research and public health*. 2021;18(10):5130. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph18105130>
- 30 .Hovey S, Wang H, Judge LW, Avedesian JM, Dickin DC. The effect of landing type on kinematics and kinetics during single-leg landings. *Sports biomechanics*. 2021. doi: <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1582690>
- 31 .Sinsurin K, Vachalathiti R, Jalayondeja W, Limroongreungrat W. Different sagittal angles and moments of lower extremity joints during single-leg jump landing among various directions in basketball and volleyball athletes. *Journal of physical therapy science*. 2013;25(9):1109-13. doi: <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1109>
- 32 .Wang T, Zhao C, Guo Z. Comparative analysis of ankle injury kinematics and dynamics in basketball players: forefoot landing vs. rearfoot landing modes. *American Journal of Translational Research*. 2023;15(9):5843.
- 33 .Taylor JB, Ford KR, Nguyen A-D, Shultz SJ. Biomechanical comparison of single-and double-leg jump landings in the sagittal and frontal plane. *Orthopaedic journal of sports medicine*. 2016;4(6):2325967116655158. doi: <https://doi.org/10.1177/2325967116655158>
- 34 .Abbasi A, Sadeghi H, Khaleghi M, editors. Ground Reaction Forces attenuation in supinated and pronated foot during single leg drop-landing. *ISBS-Conference Proceedings Archive*; 2008.
- 35 .Hargrave MD, Carcia CR, Gansneder BM, Shultz SJ. Subtalar pronation does not influence impact forces or rate of loading during a single-leg landing. *Journal of athletic training*. 2003;38(1):18. PMID: PMC155506
- 36 .Piri H, Rajabi R, Minoonejad H, Tabatabai Ghomshe F, Abbasi H. The comparison of

- kinetic parameters between flexible flatfoot and normal foot football players during single leg drop-landing. *Studies in Sport Medicine*. 2017;9(22):67-80. doi: <https://doi.org/10.22089/smj.2018.1141>
37. Tomasiak E, Wychowański M, Kaczmarczyk K, Gajewski J. Kinetic analysis of gait in adults with asymptomatic flatfoot. *Acta of bioengineering and biomechanics*. 2022;24(1). doi: 10.37190/ABB-01966-2021-03
38. Xiao S, Zhang X, Deng L, Zhang S, Cui K, Fu W. Relationships between foot morphology and foot muscle strength in healthy adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(4):1274. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041274>
39. Saleh AG, Mohammed AH. Kinematic and Kinetic Analysis in Adult Subjects Suffering from Subble or Flexible Flat Foot Versus Normal. 2014.