

Review Paper



Biomechanics of Transitional Movements in Individuals with Pronated Feet: A Review Study

Leila Sabouri¹ , Ebrahim Piri¹ , *AmirAli Jafarnezhadgero¹

1. Department of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.



Citation: Sabouri L, Piri E, Jafarnezhadgero AA. Biomechanics of Transitional Movements in Individuals with Pronated Feet: A Review Study. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(3):270-287.
<https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.3.270>
 <https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.3.270>



Article Info:

Received: 13 May 2025

Accepted: 23 July 2025

Available Online: 24 July 2025

Keywords:

Balance, Flat feet, Walking, Electromyography, Gait, Orthotics

ABSTRACT

Objective A pronated foot is a chronic deformity characterized by the flattening of the medial longitudinal arch (MLA) and medial plantar abduction. Studies estimate that approximately 20% of the global population exhibits this condition. The aim of this review was to examine the biomechanics of transitional movements in individuals with pronated feet, focusing on the effects of orthotics and corrective exercises, as reported in previous studies.

Methods A literature search was conducted using keywords such as *walking, transitional movements, kinetics, kinematics, balance, pronated foot, and electromyographic muscle activity*, covering publications from 2010 to 2025. Articles in both Persian and English were retrieved from databases including SID, Magiran, Scopus, PubMed, JCR, Google Scholar, Springer, and Civilica. Of the 115 articles identified, 85 were excluded due to duplication or lack of relevance to the study topic, resulting in 30 articles being included in the review.

Results Studies have shown that the use of corrective orthoses in individuals with pronated feet reduces pronation angles, improves foot alignment during stance, and more evenly distributes plantar pressure during gait. Functional corrective exercises—including balance training, proprioceptive drills, and strengthening of the intrinsic foot muscles—have been found to enhance ankle and plantar motor control, reduce compensatory movements, and ultimately improve gait quality. These interventions often lead to longer stance phases, improved gait speed and rhythm, and a reduced risk of injury during walking.

Conclusion Corrective exercises combined with supportive devices appear to have beneficial effects on the biomechanical issues associated with pronated feet.

* Corresponding Author:

AmirAli Jafarnezhadgero

Address: Department of Sports Biomechanics, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Tel: +98 (910) 5146214

E-mail: amiralijafarnezhad@gmail.com

Extended Abstract

1. Introduction

Foot pronation is defined as a combined movement of forefoot abduction and dorsiflexion, serving as an adaptive mechanism at the subtalar and metatarsal joints to absorb impact forces during walking. Epidemiological studies suggest that approximately 20% of the global population has pronated feet (1). Hallmark features of foot pronation include a reduction in the medial longitudinal arch, which leads to adverse alterations in both static and dynamic foot loading parameters, as well as in overall gait biomechanics (2). Altered gait mechanics in individuals with foot pronation have been associated with a range of musculoskeletal injuries, including plantar fasciitis, medial tibial stress syndrome (shin splints), patellar maltracking, Achilles tendinopathy, lower limb stress fractures, patellofemoral pain syndrome, and lateral ankle sprains (3). The collapse of the medial longitudinal arch, combined with tibial internal rotation, often results in knee valgus, thereby increasing joint contact forces within the patellofemoral joint and contributing to patellofemoral pain and patellar tendinopathy (4). Moreover, research has shown that in individuals with flat feet, the diminished foot arch can cause chronic overstretching of the plantar fascia, leading to progressive damage. Conversely, those with high-arched feet may experience plantar fascia injuries due to inadequate shock absorption stemming from a reduced surface area of ground contact (5). Given these biomechanical implications, the present study aims to review the literature on the biomechanics of locomotive and transitional movements in individuals with pronated feet, with a focus on injury mechanisms and potential corrective strategies.

2. Methods

This systematic review was conducted to investigate the biomechanics of walking and transitional movements in individuals with pronated feet, focusing on studies published between 2010 and 2025 in order to capture the most recent scientific findings and therapeutic interventions. A comprehensive literature search was performed using a combination of relevant keywords, including Walking, Transitional Movements, Kinetics, Kinematics, Balance, Pronated Foot, and Electromyographic Activity of Muscles. The search covered both Persian- and English-language articles indexed in national and international databases such as SID, Magiran, Scopus, PubMed, JCR, Google Scholar, Springer, and Civilica. The inclusion criteria were as follows:

- (1) studies involving participants with pronated feet,
- (2) biomechanical assessments of walking, including kinetic and kinematic parameters, and
- (3) evaluations of balance and transitional movements.

Studies were excluded if they focused on other lower limb abnormalities or injuries, or if they compared pronated foot to other types of foot deformities.

3. Results

The findings indicated that out of a total of 115 article titles reviewed, 30 were relevant to kinetic and kinematic variables, balance, and electromyographic activity. Among these, 13 articles specifically addressed the kinetic and kinematic characteristics of individuals with pronated feet. Of these 13 studies, three were conducted on children, nine on adults, and one exclusively focused on adolescent girls. In terms of instrumentation, one study employed a pressure scanner, four used motion analysis systems, two utilized surface electromyography (sEMG), two applied Kistler force platforms, and one used a standard force plate. The remaining studies incorporated a combination of tools such as optical-electronic tracking systems, electromagnetic tracking systems (e.g., Liberty), the Foot Posture Index, and other electromagnetic systems. In the domain of balance assessment, eight studies were reviewed. Two of these utilized foot pressure scanners, one applied visual feedback through the Foot Pressure Index, and another combined ultrasound imaging with Tekscan pressure mapping. Additional tools included questionnaires, posturography systems, and force platforms. Notably, one study compared balance in individuals with pronated feet based on body weight, contrasting obese and normal-weight participants. The findings revealed that the reduction in arch height and plantar fascia thickness was more pronounced in the obese

group. As a result, significant differences were observed between the two groups in terms of ankle strength, plantar pressure distribution, and balance performance (32).

4. Discussion

Studies investigating the effects of orthotic intervention on gait mechanics have demonstrated that foot orthoses, when combined with therapeutic exercises, can positively influence the functional performance of individuals with pronated feet. These studies reported that orthotic use leads to a reduction in plantarflexion angles, an increase in dorsiflexion, and a decrease in step length in both feet (18, 29). Two studies specifically examined plantar pressure distribution and gait mechanics in individuals with pronated feet while walking on a treadmill at three different speeds. The findings revealed that increasing walking speed resulted in elevated pressure beneath the second and third metatarsal heads, whereas slower walking speeds were associated with reduced pressure under the forefoot. In addition, significant differences were observed in the EMG activity of the vastus medialis and abductor hallucis muscles. The integration of EMG and kinetic data highlights the interaction between lower limb muscle activity and ankle joint mechanics in individuals with pronated feet (27, 28). The observed increases in plantar pressure are likely directly related to elevated joint loading throughout the lower extremity. These biomechanical alterations may predispose individuals with foot pronation to a greater risk of musculoskeletal injuries, particularly during transitional movements. Based on the findings of this systematic review, it appears that altered gait biomechanics associated with foot pronation increase mechanical stress on lower limb joints, thereby elevating injury risk. Consequently, the implementation of corrective exercises aimed at restoring normal foot alignment and enhancing neuromuscular control may play a critical role in improving gait patterns and functional outcomes in this population.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

There were no ethical considerations to be addressed in this research.

Funding

This research did not receive any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

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

مقاله مروری

مروری بر تأثیر انواع ارتز و تمرینات اصلاحی بر بیومکانیک حرکات انتقالی در افراد دارای پای پرونیت

لیلا صبوری^۱، ابراهیم پیری^۱، *امیرعلی جعفرنژادگرو^۱

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Use your device to scan and read the article online

**Citation:** Sabouri L, Piri E, Jafarnezhadgero AA. Biomechanics of Transitional Movements in Individuals with Pronated Feet: A Review Study. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(3):270-287. <https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.3.270> <https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.11.3.270>

چکیده

هدف پای پرونیت، یک ناهنجاری مزمن در کف پا است که شامل کاهش قوس طولی داخلی و ابداعشن میانی کف پا است. مطالعات نشان داده‌اند ۲۰ درصد از جمعیت جهان دارای پای پرونیت هستند. هدف از این مطالعه مروری بر بیومکانیک حرکات انتقالی در نتیجه استفاده از ارتز و تمرینات اصلاحی در افراد دارای پای پرونیت براساس مطالعات پیشین بود.

روش‌ها جستجوی اطلاعات با توجه به کلیدواژه‌های راه‌رفتن، حرکات انتقالی، کینتیک، کینماتیک، تعادل، پای پرونیت، فعالیت الکترومایوگرافی عضلات بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ براساس مقالات منتشر شده به زبان‌های فارسی و لاتین از پایگاه‌های اطلاعاتی مانند JCR، Pubmed، Scopus، Magiran، SID، Google Scholar، Springer و سیویلیکا جمع‌آوری شدند. بر اساس کلیدواژه‌های مطالعه تعداد ۱۱۵ مقاله به دست آمد که از این بین تعداد ۸۵ مقاله به دلیل عدم مطابقت با عنوان مطالعه و تکراری بودن حذف گردید و تعداد ۳۰ مقاله وارد مطالعه گردید.

یافته‌ها بررسی مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از ارتزهای اصلاحی در افراد دارای پای پرونیت باعث کاهش زاویه پرونیشن، بهبود راستای پا هنگام استقرار روی زمین و توزیع متعادل‌تر فشار کف‌پایی در حین راه‌رفتن می‌شود. همچنین، تمرینات اصلاحی عملکردی از جمله تمرینات تعادلی، حس عمقی و تقویت عضلات داخلی پا، منجر به افزایش کنترل حرکتی میچ و کف‌پا، کاهش حرکات جبرانی و درنهایت بهبود کیفیت الگوی راه‌رفتن شده‌اند. این مداخلات اغلب باعث افزایش طول فاز اتکا، بهبود سرعت و ریتم گام‌برداری و کاهش خطر آسیب در طول راه‌رفتن می‌شوند.

نتیجه‌گیری به نظر می‌رسد که انجام تمرینات اصلاحی به همراه ابزارهای حمایتی اثرات مثبتی بر بهبود عارضه پرونیشن پا دارد.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۳ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۲ مرداد ۱۴۰۴

کلید واژه‌ها:

تعادل، کف پای صاف، راه‌رفتن، الکترومایوگرافی

*نویسنده مسئول:

امیرعلی جعفرنژادگرو

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

تلفن: ۵۱۴۶۲۱۴ (۹۱۰) ۹۸+

ایمیل: amiralijafarnezhad@gmail.com

مقدمه

پرونیشن پا به عنوان حرکت ترکیبی ابداعشن و دورسی فلکشن جلوی پا تعریف می شود که به عنوان حرکت تطبیقی در مفاصل ساب تالار و متاتارسال برای جذب شوک های ناشی از راه رفتن است. مطالعات نشان داده اند ۲۰ درصد از جمعیت جهان دارای پای پرونیته هستند (۱، ۲). از علائم پای پرونیته می توان به کاهش قوس طولی-داخلی پا اشاره کرد که باعث تغییرات نامطلوب در پارامترهای بارگذاری پا (استاتیک_دینامیک) و بیومکانیک راه رفتن می شود (۳). با توجه به مکانیک متفاوت راه رفتن در افراد دارای پرونیشن پا آسیب های همچون التهاب کف پا، اسپلینت ساق پا، مشکلات دررفتگی کشکک رانی، التهاب تاندون آشیل شکستگی های فشاری اندام تحتانی، صدمات درد کشکی رانی و پیچ خوردگی مچ پا گزارش شده است (۴). افت قوس های طولی-داخلی و چرخش داخلی درشتنی باعث ایجاد والگوس زانو می شود که متعاقب آن نیروی تماس مفصل کشکک رانی افزایش می یابد و می تواند منجر به درد در مفاصل پاتلوفمورال و تاندیوپاتی کشکک گردد (۵). گزارش شده است، در بیمارانی که کف پای صاف دارند، کاهش ارتفاع قوس کف پا ممکن است باعث کشیدگی طولانی مدت فاشیای پلانتار شود و به آن آسیب بیشتری وارد کند. از طرف دیگر، در بیمارانی که قوس کف پای آن ها ارتفاع زیادی دارد، فاشیای پلانتار ممکن است به دلیل جذب ضعیف شوک ناشی از کاهش سطح تماس با زمین آسیب ببیند (۶). از طرفی نشان داده شده است که انحراف بیش از حد پای پرونیته در طول چرخه راه رفتن با چرخش داخلی بیش از حد استخوان درشتنی همراه است (۷). همچنین، گزارش شده است پرونیشن پا ممکن است با افزایش چرخش داخلی ران همراه باشد که می تواند بازوی اهرمی ابداعشن های ران را تغییر دهد و زاویه Q را در زانو افزایش داده و باعث افزایش فشار بر بخش جانبی مفاصل پاتلوفمورال شود (۸).

در افراد دارای پای پرونیته، دامنه فعالیت الکتریکی عضلات در مراحل میانه اتکای راه رفتن به منظور کنترل ساب تالار و مفاصل تارسال عرضی افزایش می یابد و در برابر مسطح شدن بیشتر مقاومت می کنند (۹). همچنین قدرت ایزومتریک ابداعتورهای لگن و چرخاننده های خارجی و عضلات چهارسر ران در افراد مبتلا به صافی کف پا به طور معنی داری کاهش می یابد (۱۰). علاوه بر این کاهش قابل توجهی در قدرت کانستریک ایزوکینتیک فلکسورها، اکستنسورها و چرخاننده های خارجی لگن در افراد دارای پای پرونیته مشاهده شده است (۱۱). تحقیقات گزارش کرده اند که فعالیت اکستریک عضله تیبیالیس قدامی ناشی از ضربه پاشنه تا ۲۵ درصد طی فاز اتکا افزایش یافته و عضله تیبیالیس خلفی به طور غیرعادی برای تثبیت قوس طولی-داخلی منقبض می شود (۹). به علاوه در افراد مبتلا به پرونیشن بیش از حد پا، توزیع نیروهای وارده هنگام راه رفتن به صورت نامتعادل بوده و فشار بیشتری بر ناحیه پاشنه و همچنین مفاصل متاتارسال دوم و سوم وارد می شود (۱۲). همچنین، گزارش شده است که در افراد دارای پای پرونیته حین راه رفتن، پرونیشن بیش از حد پا می تواند منجر به افزایش فشار در قسمت میانی پا، افزایش فشار روی هالکوس و انگشتان دوم تا پنجم و سر متاتارس دوم شود (۱۳). به علاوه، گزارش شده است بین قوس طولی میانی و تعادل رابطه مستقیم وجود دارد. عدم تعادل در افراد دارای پای پرونیته ناشی از غیرطبیعی بودن پرونیشن ساب تالار در طی مرحله هل دادن است (۱۴). همچنین، پرونیشن غیرطبیعی پا ممکن است باعث بی ثباتی مفاصل مچ پا شود (۱۵).

تلاش های عمده ای برای اصلاح پرونیشن پا با استفاده از مداخلات مرسوم، از قبیل ارتزها، بریس ها، تمرینات مچ پا، کفش های طبی و تمرینات اصلاحی که مستقیماً پا را هدف قرار می دهند، برای تقویت عضلات ناحیه اندام تحتانی و بهبود متغیرهای بیومکانیکی انجام شده است (۱۶، ۱۷). نشان داده شده است که عملکرد دپیدن با ارتز جاذب شوک کاهش می یابد و همچنین، ارتزها از نظر

عملکردی، می‌توانند به بهبود جهت و عملکرد قوس پا در حین راه رفتن کمک کنند (۱۸). در این بین لی^۱ و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهش خود مبنی بر بررسی تأثیر ارتز در کودکان دارای پای پرونیت نشان دادند که پارامترهای رادیولوژیکی پا در کودکان بزرگتر با پای پرونیت انعطاف‌پذیر پس از مداخله ارتز پا در مقایسه با گروه کنترل، به‌ویژه در زاویه متاتارس اول تالار خارجی، زاویه پاشنه خارجی و زاویه گام پاشنه، به‌طور قابل‌توجهی بهبود یافت (۱۹). علاوه بر این، ارتزهای پا به‌طور قابل‌توجهی زاویه چرخش داخلی مچ پا را بهبود بخشیده و درد پا را در کودکان مبتلا به کف پای صاف انعطاف‌پذیر علامت‌دار کاهش داد (۱۹). ریووز^۲ و همکاران (۲۰۲۱) نیز در زمینه تأثیر ارتز بر برای افراد مبتلا به پای پرونیت نشان دادند، دامنه فعالیت الکترومایوگرافی عضله تیبیالیس خلفی و گشتاور اورژن خارجی مچ پا با ارتزهایی که شامل گوه داخلی هستند به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (۱۷).

رابطه‌ی قوی بین استقامت و قدرت عضلات اندام تحتانی و توسعه‌ی قوس‌های پا وجود دارد. مطالعه‌ای نشان داد که درصد قوس‌های طبیعی و زیاد پا با افزایش سطح فعالیت بدنی و آمادگی جسمانی افزایش می‌یابد؛ بنابراین، باید بر مزیت استفاده از یک برنامه‌ی ورزشی مناسب که بخشی از این برنامه‌ی توان‌بخشی نیز هست، تأکید شود (۲۰). محققان زیادی نیز تأثیر تمرینات اصلاحی را روی پای پرونیت بررسی کرده و تغییراتی را در پا مشاهده کرده‌اند. به‌عنوان مثال، گو^۳ و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که تقویت عضله سرنی بزرگ به بهبود پای پرونیت کمک می‌کند (۲۱). همچنین، کاظمی پاکدل و همکاران (۲۰۲۲) نیز تمرینات اصلاحی جامع را بر عملکرد و حس موقعیت مفصل با پای پرونیشن بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پای پرونیت در نتیجه این تمرینات بهبود می‌یابد (۲۲). با توجه به موارد ذکر شده، تحقیقات در مورد تأثیر پای پرونیت بر راه رفتن می‌تواند بینش‌هایی را در مورد نحوه کاهش این مشکلات از طریق وسایل ارتوتیک، تمرینات یا سایر اقدامات درمانی ارائه دهد. همچنین، درک ارتباط بین پای پرونیت و عواقب آن بر تحرک می‌تواند به متخصصان مراقبت‌های بهداشتی در تدوین برنامه‌های مراقبتی بهتر و متناسب با نیازهای فردی کمک کند. با این اوصاف این مطالعه مروری بهترین شواهد موجود را خلاصه می‌کند که توسط آن متخصصان فیزیوتراپی می‌توانند با رویکردهای مناسب درصد درمان مؤثرتر این عارضه باشند. از این‌رو هدف از این مطالعه حاضر مروری تأثیر انواع ارتز و تمرینات اصلاحی بر بیومکانیک حرکات انتقالی در افراد دارای پای پرونیت بود.

روش شناسی

این مطالعه مروری سیستماتیک به‌منظور بررسی بیومکانیک راه رفتن و حرکات انتقالی در افراد دارای پای پرونیت از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ انجام گرفت تا آخرین یافته‌های علمی و روش‌های درمانی مد نظر قرار گیرند. برای جستجوی منابع از ترکیبی از کلیدواژه‌های راه رفتن، حرکات انتقالی، کینتیک، کینماتیک، تعادل، پای پرونیت، فعالیت الکترومایوگرافی عضلات بر اساس مقالات منتشر شده به زبان‌های فارسی و لاتین از سایت‌های داخلی و خارجی مانند: پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی، مگ ایران، اسکاپوس، پاب مد، جی سی آر، گوگل اسکالر، اسپرینگر و سیویلیکا استفاده شد.

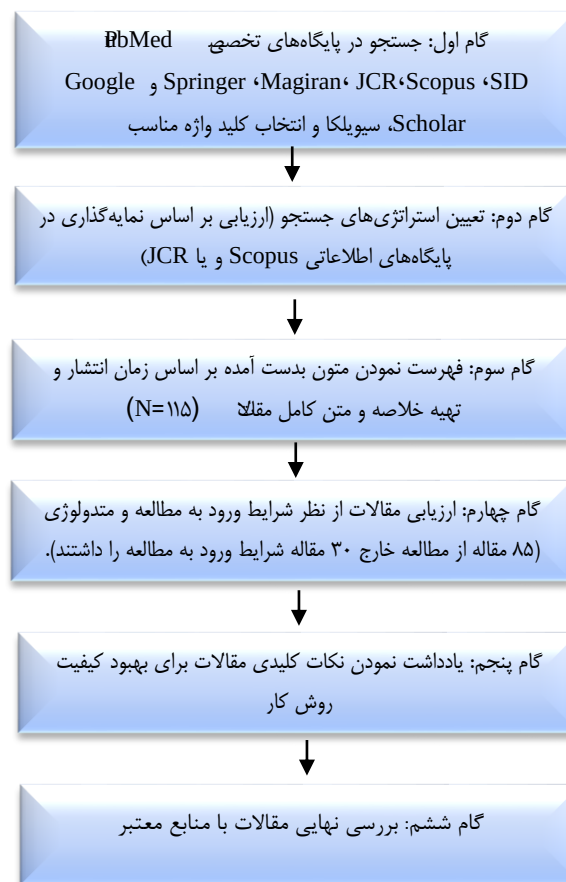
معیارهای ورود به مطالعه شامل وجود عارضه پای پرونیت، ارزیابی‌های کینتیکی و کینماتیکی حین راه رفتن، ارزیابی تعادل و حرکات انتقالی بود. مطالعاتی که به سایر ناهنجاری‌ها و آسیب‌های اندام تحتانی و مقایسه پای پرونیت با سایر ناهنجاری‌ها پرداخته بودند از

1. Lie
2. Reeves
3. Goo

مطالعه حذف شدند. مقالات انتخاب شده بر اساس متغیر مورد مطالعه در **جدول ۱ تا ۳**، طبقه‌بندی گردیدند. تعداد ۱۱۵ عنوان مقاله جستجو شده بر اساس کلیدواژه تعداد ۸۵ عنوان مقاله به دلیل عدم مطابقت با عنوان مطالعه و یا شرط پذیرش حذف گردید و تعداد ۳۰ مقاله وارد مطالعه گردید. فرآیند مذکور در **شکل ۱** نشان داده شده است.

نتایج

یافته‌ها نشان داد که از مجموع ۱۱۵ عنوان مقاله ۳۰ مقاله در زمینه متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی، تعادل و فعالیت الکترومایوگرافی بود. مجموع مقالات در زمینه بررسی متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی افراد دارای پای پرونیت ۱۳ عنوان مقاله بود. تعداد ۳ عنوان مقاله در رده‌ی سنی کودکان، ۹ عنوان مقاله در رده سنی بزرگسالان و تنها یک مقاله روی کودکان دختر بود. در زمینه استفاده از تجهیزات و دستگاه‌های اندازه‌گیری تعداد یک مقاله از اسکنر فشاری، ۴ مقاله از دستگاه آنالیز حرکت، ۲ مقاله از دستگاه الکترومیوگرام سطحی، ۲ مقاله از فورس پلتفرم کیستلر و یک مقاله از فورس پلیت و بقیه مطالعات به‌صورت تکی و ترکیبی از تجهیزاتی مانند سیستم نوری الکتریکی سیستم ردیابی الکترومغناطیسی لیبرتی و شاخص استاهلی پا و سیستم الکترومغناطیسی لیبرتی استفاده کرده بودند.



شکل ۱. نحوه جستجو و انتخاب مقالات

جدول ۱. مطالعات انجام شده در حوزه کینتیک و کینماتیک

نویسنده/سال	هدف	حجم نمونه	ابزارهای اندازه‌گیری	پروتکل ارزیابی	نتیجه
زانگ و همکاران، (۲۳)	تعیین اثرات ارتزهای پا با اجزای گوه و قوس جلویی پا بر مرکز فشار، در حین دویدن در افراد دارای پای پرونیت	۱۵ فرد (۷ زن، ۸ مرد دونه) دارای پای پرونیت	صفحه نیرو، کفش کنترل، ارتز پا	۱۰ کیلومتر دویدن در هفته با استفاده از کفش کنترل و ارتز	هنگام استفاده از ارتز با گوه جلویی، مسیر COP در حین دویدن به‌صورت جانبی تغییر کرد. گوه میانی جلوی پا مرکز فشار را در طول فاز انعطاف جلوی پا و نیمه اول فاز بارگذاری خارج شدن جلوی پا به‌صورت جانبی جابه‌جا کرد. ارتزهای پا با گوه میانی جلوی پا ۴ میلی‌متری و مرکز فشار را به میزان $4/5 \pm 3/3$ میلی‌متر در جهت جانبی نسبت به شاهد تغییر می‌دهند.
مارو و همکاران، (۲۴)	بررسی تفاوت‌های کینماتیکی راهرفتن در افراد دارای پای پرونیت در تمام بخش‌های اندام تحتانی	۱۵ فرد دارای پای پرونیت	سیستم آنالیز حرکت ده دوربین سه‌بعدی	راهرفتن با پای‌برهنه در مسیر هشت متری با سرعت انتخابی	تفاوت‌های کینماتیکی برای دورسی‌فلکشن مفصل مچ پا، ابداکشن و چرخش داخلی و خارجی و پیک‌های فلکشن، اکستنشن، ابداکشن و چرخش خارجی معنی‌دار است. همچنین تفاوت معنی‌داری بین مقادیر فلکشن، اکستنشن، چرخش خارجی و چرخش لگن مشاهده شد.
غلافه و همکاران، (۲۵)	بررسی تأثیر ارتزهای پا بر الگوی راهرفتن افراد با و بدون پای پرونیت مبتلا به سندرم داون	۲۹ نفر دارای پای پرونیت	سیستم نوری الکترونیکی دستگاه ضبط ویدیو	راهرفتن با پای‌برهنه، با کفش و کفی در سه آزمایش	تغییرات قابل‌توجهی در شاخص پیشرفت پا، نشان‌گر چرخش پا در طول راهرفتن تنها در نوجوانان یافت شد.
رادون و همکاران، (۲۶)	آیا پوشیدن ارتز برای مدت طولانی ممکن است متغیرهای راهرفتن را در کودکان با دارای پای پرونیت انعطاف‌پذیر تغییر دهد؟	۳۰ کودک زن (۹ تا ۱۳ ساله) با کف پای صاف انعطاف‌پذیر دوطرفه	صفحه نیرو، سیستم آنالیز حرکت سه‌بعدی	استفاده از کفی ۶ ساعت در روز به مدت ۱۲ ماه	کاهش قابل‌توجهی از نظر انحراف پا و جلوی پا، ابداکشن زانو، فلکشن لگن و اوج گشتاورها پس از ۶ ماه پوشیدن ارتز حاصل شد. افزایش در دورسی‌فلکشن مچ پا و لحظات اوج اداکشن جلوی پا مشاهده شد؛ و کاهش قابل‌توجهی در پلاتنار فلکشن و وارونگی پا، فلکشن زانو، اکستنشن و چرخش داخلی و هیپ و امتداد و گشتاور چرخش داخلی به دست آمد. ارتز پا به‌طور قابل‌توجهی، اوج انحراف مچ پا و لحظه انحراف مچ پا را کاهش داد.
پنگ و همکاران، (۲۷)	بررسی تأثیر کفی با شیب داخلی بر مکانیک راهرفتن افراد بزرگسال	۵۰ فرد دارای کف پای صاف در دو گروه استفاده از ارتز هنگام راهرفتن و کفش	سیستم آنالیز حرکت	راهرفتن با کفش و ارتز، راهرفتن با کفش	
علوی‌مهر و همکاران، (۲۸)	بررسی اثر حاد ارتز پا بر دامنه فرکانس نیروهای عکس-العمل زمین در کودکان مبتلا به صافی کف پا در مرحله ایستادن راهرفتن	۱۵ کودک پسر دارای کف پای صاف	صفحه نیروی کیستلر	استفاده از ارتزهای حمایت‌کننده قوس پا به‌عنوان مداخله	برای هر دو اندام، دامنه اجزای سه‌بعدی نیروی واکنش زمین در حین راهرفتن با ارتز پا کمتر از مواردی بود که بدون ارتز پا به دست آمد. برای هر دو اندام غالب و غیر غالب، تعداد اساسی هارمونیک‌ها در سه جهت در حین راهرفتن با و بدون ارتز پا مشابه بود.
فرهیور و همکاران، (۲۹)	بررسی تأثیر خستگی بر کینتیک مفصل زانو در افراد دارای پای پرونیت	۱۰ فرد دارای پای پرونیت	فورس پلیت، سیستم آنالیز حرکت دوربینی	پای‌برهنه راهرفتن با سرعت انتخابی در ۵ آزمایش	ابداکشن زانو در گروه مبتلا به‌طور معنی‌داری ۳۲ درصد بیشتر بود. فلکشن و چرخش زانو تفاوت معنی‌داری نداشت. تفاوت معنی‌داری در دامنه حرکت زانو در صفحه ساجیتال و افقی قبل و بعد از پروتکل خستگی وجود نداشت اما در صفحه فرونتال در پس‌آزمون بیشتر بود.
کیم، (۳۰)	تعیین تفاوت فشار پا بین کف پای صاف و نرمال در سرعت‌های مختلف راهرفتن در شیب عمودی	۱۵ نفر دارای پای پرونیت	دستگاه آنالیز فشار پا، تردمیل	راهرفتن با شیب ۱۰ درصد و سرعت‌های راهرفتن آهسته، نرمال و سریع با استفاده از تردمیل	فشار کف پای افراد دارای پای پرونیت با افزایش سرعت راهرفتن در ناحیه متاتارسال ۲ تا ۳، کاهش سرعت راهرفتن در نواحی انگشت اول و کف پای اول
کیم و لی، (۳۱)	بررسی تفاوت بین پای پرونیت و نرمال در شیب	۱۵ فرد دارای پای پرونیت	الکترومیوگرام سطحی، تردمیل	راهرفتن با استفاده از تردمیل در سه سرعت	تفاوت معنی‌دار در عضلات واستوس مدیالیس و ابداکتور هالوسیس وجود داشت.

صعودی با استفاده از الکترومایوگرافی	آهسته، عادی و سریع در شیب صعودی	دوربین MX_F40، Force Plate Nexus Soft	راه رفتن با سرعت انتخاب در سه مرحله	زمان گام هر دو پا هنگام استفاده از ارتز پا کاهش یافت. طول گام در هر دو طرف افزایش پیدا نکرد.
کیو چول سو و همکاران، (۳۲)	بررسی اثرات ارتز پا بر توانایی راه رفتن افراد دارای پای پرونیت	۲۰ فرد دارای پای پرونیت	۸۰ کودک ۵-۱۵ دارای پای پرونیت یک مدرسه	یافتن شیوع پای پرونیت در کودکان ۵-۱۵ ساله و مقایسه والگوس کفی روی درد، پارامترهای راه رفتن و شاخص هزینه فیزیولوژیکی در کودکان دارای پای پرونیت
اسفانکار و همکاران (۳۳)	یافتن شیوع پای پرونیت در کودکان ۵-۱۵ ساله و مقایسه والگوس کفی روی درد، پارامترهای راه رفتن و شاخص هزینه فیزیولوژیکی در کودکان دارای پای پرونیت	۲۰ کودک با پای پرونیت	توصیف و مقایسه کینماتیک اندام تحتانی بین کودکان با قوس کف پا نرمال و کودکان با کف پای صاف انعطاف پذیر	کیم و همکاران، (۳۴)
توصیف و مقایسه کینماتیک اندام تحتانی بین کودکان با قوس کف پا نرمال و کودکان با کف پای صاف انعطاف پذیر	سیستم الکترومغناطیسی لیبرتی	فلکشن، کشش هیپ و ابداکشن اداکشن هیپ سه تکرار، ۱۰ بار راه رفتن به عقب و جلو در مسیر پیاده روی معین شده	الگوهای حرکتی در مفاصل ران، زانو و مچ پا در بین کودکان دارای پای پرونیت و سالم مشابه بود.	چن و همکاران (۳۵)
بررسی تجربی برای ارزیابی اثرات ارتز بر الگوهای راه رفتن بیماران دارای پای پرونیت	سیستم حرکت، صفحه نیروی کیستلر	تحلیل پای برهنه، با کشش و کفی	سه شرایط راه رفتن، با دورسی فلکشن مچ پا و کاهش زاویه اوج پلانتر فلکشن مچ پا شد.	

تعادل

در زمینه تعادل تعداد ۸ عنوان مقاله مورد بررسی قرار گرفت. در این حوزه دو مقاله از اسکندر فشار کف پا، یک مقاله از بازخورد بصری فوت پاسچر ایندکس؛ یک مقاله هم زمان از دستگاه سونوگرافی و ابزار نقشه برداری فشار؛ پرسش نامه، پوسچروگرافی و یک مطالعه از دستگاه صفحه نیرو استفاده کرده بودند.

عضلات

در زمینه فعالیت الکترومایوگرافی عضلات تعداد ۹ عنوان مقاله به دست آمد که تعداد شش مقاله بر روی جنسیت مرد، دو مقاله بر روی کودکان و تنها یک مقاله بر روی جنسیت بانوان بود. ۴ مقاله از دستگاه الکترومایوگرافی سطحی، یک مطالعه از دستگاه بیوویژن، تعداد سه مقاله از صفحه نیرو و یک مقاله به صورت هم زمان از دستگاه الکترومایوگرافی سطحی، صفحه نیرو و سیستم تحلیل حرکتی مدل وایکن استفاده کرده بودند. مطالعات در زمینه اندازه گیری فعالیت الکتریکی عضلات ساقی قدامی، نازکنئی بلند، دوقلو داخلی و نعلی با استفاده از الکترومایوگرافی سطحی طی راه رفتن با پای برهنه در مسیر ۱۵ متری نشان داد که افراد دارای کف پای صاف هم انقباضی بیشتری را در فازهای میانی و هل دادن داشتند (۴۴). عضله درشت نئی قدامی طی راه رفتن در سرعت های متفاوت در گروه پای پرونیت فعالیت بیشتری نسبت به گروه سالم داشت در حالی که عضله دوقلوی داخلی فعالیت بیشتری را در گروه سالم نشان داد (۴۵). به علاوه تفاوت معنی داری در راستای داخلی-خارجی نیروی عکس العمل زمین بین دو گروه نرمال و پای پرونیت طی

1. Foot pressure index
2. Tekscan

دویدن مشاهده شد و فعالیت عضلات ساقی قدامی و نازک‌نی طولیل طی دویدن بین دو گروه سالم و پای پرونیت تفاوت معنی‌داری داشت (۴۶). همچنین افراد دارای پای پرونیت فعالیت الکترومایوگرافی بالاتری را در عضلات نازک‌نی بلند و درشت‌نی قدامی در موقعیت‌های ایستادن تک پا، چشم بسته و سر رو به بالا در دو گروه کنترل و پای پرونیت داشتند (۴۷).

جدول ۲. مطالعات انجام شده در حوزه تعادل

نویسنده/سال	هدف	حجم نمونه	ابزارهای اندازه‌گیری	پروتکل ارزیابی	نتیجه
مستغنی و همکاران، (۳۶)	بررسی تأثیر یک برنامه تمرینی تخصصی کاراته اصلاحی بر صافی کف پا و شاخص‌های کف پا در کاراته کاران	۱۰ فرد دارای پای پرونیت	دستگاه اسکن پا	انجام تمرینات تخصصی کاراته به مدت هشت هفته و هر هفته سه جلسه	بهبود میزان کف پا در آزمایش پس از اعمال تمرینات اصلاحی، فشار کف پای بیشتر در گروه آزمایش که پس از تمرینات اصلاحی بهبود یافت
مون و همکاران، (۳۷)	مقایسه اثرات تکی در مقابل ترکیبی درمان دستی اسکلتی-عضلانی با تمرینات انعطاف و مقاومتی بر ثبات وضعیتی در شرکت‌کنندگان با کف پای صاف	۳۲ فرد (۱۴ مرد- ۱۸ زن) دارای پای پرونیت	صفحه نیرو، کامپیوتر شخصی با استفاده از نرم‌افزار swaywin	انجام ۱۸ جلسه برنامه درمان دستی اسکلتی-عضلانی را سه بار در هفته به مدت ۶ هفته	تعادل ایستا و پویا در گروه درمان دستی اسکلتی-عضلانی همراه با تمرینات انعطاف و مقاومتی در مقابل با گروه درمان دستی اسکلتی-عضلانی به‌تنهایی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت.
لی و همکاران، (۳۸)	بررسی تأثیر تعادل گشتاوری ستاره‌ای در تعادل پویا کف پای صاف انعطاف‌پذیر	۳۴ فرد (۵ مرد- ۲۹ زن) دارای پای پرونیت	سیستم پزشکی مدل e.BIODEX	گروه A دریافت تمرینات تعادل در ۴ هفته، گروه B دریافت تمرینات کوتاه پا به مدت ۴ هفته	آزمون t زوجی برای گروه A تفاوت معنی‌داری در سطح پایداری تعادل دینامیکی ۶ و ۴ وجود داشت.
جو سون کیم و همکاران، (۳۹)	بررسی اثرات تقویتی و انعطاف‌پذیر بر تعادل ایستا و عملکرد مفاصل پروگزیمال افراد دارای پای پرونیت	۱۵ نفر (۸ مرد- ۷ زن) دارای پای پرونیت	بازخورد بصری	انجام برنامه‌های تقویتی و انعطاف-پذیر به مدت ۲۰ دقیقه در روز و ۵ بار در هفته در مجموع ۵ هفته و ارزیابی تعادل ایستا قبل و بعد از تمرینات	تفاوت معنی‌دار در تعادل ایستا قبل و بعد از تمرینات وجود داشت.
پیسال و همکاران، (۴۰)	بررسی تأثیر دو نوع مختلف تمرینات جمع‌کردن حوله و تمرینات کوتاه پا عضلات داخلی پا بر تعادل پویا	۶۰ کودک دارای پای پرونیت	پرسش‌نامه درد، پوسچروگرافی	ارزیابی توانایی تعادل افراد دارای پای پرونیت یک و سه ماه قبل و بعد از استفاده از ترتهای پا	افزایش تعادل پویا در هر دو سمت راست و چپ جهت‌های قدامی، خلفی و میانی وجود داشت.
وان و همکاران، (۴۱)	بررسی سه وضعیت (پابرنه، کینزبوتیپ و نوار دینامیک) و مقایسه تأثیر آن‌ها بر تعادل ایستا و پویا در افراد مبتلا به صافی کف پای انعطاف‌پذیر بدون علامت	۲۲ فرد (۹ زن و ۱۳ مرد) دارای کف پای صاف انعطاف‌پذیر	صفحه اندازه‌گیری فشار سیستم مدل FDM-2	تست ایستادن ۳۰ ثانیه‌ای برای اندازه‌گیری cop و یک تست راه رفتن برای اندازه‌گیری تغییرپذیری قدامی و خلفی	تفاوت معنی‌داری در طول مسیر مرکز فشار در طول ایستادن در سه حالت وجود نداشت. تغییرات قدامی، خلفی و جانبی حین راه رفتن به‌طور قابل‌توجه با استفاده از نوار پویا در مقایسه با پای‌برهنه مشاهده شد.
کوادریان، (۴۲)	بررسی تأثیر ۱۲ هفته طناب زنی بر کنترل پاسچر، تعادل ایستا و پویا کودکان دارای پای پرونیت	۱۵ کودک ۱۰-۱۳ دارای پای پرونیت	اسکنر کف پا، دستگاه پدسکوپ، شاخص استاهلی پا	طناب زنی به مدت ۱۲ هفته هر هفته ۳ جلسه ۴۵ دقیقه‌ای	افراد دارای کف پای پرونیت پس از ۱۲ هفته تمرین افزایش معنی‌داری را در فشار کف پا داشتند.
لی و همکاران، (۴۳)	بررسی تأثیر ارتزهای کف پای سفارشی بر درد و تعادل پا در کودکان مبتلا به کف پای صاف انعطاف‌پذیر علامت‌دار ۱ ماه و ۳ ماه پس از ارتز پای فیتینگ	۲۴ کودک دارای کف پای صاف	ارتز پا، پرسش‌نامه درد، پوسچروگرافی کامپیوتری	شش ماه استفاده از ارتزهای پا ارزیابی قبل از ارتزهای سفارشی، ۱ و ۳ ماه بعد از ارتزهای سفارشی	بهبود قابل‌توجهی در درجه و فرکانس درد پس از ۱ و ۳ ماه استفاده از ارتزهای پا در کودکان دارای کف پای صاف مشاهده شد. بهبود قابل‌توجهی در تعادل پس از سه ماه استفاده از ارتز به‌صورت سفارشی مشاهده شد.

جدول ۳. مطالعات انجام شده در حوزه فعالیت الکترومایوگرافی عضلات

نویسنده/سال	هدف	حجم نمونه	ابزارهای اندازه گیری	پروتکل ارزیابی	نتیجه
واحد و همکاران، (۴۸)	شناسایی تفاوت فعالیت عضلات در افراد با کف پای صاف در مقایسه با افراد دارای قوس پای طبیعی در حین راه رفتن	۳۰ نفر دارای افت قوس کف پا	الکترودهای یکبار مصرف	راه رفتن با سرعت (۳، ۴، ۵ و ۶، ۷ کیلومتر در ساعت) و شیب ۰٪، ۳٪، ۶٪ و ۹٪ روی تردمیل و اندازه گیری الکترومایوگرافی عضله گاستروکمیوس داخلی و پروئوس لونگوس حین راه رفتن روی تردمیل	افزایش سرعت منجر به تفاوت قابل توجهی در فعالیت الکترومایوگرافی عضلات گلتئوس مدیوس و پروئوس بلند در دو گروه شد. افزایش شیب تردمیل نیز تفاوت معنی داری را در میزان فعالیت الکترومایوگرافی در دو گروه برای عضله گلتئوس مدیوس و پروئوس بلند نشان داد.
ولیزاده و همکاران، (۴۹)	بررسی تأثیر کفش های کنترل حرکت بر انقباض مفصل زانو در افراد مبتلا به پای پرونیته دارای اضافه وزن	۱۵ زن دارای افت ناویکولار بیش ۱۰ میلی متر	الکترومایوگرافی سطحی	دویدن با کفش های کنترلی (کنترل سوپرنوا، آدیداس) و کنترل حرکتی (سوپرنوکوشن، آدیداس)	در مرحله بارگذاری، انقباض جهت دار هنگام استفاده از کفش های کنترل حرکتی بیشتر از کفش های کنترل بود.
جعفرنژادگرو و همکاران، (۵۰)	ارزیابی تفاوت در محتوای فرکانس نیروی عکس العمل زمین بین کودکان با و بدون کف پای صاف و بررسی تغییر در محتوای فرکانس نیروی عکس العمل زمین در اثر استفاده طولانی مدت از ارتهای پا در کودکان مبتلا به پای پرونیته	پسران دارای کف پای صاف	صفحه کیستلر	استفاده از ارتز سفارشی با کفش های منحصر به فرد به مدت ۴ ماه	گروه کف پای صاف نشان دهنده یک فاصله اطمینان فرکانس نیروی عمودی عکس العمل زمین کمتر و دامنه عمودی هارمونیک بیشتر برای اندام غیر غالب بود.
جعفرنژادگرو و همکاران، (۵۱)	بررسی اثرات طولانی مدت دویدن روی شن بر فعالیت عضلات منتخب اندام تحتانی در افراد مبتلا به پرونیته بیش از حد پا در مقایسه با افراد سالم	۶۰ دهنده مرد با پای پرونیته	سیستم الکترومایوگرافی دوقطبی	دویدن با پای برهنه با سرعت از پیش تعیین شده (۳،۳ متر بر ثانیه) بر روی زمین ثابت هموار قبل و بعد از تمرین طولانی مدت روی شن	کاهش شاخص پوسچر پا و فعالیت گلوئوس مدیوس در طول مرحله ایستادن میانی
جعفرنژادگرو و همکاران، (۵۲)	ارزیابی اثرات استفاده طولانی مدت از ارتهای قوس پا بر شاخص های عدم تقارن نیروهای واکنش زمین در حین راه رفتن در کودکان پسر با کف پای صاف انعطاف پذیر	۱۵ کودک مبتلا به کف پای صاف انعطاف پذیر	صفحه نیرو و سیستم آنالیز حرکتی	استفاده از ارتهای پا به مدت چهار ماه	استفاده طولانی مدت از ارتهای پا هیچ اثر قابل توجهی بر بهبود شاخص عدم تقارن این مؤلفه ها نشان نداد. با این حال، پوشیدن طولانی مدت از ارتهای پا باعث کاهش شاخص عدم تقارن اوج دامنه گشتاور آزاد مثبت می شود.
یو و همکاران، (۵۳)	مقایسه فعالیت عضلات اندام تحتانی در بزرگسالان با کف پای صاف با	۱۶ فرد دارای کف پای صاف	الکترومایوگرافی سطحی	مداخله به مدت ۶ هفته و دو بار در هفته	در نتیجه اندازه گیری فعالیت عضلانی، در گروه نوار گذاری فعالیت عضلات قبل و بعد از آزمایش در تمام عضلات به طور معنی داری کاهش یافت. در گروه تمرینات تقویت کننده عضلات داخلی پا، فقط فعالیت عضله تیبیالیس قدامی قبل و بعد از آزمایش به طور معنی داری کاهش یافت.
چوو و همکاران، (۵۴)	بررسی تغییرات نسبت سطح مقطع اینورتورها و اورتورهای میج پا به دنبال استفاده از ارتز سفت و سخت (RFO) در کودکان مبتلا به کف پای منعطف	۲۴ کودک فرد دارای کف پای صاف	رادیوگرافی، ارتز پا، سونوگرافی	عملکرد پا (FFI) ۱۲ ماه پس از اعمال ارتز سخت پا.	پس از اعمال ارتز سخت، افزایش قابل توجهی در نسبت پروئوس بلند و استقرار پاشنه و کاهش قابل توجهی در زاویه وضعیت ایستادن پاشنه در حالت استراحت، کل شاخص عملکرد پا، درد و نمرات ناتوانی مشاهده شد.

کیم و همکاران، (۵۵)	بررسی فعالیت عضلات انتخابی ابداکتور (AbH) در حین اسکات تک پا (SMS) در افراد دارای کف پای صاف و افراد سالم	۲۳ فرد (۱۱ زن)	الکترومایوگرافی	اسکات تک پا	نسبت عضلات انتخابی ابداکتور در افراد با کف پای صاف، به طور قابل توجهی کمتر از افراد با کف پای نرمال بود
هیمین و همکاران، (۵۶)	تأثیر تمرینات کوتاه پا در موقعیت‌های مختلف مچ پا بر زاویه قوس طولی داخلی	۱۲ فرد دارای کف پای صاف	الکترو دسکریپشن	آزمودنی‌ها تمرینات کوتاه پا را در حالی که در سه وضعیت مختلف مچ پا نشسته بودند انجام دادند: خنثی، دورسی فلکشن در ۳۰ درجه و خم شدن کف پا در ۳۰ درجه	دامنه فعالیت الکتریکی عضلات در وضعیت خنثی و دورسی فلکشن به طور قابل توجهی بیشتر از خم شدن کف پا بود. زاویه قوس طولی داخلی در هر دو گروه به طور معنی داری طی فلکشن مچ پا کاهش یافت.

بحث

هدف از مطالعه حاضر، مروری بر تأثیر انواع ارتز و تمرینات اصلاحی بر بیومکانیک حرکات انتقالی در افراد دارای پای پرونیت بود. براساس مطالعات سیستماتیک انجام شده، بر روی متغیرهای مکانیکی راه رفتن، تعادل و فعالیت الکترومایوگرافی عضلات، اطلاعات به دست آمده دارای نتایج مثبتی بر بهبود پای پرونیت بود. مطالعاتی که اثر ارتز را در ارزیابی متغیرهای بیومکانیکی راه رفتن استفاده کرده بودند، نشان دادند که ارتزهای پا در کنار مداخلات درمانی می‌تواند تأثیرات مثبتی در بهبود عملکرد افراد مبتلا به پای پرونیت داشته باشد. در این مطالعات مشاهده شد که استفاده از ارتز باعث کاهش زاویه پلانتر فلکشن و افزایش دورسی فلکشن و همچنین کاهش زمان طول گام در هر دو پا می‌گردد (۳۲، ۳۵)؛ بنابراین به نظر می‌رسد ارتز با اصلاح الگوی حرکت، توزیع فشار و پشتیبانی مناسب از قوس پا، موجب کاهش زاویه پلانتر فلکشن، افزایش دورسی فلکشن و بهبود پایدار بودن حرکت می‌شود که در نهایت بار کمتری بر مفاصل وارد می‌کند و عملکرد بیومکانیکی راه رفتن را بهبود می‌بخشد. دو مطالعه که فشارهای کف پای و مکانیک راه رفتن را در افراد دارای پای پرونیت حین استفاده از ترمپل در سه سرعت مختلف طی راه رفتن بررسی کرده بودند، نتیجه گرفتند که افزایش سرعت راه رفتن منجر به افزایش فشار بر متاتارسال دوم و سوم می‌گردد. همچنین، کاهش سرعت گام برداری منجر به کاهش فشار در استخوان کف پای اول می‌شود. به علاوه، تفاوت معنی داری بین فعالیت الکترومایوگرافی عضلات واستوس مدیالیس و ابداکتور هالیسیوس مشاهده شد (۳۰، ۳۱). تلفیق نتایج حاصل از آزمایش‌های الکترومایوگرافی عضلات واستوس مدیالیس و ابداکتور هالیسیوس با اندازه‌گیری فشار روی استخوان کف پای اول، می‌تواند به درک بهتر اثر متقابل بین عضلات اندام تحتانی و مفاصل مچ پا کمک کند. این اثر متقابل، چگونگی همکاری و هماهنگی این عضلات در کنترل حرکت مچ پا و پای انسان را نشان می‌دهد. با بررسی هم‌زمانی فعالیت الکتریکی این عضلات و فشار وارد بر استخوان کف پا، می‌توان به روابط علت و معلولی بین فعالیت عضلانی، حرکت مفصل مچ پا و بارگذاری استخوانی پی برد. این یافته‌ها به طور بالقوه برای درک بهتر آسیب‌های مچ پا، طراحی مداخلات فیزیوتراپی و بهبود عملکرد حرکتی در ورزش و فعالیت‌های روزمره مفید خواهد بود (۳۰، ۳۱). احتمالاً افزایش فشارهای کف پای در عارضه پرونیشن با ارتباط مستقیم با اعمال نیرو بر مفاصل اندام تحتانی داشته باشد.

همچنین، در پژوهشی ارتباط معکوسی با اعمال بار بر روی مفاصل اندام تحتانی و دامنه حرکتی افراد دارای پرونیشن پا نشان دادند، به نظر می‌رسد اعمال بار بر روی مفاصل تحتانی و خستگی مفرط متعاقب آن می‌تواند زمینه اصلی ایجاد آسیب در زانو باشد (۲۹). مطالعاتی که از کفی و ارتزهای پا به عنوان مداخله در دراز مدت برای بررسی متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی استفاده کرده‌اند کاهش قابل توجهی را در انحراف جلوی پا و ابداکشن زانو، فلکشن لگن و اوج گشتاورها پس از استفاده از ارتز و کفی‌های پا مشاهده کردند. احتمالاً استفاده از ارتز و کفی در دراز مدت باعث افزایش قوس‌های کف پای در افراد دارای پای پرونیت می‌گردد که این امر می‌تواند

به دلیل حمایت ارتزها از قوس کف پا، کاهش فشار و کنترل حرکت مچ پا، کاهش تنش روی تاندون پروئیتال باشد (۲۶-۲۸). تمام مطالعات به دست آمده از مداخلات در بلندمدت برای بررسی تعادل پویا نیز تأثیر معنی داری را نشان دادند. به عنوان مثال، مطالعه‌ای روی کودکان افزایش معنی دار فشارهای کف پای را پس از ۱۲ هفته انجام تمرینات طناب زنی نشان دادند (۴۲). همچنین انجام تمرینات تعادلی نیز به مدت ۲۰ هفته باعث افزایش تعادل ایستا گردید (۵۷). به نظر می‌رسد انجام تمرینات اصلاحی در دراز مدت بر روی تعادل بزرگسالان دارای پای پرونیت نتیجه مثبتی داشته باشد.

استفاده از تمرینات تعادلی و انعطاف پذیری در ۵ هفته تفاوت معنی داری در تعادل پویا داشت. از مزایای این تحقیق بررسی تأثیر تمرینات بر روی تعادل زنان و مردان دارای پرونیشن پا بود (۳۶). به نظر می‌رسد این تمرینات در افزایش عملکرد افراد نیز مفید باشد. به علاوه، در مطالعه‌ای استفاده از ارتز در کودکان دارای پای پرونیت منجر به افزایش تعادل پویا گردید (۴۰). از طرفی مطالعات در زمینه تعادل با استفاده از مداخلات درمانی در دراز مدت شامل، استفاده از تمرینات طناب زنی، استفاده از ارتزهای پا و برنامه‌های درمان اسکلتی-عضلانی با تقویت عضلات حمایت کننده و اصلاح الگوی حرکتی باعث بهبود تعادل پویا در افراد دارای پای پرونیت گردید (۳۷، ۳۸، ۴۲، ۴۳). این بهبودها به کاهش خطر افت و صدمات مرتبط با عدم تعادل منجر می‌شود. مطالعات بر روی فعالیت الکترومایوگرافی عضلات طی راه رفتن روی تردمیل دارای نتایج مشابهی بود. در این مطالعات مشاهده شد که افزایش سرعت طی راه رفتن باعث تفاوت قابل توجهی در فعالیت الکترومایوگرافی عضلات گلتئوس مدیوس می‌شود (۴۸). به نظر می‌رسد افزایش دامنه الکترومایوگرافی اکستنسورهای زانو می‌تواند منجر به افزایش کیفیت حرکات انتقالی افراد دارای پای پرونیت گردد (۵۱). مطالعاتی که از کنزیوتیپ و ارتز استفاده کرده بودند دارای نتایج مشابهی بودند که از مزایای این مطالعات می‌توان به استفاده از کنزیوتیپ و ارتز در طولانی مدت اشاره کرد. این امر در نتیجه تأثیر استفاده همزمان از کنزیوتیپ و ارتز است که با حمایت و هدایت مناسب، عضلات کف پا را تقویت و فشار روی مفاصل را کاهش می‌دهند که در طولانی مدت به بهبود عملکرد عضلات و کاهش درد در افراد دارای پای پرونیت می‌انجامد. این بهبودها احتمالاً به دلیل اصلاح الگوی راه رفتن نیز هستند (۵۳، ۵۴). از محدودیت‌های این مطالعات عدم استفاده همزمان از ارتزهای پا در کنار تمرینات اصلاحی بود؛ بنابراین به محققان توصیه می‌شود که در مطالعات آینده از تمرینات اصلاحی به همراه ابزارهای حمایتی متناسب با هدف مطالعه طراحی نمایند.

نتیجه گیری نهایی

با توجه به مطالعه مروری حاضر به نظر می‌رسد که با توجه به بیومکانیک راه رفتن و دویدن در افراد دارای پرونیشن پا مفاصل اندام تحتانی طی حرکات انتقالی در معرض آسیب‌ها و فشارهای مکانیکی قرار دارند. از این رو اصلاح این ناهنجاری در نتیجه استفاده از ارتز و تمرینات اصلاحی می‌تواند در بهبود کارایی مکانیک راه رفتن این افراد مؤثر باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله از نوع مروری است و مستقیماً از هیچ انسانی یا حیوانی در آن استفاده نشده است.

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. Braga UM, Mendonça LD, Mascarenhas RO, Alves CO, Renato Filho G, Resende RA. Effects of medially wedged insoles on the biomechanics of the lower limbs of runners with excessive foot pronation and foot varus alignment. *Gait & posture*. 2019;74:242-249. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2019.09.023] [PMID]
2. Piri, Jafarnejadgro, Stallman, Anders, Hosseini A, Ghaffarkandi P. Comparison of the frequency spectrum of ground reaction forces with and without the use of an immediate pronated insole in people with pronated feet during walking. *Journal of Sports Biomechanics*. 2025;11(1):20-33. [DOI:10.61186/JSportBiomech.11.1.20]
3. Bac A, Kaczor S, Pasiut S, Ścisłowska-Czarnecka A, Jankowicz-Szymańska A, Filar-Mierzwa K. The influence of myofascial release on pain and selected indicators of flat foot in adults: a controlled randomized trial. *Scientific Reports*. 2022;12(1):1414. [DOI:10.1038/s41598-022-05401-w] [PMID]
4. Sadeghi M, Mohammadi HK, Mehravar M, Salehi R, Taheri N, Karimzadeh A. The effects of intrinsic foot muscles strengthening exercises on knee kinematic in pronated foot subjects during forward jump landing. *Journal of Family Medicine and Primary Care*. 2022;11(8):4389-4394. [DOI:10.4103/jfmpc.jfmpc_2320_21] [PMID]
5. Hsu C-Y, Wang C-S, Lin K-W, Chien M-J, Wei S-H, Chen C-S. Biomechanical Analysis of the FlatFoot with Different 3D-Printed Insoles on the Lower Extremities. *Bioengineering*. 2022;9(10):563. [DOI:10.3390/bioengineering9100563] [PMID]
6. Lee JH, Shin KH, Jung TS, Jang WY. Lower extremity muscle performance and foot pressure in patients who have plantar fasciitis with and without flat foot posture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;20(1):87. [DOI:10.3390/ijerph20010087] [PMID]
7. Kothari A, Dixon P, Stebbins J, Zavatsky A, Theologis T. Are flexible flat feet associated with proximal joint problems in children? *Gait & posture*. 2016;45:204-210. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2016.02.008] [PMID]
8. Barghamadi M, Ghadimi KheshtMasjedi A, Piri E. Comparison of the Effect between Traband and Brace on People with Genu Varum and Genu Valgum Deformities: A Systematic Review. *Journal of Sport Biomechanics*. 2024;9(4):352-68. [DOI:10.61186/JSportBiomech.9.4.352]
9. Wu D, Raj ND. A Comparative Study between Taping and Medial Arch Support on EMG Activity of Selected Foot Muscles in Individuals with Flexible Flat Foot. *National Editorial Advisory board*. 2014;8(4):4207. [DOI:10.5958/0973-5674.2014.00039.2]
10. Elataar FF, Abdelmajeed SF, Abdellatif NM, Mohammed MM. Core muscles' endurance in flexible flatfeet: A cross-sectional study. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*. 2020;20(3):404.

11. Waldhelm A, Li L. Endurance tests are the most reliable core stability related measurements. *Journal of Sport and Health Science*. 2012;1(2):121-128. [DOI:10.1016/j.jshs.2012.07.007]
12. Jiang Y, Wang D, Ying J, Chu P, Qian Y, Chen W. Design and Preliminary Validation of Individual Customized Insole for Adults with Flexible Flatfeet Based on the Plantar Pressure Redistribution. *Sensors*. 2021;21(5):1780. [DOI:10.3390/s21051780] [PMID]
13. Zonouzi FM, Sadeghi H, Peeri M. The Effect of Medical Insoles on the Kinematics of Lower-Limb Joints in People with Flexible Flatfeet during Walking. *Journal of Clinical Physiotherapy Research*. 2020;5(3):e17.
14. Listyorini I, Shanti M, Prabowo T. Effectiveness in dynamic balance: A comparison between foot muscle strengthening using elastic band and without elastic band in children aged 8-12 with flexible flatfeet. *International Journal of Integrated Health Sciences*. 2015;3(1):26-32. [DOI:10.15850/ijih.v3n1.404]
15. Sedaghti P, Chamachaei MA, Zarei H. Effects of Exercise Training Programs on Postural Control and Dynamic Balance in Individuals with Flat Feet and Cavus Feet: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Rehabilitation Sciences & Research*. 2023;10(1):1-8.
16. Golchini A, Rahnama N, Lotfi-Foroushani M. Effect of systematic corrective exercises on the static and dynamic balance of patients with pronation distortion syndrome: A randomized controlled clinical trial study. *International Journal of Preventive Medicine*. 2021;12(1):129. [DOI:10.4103/ijpvm.IJPVM_303_19] [PMID]
17. Reeves J, Jones R, Liu A, Bent L, Nester C. The immediate effects of foot orthosis geometry on lower limb muscle activity and foot biomechanics. *Journal of biomechanics*. 2021;128:110716. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2021.110716] [PMID]
18. Permsombat P, Pensri P. Effects of customized foot orthoses on lower limbs kinematics in adults with highly pronated foot. *Chulalongkorn Medical Journal*. 2021;65(2):195-205. [DOI:10.58837/CHULA.CMJ.65.2.13]
19. Liu C, Zhang H, Li J, Li S, Li G, Jiang X. The effects of foot orthoses on radiological parameters and pain in children with flexible flat feet: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Pediatrics*. 2024;12:1388248. [DOI:10.3389/fped.2024.1388248] [PMID]
20. Markowicz M, Skrobot W, Łabuć A, Poszytek P, Orlikowska A, Perzanowska E, et al. The rehabilitation program improves balance control in children with excessive body weight and flat feet by activating the intrinsic muscles of the foot: A preliminary study. *Journal of Clinical Medicine*. 2023;12(10):3364. [DOI:10.3390/jcm12103364] [PMID]
21. Goo Y-M, Kim T-H, Lim J-Y. The effects of gluteus maximus and abductor hallucis strengthening exercises for four weeks on navicular drop and lower extremity muscle activity during gait with flatfoot. *Journal of physical therapy science*. 2016;28(3):911-915. [DOI:10.1589/jpts.28.911] [PMID]
22. Kazemi Pakdel F, Sedaghati P. The Effect of Comprehensive Corrective Exercise on the Function of Lower Limb and Joint Position Sense in Female Karatekas With Flatfoot. *Physical Treatments-Specific Physical Therapy Journal*. 2022;12(3):163-174. [DOI:10.32598/ptj.12.3.530.1]
23. Zhang X, Lam W-K, Vanwanseele B. Dose-response effects of forefoot and arch orthotic components on the center of pressure trajectory during running in pronated feet. *Gait & Posture*. 2022;92:212-217. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2021.11.033] [PMID]
24. Marouvo J, Sousa F, Fernandes O, Castro MA, Paszkiel S. Gait Kinematics Analysis of Flatfoot Adults. *Applied Sciences*. 2021;11(15):7077. [DOI:10.3390/app11157077]

25. Galafate D, Pournajaf S, Condoluci C, Goffredo M, Di Girolamo G, Manzia CM, et al. Bilateral foot orthoses elicit changes in gait kinematics of adolescents with down syndrome with flatfoot. *International journal of environmental research and public health*. 2020;17(14):4994. [DOI:10.3390/ijerph17144994] [PMID]
26. Radwan NL, Ibrahim MM, Eid MA, Aly SM. The long-term effect of foot insoles on kinetic gait parameters in female children with flexible flat foot. *IMJ*. 2020:485-494.
27. Peng Y, Wong DW-C, Wang Y, Chen TL-W, Tan Q, Chen Z, et al. Immediate effects of medially posted insoles on lower limb joint contact forces in adult acquired flatfoot: a pilot study. *International journal of environmental research and public health*. 2020;17(7):2226. [DOI:10.3390/ijerph17072226] [PMID]
28. Alavi-Mehr SM, Jafarnezhadgero A, Salari-Esker F, Zago M. Acute effect of foot orthoses on frequency domain of ground reaction forces in male children with flexible flatfeet during walking. *The Foot*. 2018;37:77-84. [DOI:10.1016/j.foot.2018.05.003] [PMID]
29. Farahpour N, Sharifmoradi K, Azizi S. Effect of Fatigue on Knee Kinematics and Kinetics During Walking in Individuals With Flat Feet. *Physical Treatments-Specific Physical Therapy Journal*. 2017;7(3):141-148. [DOI:10.32598/ptj.7.3.141]
30. Kim M-K. Foot pressure analysis of adults with flat and normal feet at different gait speeds on an ascending slope. *Journal of physical therapy science*. 2015;27(12):3767-3769. [DOI:10.1589/jpts.27.3767] [PMID]
31. Lee C-R, Kim M-K. The effects on muscle activation of flatfoot during gait according to the velocity on an ascending slope. *Journal of physical therapy science*. 2014;26(5):675-677. [DOI:10.1589/jpts.26.675] [PMID]
32. Seo KC, Park KY. The effects of foot orthosis on the gait ability of college students in their 20s with flat feet. *Journal of Physical Therapy Science*. 2014;26(10):1567-1569. [DOI:10.1589/jpts.26.1567] [PMID]
33. Asgaonkar B, Kadam P. Effectiveness of valgus insole on pain, gait parameters and physiological cost index of walking in flat feet in 5-15 years. *Physiotherapy and Occupational Therapy*. 2012;6(2):90.
34. Kim HY, Shin HS, Ko JH, Cha YH, Ahn JH, Hwang JY. Gait analysis of symptomatic flatfoot in children: an observational study. *Clinics in orthopedic surgery*. 2017;9(3):363. [DOI:10.4055/cios.2017.9.3.363] [PMID]
35. Chen Y-C, Lou S-Z, Huang C-Y, Su F-C. Effects of foot orthoses on gait patterns of flat feet patients. *Clinical biomechanics*. 2010;25(3):265-270. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2009.11.007] [PMID]
36. Mostaghni Hj, Azimkhani A, Keykhaee Mh. The Effect of a Specialized Karate Corrective Exercise Program on Flat Feet and Foot Indices in Karatekas. *Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi*. 2022;7(1):123-131. [DOI:10.25307/jssr.1037185]
37. Moon D, Jung J, editors. Effect of Incorporating Short-Foot Exercises in the Balance Rehabilitation of Flat Foot: A Randomized Controlled Trial. *Healthcare*. 2021;9(10):1358. [DOI:10.3390/healthcare9101358] [PMID]
38. Lee SM, Son SM, Hwang YT, Park S. The Effect of Insole to Flexible Flat Foot on Dynamic Balance and Ankle Muscle Activity during the Y-Balance Test. *The Journal of Korean Physical Therapy*. 2022;34(5):218-223. [DOI:10.18857/jkpt.2022.34.5.218]
39. Kim JS, Lee MY. The effect of short foot exercise using visual feedback on the balance and accuracy of knee joint movement in subjects with flexible flatfoot. *Medicine*. 2020;99(13). [DOI:10.1097/MD.00000000000019260] [PMID]

40. Pisal SN, Chotai K, Patil S. Effectiveness of short foot exercises versus towel curl exercises to improve balance and foot posture in individuals with flexible flat foot. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*. 2020;14(3):653-658.
41. Lim O-b, Park S-y. Comparison of the effects of barefoot, kinesio tape, and dynamic tape on static and dynamic balance in subjects with asymptomatic flexible. *Physical Therapy Korea*. 2020;27(1):78-86. [DOI:10.12674/ptk.2020.27.1.78]
42. Qaderian, Ghasemi, Ali G, Zol-Aktaf. The effect of rope jumping exercises on postural control, static and dynamic balance of male students with flat feet. *Applied Studies in Life Sciences in Sports*. 2016;4(8):89-102.
43. Lee H-J, Lim K-B, Yoo J, Yoon S-W, Yun H-J, Jeong T-H. Effect of custom-molded foot orthoses on foot pain and balance in children with symptomatic flexible flat feet. *Annals of rehabilitation medicine*. 2015;39(6):905-913. [DOI:10.5535/arm.2015.39.6.905] [PMID]
44. Esmaeili H, Anbarian M, Hajiloo B, Sanjari MA. The immediate effect of foot insole on electromyography activity and co-contraction of leg muscles in individuals with flat feet. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*. 2013;9(2):295-307.
45. Beigi A, Ghasemi, Noorollah, Zadeh H. Comparison of electrical activity of calf muscles in individuals with flat feet and normal feet while walking on a treadmill at different speeds. *Razi Journal of Medical Sciences*. 2018;25(3):21-29.
46. Manteshlo, Z., Sadeghi, H., Tazji, K. Comparison of ground reaction forces and electrical activity of ankle muscles during running in young men with and without foot pronation. *Scientific Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*. 2017;16(4):353-364.
47. Khodaveisi, H., Sadeghi, H., Memar, R., & Anbarian, M. Comparison of selected muscular activity of trunk and lower extremities in young women's walking on supinated, pronated and normal foot. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 2016;51(1), 13-19. [DOI:10.1016/j.apunts.2015.10.002]
48. Waheed J, Arora NK, Khan MH. Comparison of Leg Muscle Activity During Level and Uphill Walking in Individuals with Flat Foot and Normal Foot: A Cross-Sectional Study. *Polish Journal of Sport and Tourism*. 2022;29(1):14-19. [DOI:10.2478/pjst-2022-0003]
49. Valizadehorang A, Jafarnezhadgero A, Alihosseini S. The Effects of Motion Control Shoes on Knee Joint Co-Contraction in Overweight Individuals With Flat Feet. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2022;10(6):1182-1193. [DOI:10.32598/SJRM.10.6.5]
50. Jafarnezhadgero A, Musavi SH, Mehr SMA, Madadi-Shad M. The long-term wearing of foot orthoses can change the frequency domain of ground reaction forces in children with flexible flat feet. *JPO: Journal of Prosthetics and Orthotics*. 2022;34(1):22-32. [DOI:10.1097/JPO.0000000000000386]
51. Jafarnezhadgero A, Fatollahi A, Sheykhosslami A, Dionisio VC, Akrami M. Long-term training on sand changes lower limb muscle activities during running in runners with over-pronated feet. *BioMedical Engineering OnLine*. 2021;20:1-18. [DOI:10.1186/s12938-021-00955-8] [PMID]
52. Jafarnezhadgero A, Mehr SMA, Majlesi M. Effect of long term use of arch support foot orthoses on walking ground reaction force asymmetry index in children with flexible flat feet: A cohort study. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences*. 2019;41(4):31-39. [DOI:10.34172/mj.2019.043]

53. Yoo K-T. A comparative study of lower extremity muscle activity in adults in their 20s with flat foot that applied low-dye taping and foot intrinsic muscle strengthening exercise. *Journal of Industrial Convergence*. 2021;19(5):103-110. [DOI:10.22678/JIC.2021.19.5.103]
54. Cho DJ, Ahn SY, Bok S-K. Effect of foot orthoses in children with symptomatic flexible flatfoot based on ultrasonography of the ankle invertor and evertor muscles. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2021;45(6):459-470. [DOI:10.5535/arm.21137] [PMID]
55. Kim J-S, Moon D-C. A comparison of selective muscle activity in the abductor hallucis between flat feet and normal feet during single mini-squat exercise. *Isokinetics and Exercise Science*. 2021;29(3):233-238. [DOI:10.3233/IES-203202]
56. Yoon H-b, Kim J-h, Park J-h, Jeon H-s. Comparison of the foot muscle EMG and medial longitudinal arch angle during short foot exercises at different ankle position. *Physical Therapy Korea*. 2017;24(4):46-53. [DOI:10.12674/ptk.2017.24.4.046]
57. Posa G, Betak O, Nagy E. Balance in focus: a simple observational scale to monitor the effect of exercises on static balance in case of childhood flexible flat foot. *Journal of Physical Therapy Science*. 2020;32(11):735-741. [DOI:10.1589/jpts.32.735] [PMID]