Journal of
Sport Biomechanics

Summer 2026. Vol 12. Issue 2

Review Paper

Effects of Training Interventions on Walking and Running Mechanics in Individuals with Pronated Feet: A Systematic Review

Leila Sabouri[1], Fateme Rajani[1], *Ebrahim Piri[2]

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

Use your device to scan and read the article online

Citation: Sabouri L, Piri E. Effects of Training Interventions on Walking and Running Mechanics in Individuals with Pronated Feet: A Systematic Review. Journal of Sport Biomechanics.2026;12(2):242-263. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.2.242

https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.2.242

Article Info:

Received: 23 April 2025
Accepted: 22 December 2025
Available Online: 24 December 2025

Keywords:

Pronated foot, Rehabilitation exercises, Orthotics, Walking, Running

ABSTRACT

Objective Foot pronation is a common biomechanical condition characterized by excessive inward rotation of the foot during walking or running. This systematic review aimed to examine the effects of training and rehabilitation interventions on walking and running mechanics in individuals with pronated feet.

Methods This study followed a systematic review design. Relevant articles published between January 2018 and March 2025 were identified through searches of Web of Science, Scopus, PubMed, Google Scholar, the Scientific Information Database (SID), Magiran, and the Islamic World Science Citation Database (ISC). Keywords included pronated foot, exercise training, orthotics, shoes, walking, and running. Original research studies and clinical trials that investigated biomechanical outcomes were included.

Results Out of 82 initially identified studies, 21 met the inclusion criteria, comprising 10 studies on walking and 11 on running. Walking-related studies showed that targeted exercise programs and specific training environments increased muscle activity and improved foot and ankle mechanics in individuals with pronated feet, while orthotic interventions reduced excessive foot rotation and optimized plantar force distribution. Running-related studies indicated that orthoses and motion-control footwear improved biomechanical efficiency by enhancing muscle activation, reducing ankle dorsiflexion, lowering vertical loading rates, and improving load distribution. Overall, both exercise-based and supportive interventions improved walking and running mechanics and may reduce injury risk by limiting excessive pronation.

Conclusion The findings indicate that targeted exercise programs, orthotics, footwear, and insoles can meaningfully improve biomechanical performance and reduce injury risk in individuals with pronated feet during walking and running. However, intervention type and training intensity should be individualized based on functional demands and activity type.

*** *Corresponding Author:***
Ebrahim Piri
Address: Department of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
E-mail: Ebrahimm.piri@gmail.com

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
© 2026 The Author(s). Journal of Sport Biomechanics published by Islamic Azad University, Hamedan Branch.

Extended Abstract

1. Introduction

Foot pronation is a natural rotational movement occurring at the subtalar joint, primarily during the early stance phase of gait, and is characterized by ankle dorsiflexion, forefoot abduction, and rearfoot deviation. However, the high prevalence of pronated foot across children, adolescents, and adults suggests that this motion frequently exceeds its normal range and manifests as excessive pronation (1). Evidence indicates that excessive foot pronation is associated with lower-limb malalignment and an increased risk of musculoskeletal injuries (2,3). Excessive pronation alters lower-limb kinematics and kinetics during weight-bearing activities and may lead to increased internal rotation of the tibia, knee, and hip, as well as greater dynamic knee valgus. These biomechanical alterations have been linked to pathological knee conditions such as patellofemoral pain and knee osteoarthritis (4,5). Moreover, an increased external knee adduction moment (KAM), a well-established risk factor for knee osteoarthritis, has been associated with excessive foot pronation, potentially increasing medial knee joint loading (6). Excessive pronation has also been implicated in overuse injuries including plantar fasciitis, medial tibial stress syndrome, and Achilles tendinopathy (7–9). As pronation severity increases, structural changes in the foot—particularly a reduction in the medial longitudinal arch—impair the spring-like function of the midfoot, leading to greater energy dissipation and increased oxygen consumption during walking. Individuals with pronated feet commonly exhibit shorter step length, wider step width, and reduced gait efficiency, necessitating greater compensatory work at proximal lower-limb joints (10,11). Biomechanical evidence further suggests that individuals with pronated feet demonstrate altered ground reaction force patterns and loading rates during walking and running, which may contribute to injury risk (12–14).

Various interventions have been proposed for the management of excessive foot pronation, including foot orthoses, motion-control footwear, shoe insoles, therapeutic exercise, taping techniques, and gait retraining (12,15–17). While passive supports such as orthoses and insoles can redistribute plantar pressure and correct rearfoot alignment, active exercise-based interventions—particularly those targeting intrinsic foot muscles and proximal musculature such as the gluteal muscles—appear to offer additional benefits by enhancing medial arch support, improving balance, and optimizing neuromuscular control (18,19,25). Given the functional and clinical consequences of excessive pronation, a systematic evaluation of rehabilitation interventions and their effects on walking and running mechanics is warranted.

2. Methods

This study was conducted as a systematic review. Relevant articles published between January 2018 and March 2025 were identified through searches of the Web of Science, Scopus, PubMed, Google Scholar, the Scientific Information Database (SID), Magiran, and the Islamic World Science Citation Database (ISC). Searches were performed in both Persian and English. The following keywords were used, alone or in combination: pronated foot, foot orthosis, arch support, exercise interventions, walking biomechanics, running, lower-limb injuries, muscle activity, and shoe interventions. The inclusion criteria were as follows: (1) studies involving individuals with pronated feet; (2) studies reporting quantitative (numerical) and/or qualitative (descriptive) outcomes related to biomechanical changes and motor function; (3) studies examining the effects of interventions on walking and/or running in individuals with pronated feet; and (4) studies investigating therapeutic or rehabilitation interventions. The exclusion criteria included studies involving participants without pronated feet, studies employing non-standard or inappropriate methods for evaluating therapeutic interventions, studies published before 2018, and studies for which the full text was not accessible or not relevant to the study objectives. Based on the initial screening, 82 relevant articles met the inclusion and exclusion criteria. After full-text assessment and methodological evaluation, 21 high-quality studies were selected for final review and analysis. The methodological quality of the included studies was assessed using the Downs and Black checklist (31).

3. Results

A total of 82 articles were initially identified. Of these, 11 articles were excluded due to duplication or publication prior to the target period, 31 articles were excluded because they did not include rehabilitation interventions, and 22 articles were excluded because they did not examine walking or running tasks. Ultimately, 21 studies published between 2018 and 2025 met the inclusion criteria and were included in the final analysis. Among these, 11 studies focused on rehabilitation interventions during walking, and 10 studies examined interventions during running. According to Table 1, the total sample size across studies investigating the effects of rehabilitation interventions during walking between 2020 and 2024 was 235 individuals with pronated feet. This sample included one study conducted exclusively in women (27), two studies that did not report participant sex (23, 24), two studies involving both men and women (5, 27), and five studies conducted exclusively in men (8, 23, 25, 28, 29). The assessment tools used across these studies included surface electromyography in four studies (23–26), foot orthoses in four studies (25, 26, 30, 41), three-dimensional motion capture systems in two studies (8, 27), force plates in two studies (5, 29), and the Foot Posture Index in one study (24).

Rehabilitation interventions included exercise-based programs such as seated and standing exercises (23), short-foot exercises, intrinsic ankle muscle strengthening, and toe-walking exercises (24), aquatic exercises and resistance training using elastic bands (24, 26), short-term and long-term use of foot orthoses (23, 27–29), footwear and insoles (5, 27), walking-based interventions (8), and breathing techniques combined with strengthening exercises (23). Studies employing short-foot exercises combined with breathing techniques reported increased activation of the tibialis anterior, tibialis posterior, and abductor hallucis muscles (23). Toe-walking exercises were also shown to enhance intrinsic ankle muscle function and strength (24). Findings from insole and orthotic interventions indicated increased mean frequency of the rectus femoris and medial gastrocnemius muscles during the loading phase, increased frequency content of the vastus lateralis during mid-stance, and reduced ankle deflection moment during walking in individuals with pronated feet. Orthotic use was also associated with a 5–15.4% reduction in plantar fascia loading.

In addition, orthotic interventions improved cadence and stride length during running compared with non-orthotic conditions. Orthoses were further shown to influence knee mechanics by increasing knee adduction moment, reducing adduction angle, increasing external torque, and decreasing mediolateral ground reaction forces during walking and running in both men and women with pronated feet (5, 23, 27–29). Finally, studies examining aquatic training with elastic bands and combined theraband-plus-orthotic interventions reported long-term increases in electromyographic activity of the gastrocnemius and semitendinosus muscles (24, 26).

4. Discussion

The findings of researchers who used strengthening exercises, including leg shortening exercises and toe walking exercises, to strengthen the intrinsic muscles of the foot, concluded that these exercises increased the activity of the tibialis anterior and posterior muscles, the abductor hallucis longus, and improved the plantar arch in the pronated foot during walking in people with pronated feet, especially as a result of strengthening exercises for the intrinsic muscles of the foot (23, 24). These findings indicate that different training methods, either through direct strengthening of the intrinsic muscles or through changes in the movement pattern, can lead to increased stability and efficiency of the leg motor system in people with pronated feet during walking. The advantages of the present research include the large sample size and the comparison of biomechanical variables during walking as a result of comparing the two training conditions. Rehabilitation interventions such as exercise, the use of theraband, kinesiotape, and the use of various orthoses, shoes, and insoles during walking and running can generally help correct movement, reduce stress, and prevent injuries. These interventions usually improve muscle function and motor stability, which ultimately helps reduce pain and joint damage in people with pronated foot.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

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

Funding

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

Authors' contributions

All authors equally contributed to preparing article.

Conflicts of interest

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

Table 1. Review of rehabilitation interventions during walking in people with pronated feet

Author	Objective	Sample size	Intervention/Tool	Result
Yıldırım shahan et al. (23)	Comparison of the effects of combined breathing and exercise position (sitting or standing) on leg and ankle muscle activity in short-leg exercises (SFE) in people with pronated feet	15 people with pronated feet	Short leg marinating with and without breathing exercises in sitting and standing positions / Surface electromyography	Muscle activity in the tibialis anterior, tibialis posterior, and abductor hallucis longus was significantly greater in the short-leg exercises with breathing training than in the no-breathing condition in the standing position compared to the sitting position.
Hemalatha et al. (24)	Comparison of toe walking exercises and inward foot exercises on pronated feet	40 people with pronated feet (20 people in the toe walking exercise group - 20 people in the intrinsic muscle strengthening group)	Strengthening exercises for the inner leg muscles, walking on toes exercise / Foot posture index	The results of the analysis showed a statistically significant difference in favor of the medial foot muscle training group. This indicates that individuals in this group experienced greater improvement in their flat feet compared to those in the toe-walking group.
Alizadeh et al. (25)	Investigation of the acute effect of using anti-pronation insoles on muscle frequency content in people with anterior cruciate ligament reconstruction and pronated feet during walking	13 men with anterior cruciate ligament reconstruction and pronated feet	Orthosis / Surface electromyography	The results showed that the ACL reconstruction group with pronated feet had higher mean frequencies in the rectus femoris and gastrocnemius medial during the loading phase compared to the healthy group. In addition, the results showed that the frequency content of the vastus lateralis was higher in the mid-stance phase with foot orthoses compared to without.
Kawakami et al. (8)	The effect of pronated feet (ankle internal rotation) on behavior and energy efficiency during walking	24 healthy young men with pronated feet	All subjects walked on the ground and tried to contact the back and front of the foot with separate force plates to analyze the forces acting on the	There was no difference in mid-tarsal joint work between the pronated foot and the neutral foot. On the other hand, the pronated foot showed greater net negative work in the distal forefoot structures during gait. The pronated foot showed less net positive work

			isolated areas of the foot / 3D motion recording system	at the ankle and center of mass during gait compared to the neutral foot.
Piri et al. (26)	The effect of water and Traband exercises on lower limb muscle electrical activity in people with pronated feet during walking	45 men with pronated feet	Eight weeks of training in water and training with theraband / Surface electromyography	The gastrocnemius and semitendinosus muscle superiorities increased significantly from posttest to pretest in the water and Traband training groups.
Samadi et al. (27)	Investigation of the effect of specialized Kyokushin karate exercises on calf muscle activity and medial longitudinal arch height in adolescent girls with pronated feet	24 young women with pronated feet	Eight weeks of specialized Kyokushin karate training / Surface electromyography	The activity of the tibialis anterior and lateral gastrocnemius muscles increased significantly in the training group compared to the control group. In the training group, the activity of all three measured muscles, fibularis longus, tibialis anterior, and lateral gastrocnemius, increased significantly from posttest to pretest.
Alavi Mehr et al. (28)	The effect of a selected exercise protocol on trunk and lower limb muscle activity in elderly people with low back pain and pronated feet during walking	32 men with back pain and pronated feet (control 15 people, with only pronated feet and experimental 17 people, with both back pain and pronated feet)	The experimental group performed 3 sessions of resistance training with theraband for 12 weeks and each week / Wireless electromyography system with 9 pairs of bipolar surface electrodes	The results indicated significant main effects of "time" for the erector spinae at the level of the third lumbar vertebra, main effects of "group" for the tibialis anterior offset, and for the erector spinae at the level of the third lumbar vertebra.
Kakavand et al. (29)	The effect of over-the-counter orthoses on walking in Participants with over pronation	10 men and women with pronated feet	Walking in three stages with running shoes, barefoot and using an orthosis with running shoes on the inner part of the foot / 3D cameras	Cadence, stride length, and stride length improved in the running shoes compared to the non-prescription orthotic group. However, there was no significant difference between the running shoes and non-prescription orthotics.
Costa et al. (5)	Is there a dose-response of wedge insoles on lower limb biomechanics in individuals with pronated feet during walking and running?	9 women and 7 men with pronated feet	Use of four types of insoles / Force plate	For running, the 6° and 9° insoles reduced the ankle flexion angle during initial stance and reduced the ankle flexion during initial stance. A reduction in the ankle flexion moment during walking and running was observed for the 6° and 9° insoles. An increase in the knee adduction moment during walking and running occurred for all insoles. For the hip, the 6° and 9° insoles showed a reduction in the hip adduction angle and an increase in hip adduction and external rotation moments during walking.

Peng et al. (41)	To investigate and quantify the effect of arch support heights on the medial biomechanics of the foot during stance-gait	1 young adult man with pronated feet	Orthosis / Muscle forces during walking by a multi-model The body was calculated and used to drive the finite element model of the foot.	The peak foot fluxes in balanced stance and the vertical second ground reaction force decreased with increasing arch support height. However, the peak midfoot pressure increased at all simulated moments. Meanwhile, high arch support reduced plantar fascia loading by 5% to 15.4% in the proximal regions but increased in the medial and distal regions.
Alavi Mehr et al (30)	The acute effect of a foot orthosis on the frequency amplitude of ground reaction forces in boys with flexible flat feet during gait	15 male children with pronated foot	Arch Support Orthoses / Koestler Force Plate	The use of a foot orthosis reduced the frequency of the mediolateral ground reaction force of the non-dominant limb by 99.5%.

مقاله مروری

تأثیر انواع مداخلات تمرینی مختلف بر مکانیک راه‌رفتن و دویدن در افراد دارای پرونیشن پا: یک مطالعه مروری سیستماتیک

لیلا صبوری[۱]، فاطمه رجنی[۱]، *ابراهیم پیری[۲]

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲. 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. Effects of Training Interventions on Walking and Running Mechanics in Individuals with Pronated Feet: A Systematic Review. Journal of Sport Biomechanics.2026;12(2):242-263. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.2.242

https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.2.242

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۳ اردیبهشت ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۱ دی ۱۴۰۴
تاریخ انتشار: ۳ دی ۱۴۰۴

کلید واژه‌ها:
پای پرونیت، تمرینات توان‌بخشی، ارتز، راه‌رفتن، دویدن

چکیده

هدف پای پرونیت، یک اختلال بیومکانیکی شایع است که در آن، میزان چرخش طبیعی پا به سمت داخل در هنگام راه‌رفتن یا دویدن، از حد نرمال بیشتر می‌شود. هدف این مطالعه مروری سیستماتیک بررسی تأثیر انواع تمرینات توان‌بخشی بر مکانیک راه‌رفتن و دویدن در افراد دارای پرونیشن پا بود.

روش‌ها مطالعه حاضر از نوع مروری و سیستماتیک بود. جستجوی مقالات از ابتدای سال ۲۰۱۸ تا ماه مارس ۲۰۲۵ در پایگاه‌های استنادی وب‌آوساینس، پایگاه مرکز اطلاعات علمی و جهاد دانشگاهی، مگ‌ایران، اسکاپوس، پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، پاب‌مد و گوگل‌اسکولار با استفاده از کلید واژه‌های پای پرونیت، تمرینات ورزشی، ارتز، کفش، دویدن و راه‌رفتن صورت گرفت. نوع مطالعاتِ بررسی‌شده، پژوهش‌های اصیل و کارآزمایی‌ها بودند.

یافته‌ها از میان ۸۲ مقاله شناسایی‌شده، در نهایت ۲۱ مطالعه (۱۰ مطالعه در راه‌رفتن و ۱۱ مطالعه در دویدن) وارد بررسی شدند. نتایج نشان داد که در راه‌رفتن، تمرینات هدفمند و شرایطی مانند تمرین در آب باعث افزایش فعالیت عضلانی شده و ارتزها و کفی‌ها با کاهش چرخش پا و بهبود توزیع فشار کف‌پایی، بیومکانیک را اصلاح می‌کنند. در دویدن، ارتزها و کفش‌های کنترل حرکت با افزایش فعالیت عضلانی، کاهش انحراف مچ پا و کاهش نرخ بارگذاری مؤثر بودند و کفی‌های چاپ سه‌بعدی توزیع بار را بهبود دادند. به‌طور کلی، مداخلات تمرینی و حمایتی با تقویت عضلات، بهبود کنترل عصبی–عضلانی و اصلاح الگوهای حرکتی، بیومکانیک راه‌رفتن و دویدن را در افراد دارای پای پرونیت بهبود داده و خطر آسیب را کاهش می‌دهند.

نتیجه‌گیری مطالعات نشان دادند که تمرینات اختصاصی، ارتزها، کفش‌ها و کفی‌ها می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد و کاهش آسیب‌ها در افراد با پای پرونیت را در فعالیت‌های راه رفتن و دویدن بهبود بخشند. بااین‌حال، نوع و شدت مداخلات باید با توجه به نیازهای فردی و نوع فعالیت انتخاب شوند.

*نویسنده مسئول:
ابراهیم پیری
آدرس: گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
ایمیل: Ebrahimm.piri@gmail.com

مقدمه

پرونیشن پا به‌عنوان یک حرکت چرخشی طبیعی که در مفصل ساب تالار پا رخ می‌دهد تعریف شده است. میزان شیوع پای پرونیت از ۷۸٪ تا ۴۸٪ در نوجوانان و کودکان و ۲۳-۲٪ در بزرگسالان متغیر است (۱). پرونیشن پا عمدتاً در نیمه اول فاز ایستادن راه‌رفتن رخ می‌دهد و با انحراف مچ پا و دورسی‌فلکشن و همچنین ابداکشن جلوی پا مشخص می‌شود. بااین‌حال، پرونیشن بیش‌ازحد پا با ناهماهنگی اندام تحتانی مرتبط است و ممکن است باعث آسیب‌های اسکلتی عضلانی شود (۲, ۳). پرونیشن بیش‌ازحد پا، کینماتیک و سینتیک اندام تحتانی را در طول فعالیت‌های تحمل وزن تغییر می‌دهد و می‌تواند منجر به چرخش داخلی بیش‌ازحد ساق پا، زانو و ران شده و والگوس پویا زانو را افزایش دهد. این بیومکانیک تغییریافته به برخی شرایط پاتولوژیک زانو، نظیر درد کشککی‌رانی و آرتروز مربوط می‌شود (۴, ۵). یکی از عوامل خطر برای استئوآرتریت زانو، لحظه ادداکشن خارجی زیاد زانو (KAM[1]) است که با پرونیشن بیش‌ازحد پا در ارتباط است و در نتیجه، قسمت خارجی زانو تحت بارگذاری بیشتری قرار می‌گیرد (۶).

همچنین، پرونیشن بیش‌ازحد پا با ایجاد فاشیای کف‌پا، سندرم استرس تیبیا داخلی و تاندیوپاتی پاشنه همراه است (۷). مطالعات نشان داده‌اند وضعیت غیرطبیعی پا، مانند صافی کف‌پا، در بیماران مبتلا به پای پرونیت ممکن است منجر به کشیدگی طولانی‌مدت فاشیای کف‌پا به دلیل از بین رفتن قوس کف‌پا شود و در نتیجه آسیب بیشتری به فاشیای کف‌پا وارد شود (۸, ۹). با افزایش شدت پرونیشن، تغییرات ساختاری در پاهای پرونیت منجر به اختلال در عملکرد فنر مانند مفصل میانی تارسال می‌شود که این امر باعث افزایش اتلاف انرژی و مصرف اکسیژن در حین راه‌رفتن می‌گردد (۱۰). تحقیقات نشان می‌دهد که افراد با قوس طولی پایین آمده، کمتر قادر به حفظ سرعت راه‌رفتن خود بوده و در نتیجه با کاهش طول گام و افزایش عرض قدم مواجه می‌شوند. برای جبران اتلاف انرژی در ساختار دیستال پا، این افراد معمولاً نیاز به کار فعال بیشتری در مفاصل پروگزیمال اندام تحتانی دارند. در نتیجه، نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده افزایش هزینه‌های انرژی و کاهش کارایی راه‌رفتن در افراد مبتلا به پای پرونیت که استفاده از حمایت قوس مناسب می‌تواند به بهبود این مشکلات کمک کند (۱۱). پرونیشن غیرطبیعی به‌عنوان یک عامل خطرناک برای آسیب‌های مرتبط با دویدن نیز تعیین شده است. این عارضه بر عملکرد تأثیر می‌گذارد و منجر به ناهنجاری‌های اندام تحتانی و کمردرد می‌شود (۱۲). با توجه به بیومکانیک راه‌رفتن، شواهدی وجود دارد که افراد مبتلا به پرونیشن پا اوج دوم (فاز رانش) نیروی واکنش عمودی زمین (GRF) به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر، نیروی عکس‌العمل داخلی- خارجی بیشتر و دامنه گشتاور بدون اوج بیشتر یا مشابه را نشان می‌دهند. شایان ذکر است، محققان مختلف مشاهده کرده‌اند که اوج نیروی عکس‌العمل عمودی بیشتر در طول تماس با پاشنه و میزان بارگذاری عمودی با راه‌رفتن و یا آسیب‌های مربوط به دویدن مرتبط است (۱۳, ۱۴).

برای مدیریت و درمان پرونیشن پا، از تکنیک‌ها و ابزارهای مختلفی استفاده می‌شود. این مداخلات عمدتاً شامل ارتزهای پا، کفش‌های کنترل حرکت، کفی‌های کفش، ورزش‌درمانی، نوار چسب درمانی، تقویت عضلات داخلی پا و بازآموزی راه‌رفتن است. تکیه‌گاه‌های خارجی شامل ارتزهای پا، کفش‌های کنترل حرکت و نوار چسب درمانی رایج‌ترین مداخلات مورد مطالعه برای کاهش پرونیشن بیش‌ازحد هستند (۱۲, ۱۵-۱۷). توجه به آناتومی و کنترل عصبی عضلانی، ماهیچه‌های درونی کف‌پا و نقش تعدیل‌کننده آن در عملکرد پا بسیار مهم است. مطالعات نشان داد که تمرینات کف‌پا برای عضلات درونی می‌تواند باعث افزایش ثبات وضعیت و اعتمادبه‌نفس افراد می‌شود (۱۸). در این بین محققان در پژوهشی مبنی بر مقایسه اثرات تقویت عضله سرینی بزرگ و سرینی میانی

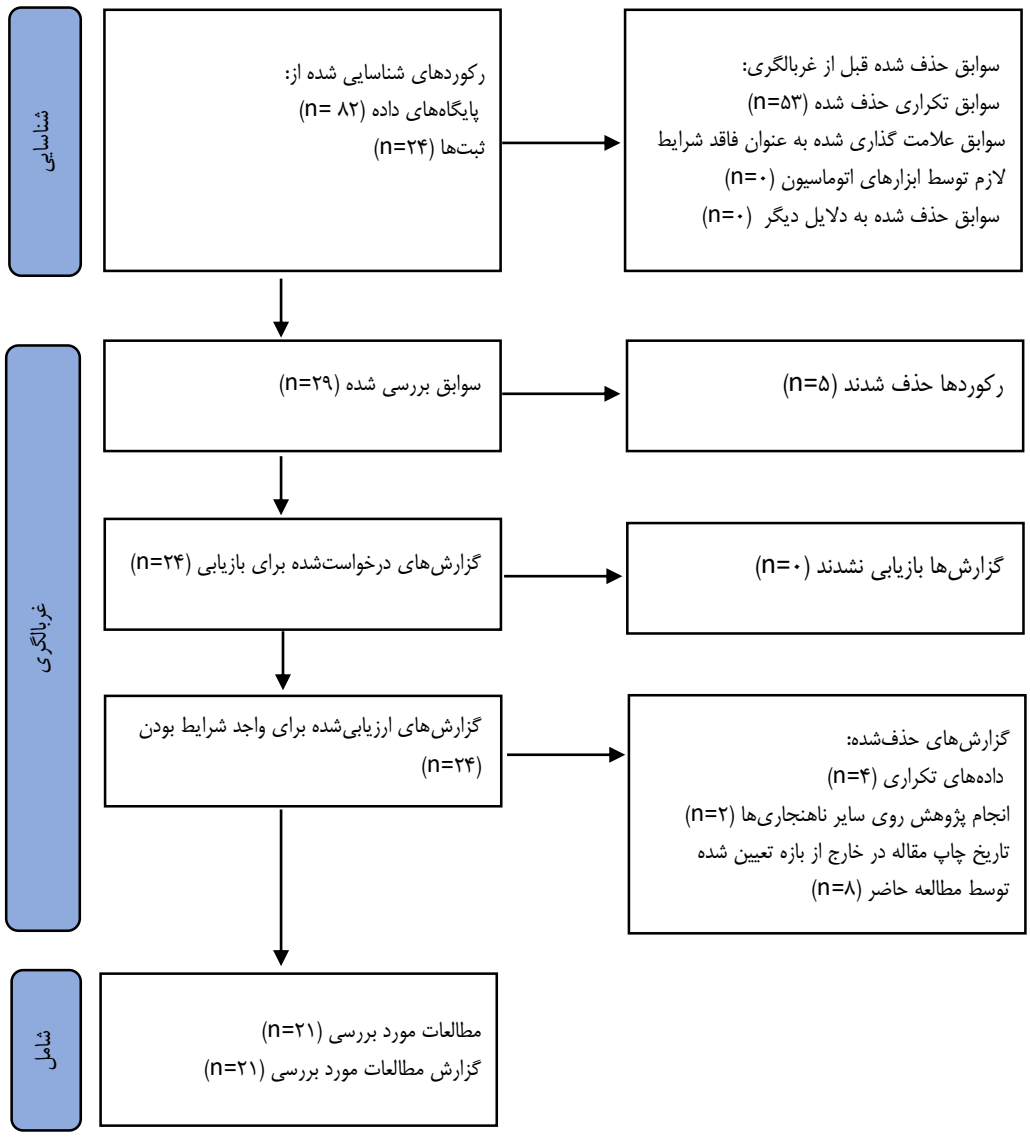
1. Knee Adduction Moment

بر روی افتادگی ناویکولار، تعادل و وضعیت پا در پای پرونیت نشان دادند که دهد که افزودن تمرینات تقویت عضلات سرینی میانی به تمرینات کوتاه پا (SFE) در حمایت از قوس طولی داخلی و بهبود تعادل مؤثر بودند (۱۹). ارتزهای پا اغلب در مداخلات تجویز شده برای صافی کف‌پای انعطاف‌پذیر علامت‌دار به کار برده می‌شود. تعیین اثربخشی ارتزها مهم است (۲۰). محققان همچنین نشان داده‌اند تکنیک‌های نوارپیچی (نوار چسبی) در افراد با پای صاف تأثیرات مثبتی دارند که شامل حمایت از قوس پا، کاهش فشار و درد، بهبود تعادل و ثبات و تنظیم موقعیت پا می‌باشد. این تکنیک‌ها با فراهم کردن پشتیبانی اضافی به بلند کردن قوس کمک کرده و از خستگی و درد جلوگیری می‌کنند (۲۱). به‌علاوه استفاده از کفی‌های حمایتی قوس پا به‌وضوح تأثیری مثبت دارد و می‌تواند این خستگی را کاهش دهد. به‌ویژه، مطالعات نشان می‌دهد که این کفی‌ها به کاهش خستگی در عضلات دو قلو داخلی و راست‌رانی و در زنان با پای صاف کمک کرده و به‌طورکلی می‌تواند به بهبود راحتی و عملکرد حین راه‌رفتن آن‌ها کمک کند (۲۲). همچنین محققان استفاده از کفی‌های پست داخلی جلوی پا در بیماران صاف کف‌پای انعطاف‌پذیر نشان دادند کفی‌ها می‌توانند فشار کف‌پا را مجدداً توزیع کنند و والگوس عقبی را اصلاح کنند. محققان دیگر نیز ترکیبات مختلفی از ارتفاع تکیه‌گاه قوس و سفتی مواد کفی را آزمایش کردند و دریافتند که می‌توانند به کاهش فشار اوج و کنترل پرونیشن بیش‌ازحد کمک کنند (۲۳, ۲۴). بااین‌حال، درمانگران اغلب مداخلات ورزشی فعال را تجویز می‌کنند و به دلیل بهبود قوس‌های پا که در اثر تقویت عضلات مرکزی پا (عضلات ذاتی) ایجاد می‌شود، مزایای بیشتری نسبت به حمایت‌های غیرفعال می‌دهند (۲۵).

پرونیشن بیش‌ازحد می‌تواند منجر به آسیب‌های مزمن و درد شود و نیاز به راهکارهای درمانی مؤثر را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. این تحقیق می‌تواند به شناسایی و ارزیابی شیوه‌های توان‌بخشی مؤثر کمک کرده و با ارائه راهکارهای مبتنی بر شواهد، به پیشگیری از آسیب و بهبود کیفیت زندگی افراد کمک کند. همچنین، نتایج این مطالعه می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات آینده در حوزه‌های مرتبط با بیومکانیک و فیزیوتراپی باشد و نگرش‌های جدیدی را در مدیریت پرونیشن مطرح کند. لذا هدف از مطالعه حاضر مروری بر تأثیر انواع تمرینات توان‌بخشی بر مکانیک راه‌رفتن و دویدن در افراد دارای پرونیشن پا بود.

روش شناسی

مطالعه حاضر از نوع مروری سیستماتیک بود. جستجوی مقالات از ابتدای سال ۲۰۱۸ تا ماه مارس ۲۰۲۵ در پایگاه‌های استنادی وب‌آوساینس، پایگاه مرکز اطلاعات علمی و جهاد دانشگاهی، مگ‌ایران، اسکاپوس، پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، پاب‌مد و گوگل‌اسکولار به زبان فارسی و لاتین انجام گرفت. برای استخراج مقالات از کلید واژه‌های پای پرونیت، ارتز پا، حمایت از قوس پا، فشار کف‌پایی، تمرینات اصلاحی، بیومکانیک راه‌رفتن، دویدن، فعالیت الکترومایوگرافی عضلات، مداخلات کفش استفاده شد. معیارهای ورود و خروج مطالعه شامل مواردی از قبیل: ۱- افراد مبتلا به پای پرونیت ۲- مطالعاتی با نتایج کمی (اعداد و ارقام) و کیفی (توصیفی) در رابطه با تغییرات بیومکانیکی و عملکرد حرکتی ۳- مطالعات با محوریت تأثیر مداخلات روی دویدن و راه‌رفتن افراد مبتلا به پای پرونیت ۴- لزوم استفاده از انواع مداخلات درمانی و توان‌بخشی بود. از معیارهای خروج می‌توان به آزمودنی‌های غیر بیماران مبتلا به پای پرونیت، مطالعاتی که از روش‌های نادرست و غیراستاندارد در ارزیابی مداخلات درمانی استفاده کرده بودند، سال مطالعه پایین‌تر از ۲۰۱۸ و عدم دسترسی به فایل مقالات مرتبط با هدف مطالعه می‌توان اشاره کرد. ۸۲ مقاله مرتبط بر اساس معیارهای ورود و خروج انتخاب شدند. پس از بررسی دقیق مقالات، ۲۱ مقاله باکیفیت مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. اعتبارسنجی مقالات توسط پرسشنامه دان و بلک مورد بررسی قرار گرفت (۳۱). به‌علاوه شکل ۱، روند انتخاب مقالات مطالعه مروری حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۱. روند جستجو، بررسی و انتخاب مقالات

نتایج

ارزیابی مقالات توسط پرسشنامه دان و بلک[1]مورد بررسی قرار گرفت (۲۶). وجود هرگونه اختلاف در نمره‌دهی مقالات توسط نویسندگان به‌صورت جداگانه بررسی شد و مواردی که مابین آن نویسندگان دارای اختلاف‌نظر بودند پس از مشورت و بحث در این خصوص نمره‌دهی شد تا خطا در نمره‌دهی به حداقل برسد. میانگین امتیاز برای مطالعاتی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند بر اساس پرسشنامه دان و بلک از کیفیت ۸۴/۰۵ درصدی برخوردار بودند. لازم به ذکر است که در خصوص نمرات کیفیت مقالات در ستون که بر حسب درصد بیان شده است از رابطه زیر استفاده گردید:

1. Downs & Black

۱۰۰*(۳۱ / نمره کل)=کیفیت مقالات (بر حسب درصد)

بر اساس جدول ۱، ارزیابی کیفیت مقالات توسط پرسشنامه دان و بلک مورد بررسی قرار گرفت (۲۶). این پرسشنامه در قالب ۲۷ سؤال طراحی شده است نمراتی که به سؤالات اختصاص می‌یابد عدد ۱ یا ۰ است، اختصاص عدد یک به معنای تأیید و صفر به معنای رد است. لازم به ذکر است تنها در خصوص سؤال ۲۷ این پرسشنامه عددی مابین ۵-۰ اختصاص می‌یابد. اختصاص عدد ۵ یا عددی نزدیک به آن نشان‌دهنده باکیفیت بودن مقاله و اختصاص عدد صفر و یا عددی نزدیک به آن نشان‌دهنده پایین بودن کیفیت مقاله به لحاظ استناددهی است. در این مطالعه تعداد ۸۲ مقاله به دست آمد که از بین تعداد ۱۱ مقاله به دلیل تکراری بودن و قدیمی بودن انجام پژوهش، ۳۱ مقاله به دلیل عدم استفاده از مداخلات توان‌بخشی و ۲۲ مقاله به دلیل عدم استفاده انجام پژوهش طی راه‌رفتن و دویدن از مطالعه حذف شدند. در نهایت ۲۱ مقاله شامل، ۱۱ مقاله با محوریت استفاده از مداخلات درمانی طی راه‌رفتن و ۱۰ مقاله طی دویدن از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۵ به مطالعه نهایی وارد شدند. بر اساس جدول ۲ حجم نمونه آماری استفاده شده برای بررسی تأثیر مداخلات توان‌بخشی طی راه‌رفتن از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ با توجه به مقالات به‌دست‌آمده در مجموع شامل افراد مبتلا به پای پرونیت ۲۳۵ بود که شامل یک مطالعه روی زنان (۳۱)، دو مطالعه بدون ذکر جنسیت (۲۷, ۲۸)، دو مطالعه روی هر دو جنسیت زن و مرد (۷, ۳۱) و پنج مطالعه روی مردان (۱۱, ۲۷, ۲۹, ۳۲, ۳۳) بودند.

جدول ۱. کیفیت مقالات بر اساس بر اساس پرسش‌نامه دان و بلک

نویسندگان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	درصد کیفیت
ساهان و همکاران (۲۷)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۵	۸۷/۰۹
همالاسا و همکاران (۲۸)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۵	۸۷/۰۹
علیزاده و همکاران (۲۹)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۴	۸۳/۸۷
کاواکامی و همکاران (۱۱)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۴	۸۷/۰۹
پیری و همکاران (۳۰)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹۳/۵۴
صمدی و همکاران (۳۱)	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۳	۶۷/۷۴
علوی مهر و همکاران (۳۲)	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۴	۷۷/۴۱
کاکاوند و همکاران (۳۳)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۳	۸۰/۶۴
کوستا و همکاران (۷)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۴	۹۰/۳۲
پنگ و همکاران (۲۷)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۴	۸۷/۰۹

علوی مهر و همکاران (۳۴)	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۳	۷۴/۱۹
اتابدی و همکاران (۳۵)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۵	۸۷/۰۹
چن و همکاران (۳۶)	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۵	۸۰/۶۴
فتح الهی و همکاران (۳۷)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹۳/۵۴
جعفر نژاد گرو و همکاران (۳۸)	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹۰/۳۲
زنگ و همکاران (۳۹)	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۵	۸۰/۶۴
جعفر نژاد گرو و همکاران (۴۰)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹۳/۵۴
لی و همکاران (۴۱)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۴	۸۷/۰۹
می و همکاران (۴۲)	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۳	۷۴/۱۹
جعفرنژاد گرو و همکاران (۴۳)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۴	۹۰/۳۲
یانگ و همکاران (۴۴)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۴	۸۳/۸۷

ابزارهای استفاده شده در این مقالات شامل الکترومایوگرافی سطحی، استفاده شده در چهار مطالعه (۲۷–۳۰) ارتز پا در چهار مطالعه (۴۵، ۳۴، ۲۹، ۲۶) سیستم سه‌بعدی ضبط حرکت در دو مطالعه (۱۱, ۳۱) صفحه نیرو در دو مطالعه (۷, ۳۳) و شاخص وضعیت پا در یک مطالعه (۲۸) بودند. مداخلات توان‌بخشی در این مقالات نیز تمرینات ورزشی شامل تمرینات در حالت نشسته و ایستاده (۲۷)، تمرینات کوتاه پا، تمرینات تقویتی عضلات داخلی مچ پا و تمرینات راه‌رفتن روی انگشتان پا (۲۸)، تمرینات در آب و تمرینات با تراباند (۳۰، ۲۸) استفاده از ارتز در دراز مدت و کوتاه مدت (۲۷, ۳۱–۳۳) کفش و کفی (۷, ۳۱) و راه‌رفتن (۱۱) و استفاده از اثرات تنفس در کنار تمرینات تقویتی (۲۷) بود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات، مقالاتی که از تمرینات کوتاه پا همراه با اثر تنفس استفاده کرده بودند نتیجه گرفتند که این تمرینات باعث افزایش فعالیت عضلات تیبیالیس قدامی و خلفی، ابداکتور بلند شست می‌گردد (۲۷). همچنین تمرینات راه‌رفتن روی انگشتان نیز باعث بهبود عملکرد و تقویت عضلات داخلی مچ پا می‌شود (۲۸) نتایج حاصل از مداخلات کفی و ارتز نشان دادند که استفاده از کفی باعث افزایش فرکانس متوسط عضلات راست رانی، دو قلو داخلی در مرحله بارگذاری، افزایش محتوای فرکانس

عضله پهن خارجی در مرحله میانه اتکا و کاهش لحظه انحراف مچ پا در راه‌رفتن در مردان و زنان دارای پای پرونیت می‌گردد. همچنین استفاده از ارتز باعث کاهش بارگذاری فاشیای کف‌پا به میزان ۵ تا ۱۵/۴ درصد شده است. به‌علاوه ارتز نیز باعث بهبود آهنگ، طول گام و طول قدم در کفش‌های دویدن در مقایسه با گروه ارتز می‌شود. به‌علاوه ارتز باعث افزایش اداکشن زانو در راه‌رفتن و دویدن، کاهش زاویه اداکشن، افزایش گشتاور خارجی و کاهش نیروی میانی–جانبی عکس‌العمل زمین در مردان و زنان مبتلا به پای پرونیت می‌گردد (۷, ۲۷, ۳۱–۳۳). مطالعاتی که از تمرین در آب با ترابند و تمرینات با ترابند به همراه ارتز استفاده کرده بودند نشان دادند که تمرینات در آب با ترابند در دراز مدت باعث افزایش فعالیت الکتریکی عضلات دو قلو و نیمه وتری شد (۲۸, ۳۰).

جدول ۲. بررسی مداخلات تمرینی طی راه‌رفتن در افراد دارای پای پرونیت

نویسنده	هدف	حجم نمونه	مداخله / ابزار	نتیجه
ساهان و همکاران (۲۷)	مقایسه اثرات تنفس ترکیبی و وضعیت ورزش (نشسته یا ایستاده) بر فعالیت عضلانی پا و مچ پا در تمرینات کوتاه پا(SFE) در افراد مبتلا به پای پرونیت	۱۵ فرد مبتلا به پای پرونیت	تمرینات کوتاه پا با و بدون تمرین تنفسی در حالت نشسته و ایستاده /الکترومایوگرافی سطحی	فعالیت عضلانی در تیبیالیس قدامی، تیبیالیس خلفی و ابداکتور بلند شست در تمرینات کوتاه پا با تمرین تنفس نسبت به حالت بدون تنفس در وضعیت ایستاده نسبت به حالت نشسته به‌طور معنی‌داری بیشتر بود.
هماتالا و همکاران (۲۸)	مقایسه تمرینات راه‌رفتن روی انگشتان پا و تمرینات درونی پا بر پای پرونیت	۴۰ فرد مبتلا به پای پرونیت (۲۰ نفر گروه تمرینات پیاده‌روی با انگشتان پا– ۲۰ نفر گروه تقویت عضلات درونی پا)	تمرینات تقویتی عضلات داخلی پا، تمرین راه‌رفتن روی انگشتان پا/ شاخص وضعیت پا	نتایج تجزیه‌وتحلیل یک تفاوت آماری معنی‌دار را به نفع گروه تمرین عضلات داخلی پا نشان داد. این نشان می‌دهد که افراد این گروه در مقایسه با افرادی که در گروه راه‌رفتن با انگشتان پا بودند، بهبود بیشتری را در کف‌پای صاف خود تجربه کردند.
علیزاده و همکاران (۲۹)	بررسی تأثیر حاد استفاده از کفی‌های ضد پرونیشن بر محتوای فرکانس عضلانی در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی و مبتلا به پای پرونیت در حین راه‌رفتن	۱۳ مرد با بازسازی رباط صلیبی قدامی و مبتلا به پای پرونیت	ارتز /الکترومایوگرافی سطحی	نتایج نشان داد که گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پاهای پرونیت در رکتوس فموریس و گاستروکنمیوس داخلی در مرحله بارگذاری نسبت به گروه سالم، فرکانس متوسط بالاتری داشتند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که محتوای فرکانس واستوس خارجی در مرحله مید استانس با ارتزهای پا در مقایسه با بدون آن بیشتر بود.
کاواکامی و همکاران (۱۱)	تأثیر پای پرونیت شده (چرخش مچ پا به داخل) بر رفتار و کارایی انرژی در هنگام راه‌رفتن	۲۴ مرد جوان سالم و مبتلا به پای پرونیت	همه راه‌رفتن آزمودنی‌ها روی زمین و تلاش برای تماس قسمت‌های عقب و جلو پا با صفحات نیروی مجزا جهت تجزیه‌وتحلیل نیروهای وارد بر مناطق جداشده در پا/سیستم سه‌بعدی ضبط حرکت	هیچ تفاوتی در کار مفصل میانی تارسال بین پای پرونیت و پای خنثی وجود نداشت. از سوی دیگر، پای پرونیت کار منفی خالص بیشتری را در ساختارهای دیستال جلوی پا در طول راه-رفتن نشان داد. پای پرونیت در مقایسه با پای خنثی، کار مثبت خالص کمتری را در مچ پا و مرکز جرم در حین راه‌رفتن نشان داد.
پیری و همکاران (۳۰)	تأثیر تمرینات در آب و تراباند بر فعالیت الکتریکی عضلات اندام تحتانی در افراد مبتلا به پای پرونیت در حین راه‌رفتن	۴۵ مرد مبتلا به پای پرونیت	هشت هفته تمرین در آب و تمرین با تراباند/ الکترومایوگرافی سطحی	فعالیت عضله گاستروکنمیوس و عضله نیمه وتری در پس‌آزمون نسبت به پیش آزمون در گروه تمرین در آب و تراباند افزایش معنی‌داری داشت.

صمدی و همکاران (۳۱)	بررسی تأثیر تمرینات تخصصی کیوکوشین کاراته بر فعالیت عضلات ساق پا و ارتفاع قوس طولی میانی در دختران نوجوان مبتلا به پرونیشن پا	۲۴ دختر جوان مبتلا به پای پرونیت	هشت هفته تمرینات تخصصی کیوکوشین کاراته/ الکترومایوگرافی سطحی	میزان فعالیت عضلات تیبیالیس قدامی و گاستروکنمیوس خارجی در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری داشت. در گروه تمرین، فعالیت هر سه عضله اندازه‌گیری شده فیبولاریس لانگوس، تیبیالیس قدامی و گاستروکنمیوس جانبی، از پس‌آزمون تا پیش‌آزمون افزایش معنی‌داری داشت.
علوی‌مهر و همکاران (۳۲)	تأثیر یک پروتکل ورزشی منتخب بر فعالیت عضلات تنه و اندام تحتانی سالمندان مبتلا به کمردرد و پاهای پرونیت حین راه‌رفتن	۳۲ مرد مبتلا به کمردرد و پای پرونیت (کنترل ۱۵ نفر، فقط با پرونیشن پا و تجربی ۱۷ نفر، با هر دو کمردرد و پا پرونیشن پا)	گروه آزمایش به مدت ۱۲ هفته و هر هفته ۳ جلسه تمرین مقاومتی با تراباند انجام دادند/ سیستم الکترومایوگرافی بی‌سیم با ۹ جفت الکترود سطحی دوقطبی	نتایج حاکی از اثرات اصلی معنی‌دار «زمان» برای ارکتور اسپاینا در افست سطح مهره سوم کمری، اثرات اصلی «گروهی» برای افست قدامی تیبیالیس و برای ارکتور اسپاینا در سطح مهره سوم کمری افست بود.
کاکاوند و همکاران (۳۳)	تأثیر ارتزهای بدون نسخه بر راه‌رفتن در شرکت‌کنندگان با پرونیشن بیش‌ازحد	۱۰ مرد و زن مبتلا به پای پرونیت	راه‌رفتن در سه مرحله با کفش دویدن، پا برهنه و با استفاده ارتز با کفش دویدن در قسمت داخلی پا /دوربین‌های سه‌بعدی	آهنگ، طول گام و طول قدم در کفش‌های دویدن در مقایسه با گروه ارتزی بدون نسخه بهبود یافت؛ اما تفاوت معنی‌داری بین کفش دویدن و ارتزهای بدون نسخه وجود نداشت.
کوستا و همکاران (۷)	آیا دوز–پاسخ کفی‌های گوه‌ای داخلی بر روی بیومکانیک اندام تحتانی در افرادی که پای پرون شده در حین راه‌رفتن و دویدن دارند وجود دارد؟	۹ زن و ۷ مرد مبتلا به پای پرونیت	استفاده از چهار نوع کفی/ صفحه نیرو	برای دویدن، کفی‌های ۶ درجه و ۹ درجه زاویه انحراف مچ پا را در طول ایستادن اولیه کاهش یافت و انحراف مچ پا را در طول ایستادن اولیه کاهش دادند. کاهش لحظه انحراف مچ پا در راه‌رفتن و دویدن برای کفی‌های ۶ درجه و ۹ درجه مشاهده شد. افزایش لحظه ادداکشن زانو در راه‌رفتن و دویدن برای همه کفی‌ها رخ داد. برای لگن، کفی‌های ۶ درجه و ۹ درجه، در حین راه‌رفتن، کاهش زاویه اداکشن لگن و افزایش در اداکشن لگن و گشتاورهای چرخش خارجی را نشان دادند.
پنگ و همکاران (۴۵)	بررسی و تعیین کمیت تأثیر ارتفاعات نگهدارنده قوس بر روی بیومکانیک داخلی پا در طول ایستادن راه‌رفتن	یک مرد جوان بالغ مبتلا به پای پرونیت	ارتز /نیروهای عضلانی در طول راه‌رفتن توسط یک مدل چند بدنه محاسبه شد و برای رانندگی مدل اجزای محدود پا استفاده شد.	شارهای اوج پا در ایستادن متعادل و نیروی عمودی عکس‌العمل زمین دوم با افزایش ارتفاع تکیه‌گاه قوس کاهش می‌یابد .بااین‌حال، اوج فشار میانی پا در تمام لحظات شبیه‌سازی‌شده افزایش یافته است. در همین حال، حمایت قوس بالا باعث کاهش بارگذاری فاسیای کف‌پا به میزان ۵٪ تا ۱۵,۴٪ در نواحی پروگزیمال شد اما در نواحی میانی و دیستال افزایش یافت.
علوی‌مهر و همکاران (۳۴)	اثر حاد ارتز پا بر دامنه فرکانس نیروهای واکنش زمین در کودکان پسر با صافی کف‌پای انعطاف پذیر در حین راه‌رفتن	۱۵ کودک پسر مبتلا به پای پرونیت	ارتزهای ساپورت قوس پا /صفحه نیروی کیستلر	استفاده از ارتز پا فرکانس نیروی واکنش زمین میانی–جانبی اندام غیر غالب را با توان ۹۹,۵٪ کاهش داد

در مطالعات صورت گرفته از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۴ در زمینه تأثیر مداخلات توان‌بخشی در افراد مبتلا به پای پرونیت طی دویدن تعداد ۱۰ مقاله مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). حجم نمونه آماری در این مقالات در مجموع تعداد ۲۳۴ فرد مبتلا به پای پرونیت بود. در این بررسی جنسیت در دو مقاله نامعلوم بود (۴۱, ۴۳) پژوهش روی زنان در دو مقاله (۳۶, ۴۳)، پژوهش روی دونده‌ها شامل دونده‌های تفریحی در (۳۶, ۳۹, ۴۲, ۴۳) روی مردان چهار (۳۷, ۳۸, ۴۰, ۴۲) استفاده از دو جنسیت یک مقاله بود (۳۵). ابزارهای استفاده شده در این مطالعات شامل استفاده از الکترومایوگرافی سطحی در چهار مقاله (۳۷, ۳۸, ۴۰, ۴۲) صفحه نیرو در پنج مقاله(۳۵, ۳۷, ۴۲–۴۴) سیستم تحلیل حرکت در دو مقاله (۳۶, ۴۱) بود. مداخلات توان‌بخشی به کار گرفته شده در این مطالعات شامل استفاده از انواع کفش شامل، کفش کنترل، کفش ورزشی، کفش دو میدانی و ارتز در پنج مقاله بود (۳۵, ۳۹, ۴۰, ۴۳, ۴۴). تعداد دو مقاله به ترتیب از آب‌درمانی و تمرین دویدن روی شن و ماسه (۳۷, ۳۸) و از نوار کینزیوتیپ و تراباند نیز در دو مطالعه (۳۵, ۴۱) استفاده کرده بودند. نتایج حاصل از استفاده از نوار، کینزیوتیپ و کفی نیز نشان دادند استفاده از نوار در کنار ارتز باعث کاهش نیروی عکس‌العمل قدامی–خلفی زمین در گروه ارتز نسبت به گروه نوار کم‌رنگ شد. همچنین مطالعاتی که از کینزیوتیپ استفاده کرده بودند نتیجه گرفتند که کینزیوتیپ باعث کاهش زاویه چرخش افزایش حداکثر نیروی وارد شده به جلوی پا و کاهش نیرو در میانه پا می‌گردد (۳۵, ۳۶). استفاده از کفی طی دویدن مسیر مرکز فشار را به سمت خارج جابجا می‌کند (۴۴). مطالعاتی که از ارتز و کفش‌های کنترل، کفش‌های ورزشی و دو میدانی استفاده کرده بودند نشان دادند که استفاده از ارتز باعث کاهش انتگرال نیرو–زمان در استخوان کف‌پایی دوم و پاشنه داخلی، کاهش در بار تاندون آشیل شد (۳۵, ۳۹, ۴۱)، همچنین کفش‌های دو میدانی باعث افزایش فراوانی عضلات تیبیالیس قدامی، سرینی میانی در مرحله بارگذاری حین دویدن در مقایسه با کفش‌های معمولی بیشتر بود. کفش‌های کنترل نیز باعث نرخ بارگذاری کمتری در مقایسه با کفش خنثی شد (۴۰, ۴۳).

جدول ۳. مداخلات تمرینی طی دویدن در افراد دارای پرونیت

نویسنده/سال	هدف	حجم نمونه	مداخله / ابزار	نتیجه
اتاابدی و همکاران (۳۵)	مقایسه اثرات ارتز پا و نوار ضد پرونیشن بر جابجایی مرکز فشار و نیروی عکس‌العمل زمین بر دویدن افراد دارای کف‌پای پرونیت	۲۰ جوان مبتلا به پای پرونیت (۱۲ مرد و ۸ زن)	کفش‌های ورزشی، کفش‌های ورزشی با ارتز پا (FO) و کفش‌های ورزشی با نوار کم‌رنگ (LD) /صفحه نیرو	ارتز پا باعث کاهش نیروی عکس‌العمل قدامی- خلفی در مقایسه با نوار کم‌رنگ و افزایش نیروی عکس-العمل خارجی در مقایسه با کفش‌های ورزشی به‌تنهایی می‌شود.
چن و همکاران (۳۶)	تأثیر ارتزهای پا و نوار Kinesio بر پارامترهای فضایی–زمانی و کینتیکی راه-رفتن در حین دویدن در افراد مبتلا به پا صاف	۲۰ زن دونده مبتلا به پای پرونیت	ارتز، کینزیوتیپ/ سیستم تحلیل حرکت، تردمیل	در شرایط استفاده از ارتز پا و نوار Kinesio ، زاویه چرخش پا به‌طور معناداری کاهش یافته است. حداکثر نیروی وارد شده و فشار در ناحیه پای جلو (Forefoot) به‌طور معناداری افزایش یافته است، درحالی‌که فشار در ناحیه میانه پا (Midfoot) به‌طور معناداری کاهش یافته است.
فتح الهی و همکاران (۳۷)	بررسی تأثیر آب‌درمانی بر فعالیت‌های عضلانی و سینتیک دویدن در مردان بالغ مبتلا به پای پرونیت	۳۰ مرد بالغ مبتلا به پای پرونیت	آب‌درمانی/ /صفحه نیرو، الکترومایوگرافی سطحی	در مرحله اولیه فاز اتکا گروه آزمایش، فعالیت‌های عضلانی تیبیالیس قدامی دو قلو داخلی و گلوتئوس مدیوس بعد از پس‌آزمون نسبت به پیش آزمون به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود.
جعفر نژاد گرو و همکاران (۳۸)	بررسی تأثیر تمرینات طولانی‌مدت بر روی شن و ماسه بر فراوانی عضلات اندام تحتانی در حین دویدن در دوندگان با پای پرونیت بیش‌ازحد	۳۰ فرد با پای پرونیت	تمرین شن و ماسه شامل دویدن با پای‌برهنه به مدت ۸ هفته /الکترومایوگرافی	محتوای فرکانس برای سرینی میانی دو قلو در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش یافت.

زنگ و همکاران (۳۹)	تعیین اثرات دوز–پاسخ ارتزهای پا با اجزای گوه و قوس جلویی پا بر مسیرهای مرکز فشار و توزیع فشار در حین دویدن در پاهای پرونیت	۵۰ دونده تفریحی مبتلا به پای پرونیت	نقشه‌برداری پارامتریک آماری یک‌بعدی	تقریباً همه ارتزها باعث کاهش انتگرال نیرو–زماندر متاتارس دوم و پاشنه داخلی می‌شوند و تنها گوه‌های میانی جلوی پا باعث کاهش انتگرال نیرو–زمان در هالوکس می‌شوند .یک اثر خطی گوه‌های جلوی پا بر روی جابجایی‌های جابجایی مرکز فشار ناحیه داخلی–جانبی در طول مرحله پیش‌رانش وجود داشت،
جعفر نژاد گرو و همکاران (۴۰)	تأثیر کفش حاوی دو سفتی متفاوت بر طیف فرکانس عضلات حین دویدن در بیماران مبتلا به پای پرونیت	۱۵ مرد مبتلا به پای پرونیت	کفش دو میدانی/ الکترومایوگرافی سطحی	فراوانی تیبیالیس قدامی و گلوتئوس مدیوس در مرحله بارگذاری در حین دویدن با کفش‌های دو و میدانی با چگالی دوبل در مقایسه با کفش‌های سنبله معمولی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود
لی و همکاران (۴۱)	مقایسه بار تاندون آشیل در حین دویدن در شرکت‌کنندگان با کف‌پای صاف با استفاده از ارتزهای پشتیبانی از قوس در مقابل لیفت پاشنه ارتز	۱۲ فرد مبتلا به پای پرونیت	دویدن بدون ارتز، با ارتز پشتیبانی قوس سفارشی با لیفت پاشنه ارتز/ سیستم ضبط حرکت	شرکت‌کنندگانی که با ارتز پشتیبانی قوس سفارشی با لیفت پاشنه ارتز با کاهش قابل‌توجهی در بار تاندون آشیل در مقایسه با بدون ارتز همراه بودند.
می و همکاران (۴۲)	بررسی تغییرات در وضعیت پا، کینماتیک مفصل، گشتاورهای مفصلی و نیروهای تماس مشترک در اندام تحتانی پس از دویدن روی تردمیل	۲۰ دونده مرد تفریحی مبتلا به پای پرونیت	راه‌رفتن روی زمین و دویدن ۵ کیلومتری روی تردمیل/ صفحه نیرو، الکترومایوگرافی	گشتاورهای مفصل ران و نیروهای تماسی در طول تماس اولیه پا به دنبال ۵ کیلو دویدن افزایش یافت . گشتاور ابداکشن زانو و نیروی تماس زانوی فوقانی–تحتانی افزایش یافته، درحالی‌که گشتاور اکستنشن زانو کاهش یافته است .گشتاور پلانتار فلکشن مچ پا و نیروهای تماس مچ پا در طول ایستادن افزایش یافت
جعفر نژاد گرو و همکاران (۴۳)	کفش‌های کنترل حرکت به حفظ سطوح نرخ پایین بارگذاری در حین خستگی دویدن در دوندگان زن کمک می‌کنند.	۲۲ زن دونده مبتلا به پای پرونیت	پروتکل خسته‌کننده دویدن روی تردمیل را با استفاده از یک کفش خنثی یا یک کفش کنترل حرکت در دو نوبت جداگانه/ صفحه نیرو	دوندگان مبتلا به پای پرونیت نرخ بارگذاری عمودی کمتری را با کفش‌های کنترل حرکت در مقایسه با کفش‌های خنثی و پس از خستگی ارائه کردند.
یانگ و همکاران (۴۴)	اثرات کفی‌های سفارشی‌سازی شده با چاپ سه‌بعدی بر کینماتیک پیاده‌روی و دویدن با پای پرونیت	۱۵ فرد مبتلا به پای پرونیت	کفی سفارشی‌شده با پرینت سه‌بعدی/ صفحه نیرو	فی‌های سفارشی‌شده با پرینت سه‌بعدی تأثیر قابل‌توجهی بر زوایای مفصل مچ پا در شرایط راه‌رفتن و دویدن نداشتند .بااین‌حال، آن‌ها مسیر مرکز فشار (COP)را در طول راه‌رفتن سریع به سمت جانبی جابجا کردند که توزیع بار روی پا را در مرحله ایستادن افزایش داد.

بحث

هدف از مطالعه حاضر مروری بر تأثیر مداخلات توان‌بخشی بر بیومکانیک راه‌رفتن و دویدن در افراد دارای پای پرونیت بود. با توجه به مطالعات صورت گرفته، نتایج نشان داد که انجام تمرینات توان‌بخشی مانند تمرینات کوتاه پا، تمرینات با تراباند و تمرینات کلینیکی جهت تقویت عضلات درونی و عضلات مچ پا به ترتیب می‌توانند باعث تقویت عضلات کوچک مچ پا، تقویت عضله تیبیالیس خلفی و حمایت از قوس پا و بهبود الگوی حرکتی و افزایش فعالیت عضلات مچ پا کمک کنند. به‌علاوه استفاده از ارتز و کفی می‌تواند میزان پرونیشن را کاهش داده و نیروی وارده به پا را متعادل کند. همچنین، باعث بهبود توزیع فشار در کف‌پا شده و استرس را از روی ساختارهای حساس کاهش می‌دهند. یافته‌های محققانی که از تمرینات تقویتی شامل تمرینات کوتاه پا و تمرینات راه‌رفتن روی انگشتان پا در مقابل تقویت عضلات درونی پا استفاده کرده بودند، نتیجه گرفتند که این تمرینات باعث افزایش فعالیت عضلات تیبیالیس قدامی و خلفی، ابداکتور بلند شست و بهبود قوس کف‌پا در پای پرونیت طی راه‌رفتن در افراد مبتلا به پای پرونیت به‌خصوص در نتیجه تمرینات تقویتی عضلات درونی پا می‌گردد (۲۷, ۲۸). این یافته‌ها نشان می‌دهند که روش‌های مختلف تمرینی، چه از

طریق تقویت مستقیم عضلات داخلی و چه از طریق تغییر در الگوی حرکتی می‌توانند به افزایش پایداری و کارایی سیستم حرکتی پا در افراد مبتلا به پای پرونیت طی راه‌رفتن منجر شود. از مزایای پژوهش‌های حاضر می‌توان به حجم نمونه وسیع و مقایسه متغیرهای بیومکانیکی طی راه‌رفتن در نتیجه مقایسه دو شرایط تمرینی اشاره کرد.

در این بین، مطالعات شامل پروتکل استفاده از تراباند به‌صورت ترکیبی مانند تمرین در آب با تراباند و تمرین با تراباند به تنهای نیز نشان دادند که در نتیجه استفاده از این تمرینات فعالیت عضلات دو قلو و نیمه وتری در طی راه‌رفتن در افراد مبتلا به پای پرونیت افزایش می‌یابد. (۳۰, ۴۵). محیط آب می‌تواند عاملی مانند شناوری و مقاومت آب را وارد معادله کند که ممکن است تأثیر متفاوتی روی میزان درگیری عضلات داشته باشد. ازآنجایی‌که هر دو تحقیق افزایش فعالیت عضلانی را گزارش کرده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که تمرین با تراباند چه در آب و چه در خشکی، می‌تواند از طریق تقویت عضلات و بهبود انعطاف‌پذیری و فعالیت الکتریکی عضلات باعث تقویت عضلات پا در افراد مبتلا به پای پرونیت مفید واقع گردد که این مورد می‌تواند دلیل همسویی دو مطالعه مذکور باشد (۴۶). نتایج مطالعات حاصل از استفاده از ارتز نشان داد که استفاده از ارتز در افراد مبتلا به پای پرونیت طی راه‌رفتن باعث کاهش فرکانس نیروی عکس‌العمل در ناحیه میانی- خارجی اندام غالب کاهش می‌یابد. از طرفی اوج نیروی عکس‌العمل زمین با افزایش تکیه‌گاه قوس کاهش پیدا می‌کند. همچنین، اوج فشار میانی در عضلات شبیه‌سازی‌شده افزایش می‌یابد. همچنین گزارش شده است استفاده از کفی باعث افزایش فرکانس متوسط عضلات رکتوریس فموریس و دو قلو داخلی در مرحله بارگذاری اولیه در افراد مبتلا به پای پرونیت طی راه‌رفتن می‌گردد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ارتز با توزیع بهتر نیرو در پا، فشار را در ناحیه میانی- خارجی کاهش، ضربات را جذب و فعالیت عضلات میانی پا را افزایش می‌دهد (۲۹, ۳۴, ۴۵). همچنین، استفاده از ارتز در این مطالعات نشان می‌دهد که این مداخله می‌تواند از طریق تعدیل نیروهای بیومکانیکی وارد بر پا و بهینه‌سازی الگوهای حرکتی، تأثیرات مثبتی بر عملکرد عضلانی و ساختاری داشته باشد؛ اما مطالعه دیگری نشان داد که استفاده از کفش در مقایسه با ارتز بدون نسخه باعث بهبود آهنگ، طول گام و طول قدم می‌گردد (۳۳). در مجموع با توجه به نتایج هر دو ابزار کفش و ارتز در این سه مطالعه به شیوه‌های متفاوت می‌توانند با حمایت از قوس پا عملکرد حرکتی را بهبود بخشند و از آسیب‌های احتمالی جلوگیری کنند. حجم کم نمونه آماری از معایب این تحقیقات به شمار می‌رود.

مطالعاتی با هدف بررسی متغیرهای بیومکانیکی طی دویدن نیز در افراد مبتلا به پای پرونیت از مداخلاتی مانند نوار تراباند و کینزیوتیپ استفاده کرده‌اند. یک مطالعه نیروی عکس‌العمل زمین افراد مبتلا به پای پرونیت را در سه موقعیت شامل، کفش ورزشی، کفش ورزش ورزشی با ارتز و کفش ورزشی با نوار روشن (مقاومت پایین) بررسی کرده بود. نتایج این مطالعه نشان داد نیروی عکس‌العمل قدامی-خلفی زمین در کفش‌های ورزشی با ارتز در مقایسه با کفش‌های ورزشی با نوار کم‌رنگ می‌گردد (۳۵). مطالعه دیگری نیز با پروتکل مشابه شامل استفاده از کفش کنترل در مقایسه با ارتز نتیجه گرفت که انتگرال نیرو-زمان در استخوان کف‌پایی دوم و پاشنه داخلی کاهش می‌یابد. همچنین گوه‌های میانی جلوی پا باعث کاهش انتگرال نیرو-زمان در پاشنه می‌شود (۳۹). به‌علاوه مطالعاتی نیز از انواع کفش به‌تنهایی و بدون استفاده از ارتز نشان دادند که کفش‌های دو میدانی در مقایسه با کفش معمولی باعث افزایش فعالیت عضلات تیبیالیس قدامی و سرینی میانی در مرحله بارگذاری حین دویدن می‌گردد و نرخ بارگذاری عمودی کمتری با کفش کنترل در مقایسه با کفش خنثی در استفاده جداگانه از هرکدام وجود دارد (۴۰, ۴۳). در مقابل مطالعات دیگر که تنها از ارتز استفاده کرده بودند نشان دادند که ارتز به‌تنهایی باعث کاهش بار تاندون آشیل و جابجایی مسیر مرکز فشار به سمت خارج می‌شود (۴۱, ۴۴). با توجه به یافته‌ها استفاده از کفش به‌تنهایی در مقایسه با استفاده از هم‌زمان از کفش ارتز می‌تواند مفید باشد؛ اما به نظر می‌رسد اثرات آن در اصلاح مشکلات بیومکانیکی برای افراد مبتلا به پای پرونیت کمتر تأثیر بگذارد. لذا استفاده هم‌زمان از کفش

از ارتز به شکل مؤثری می‌تواند در کاهش بارها و افزایش فعالیت عضلانی و بهبود عملکرد در افراد مبتلا به پای پرونیت طی دویدن عمل کند. دلیل این امر این است که ارتز و کفش با اصلاح راستای پا، کاهش پرونیشن، جذب شوک و حمایت از قوس کف‌پا، فعالیت عضلانی را افزایش داده و عملکرد دویدن را در افراد با پای پرونیت بهبود می‌بخشند (۴۶). نتایج حاصل از استفاده ترکیبی از ارتز و نوار کینزیوتیپ نیز زاویه چرخش پا را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد و باعث افزایش حداکثر نیروی وارد شده و فشار در ناحیه جلو پا می‌گردید و همچنین، فشار در ناحیه میانی پا را کاهش می‌دهد (۳۶). ترکیب ارتز و نوار کینزیوتیپ، با کاهش چرخش پا و توزیع بهینه فشار در پا، پشتیبانی فوری از مفاصل و افزایش حس موقعیت بدن را فراهم می‌کند. مطالعاتی از مداخلات تمرینی مانند تمرینات طولانی‌مدت روی شن و ماسه و آب‌درمانی استفاده کرده بودند. نتایج این مطالعات حاکی از افزایش محتوای فرکانس عضلات سرینی میانی و دو قلو در نتیجه تمرینات طولانی‌مدت روی شن و ماسه در افراد مبتلا به پای پرونیت طی دویدن بود. در مقابل آب‌درمانی باعث افزایش فعالیت عضلات تیبیالیس قدامی و دو قلو داخلی در مرحله اولیه فاز بارگذاری گردید. (۳۷, ۳۸). دلیل افزایش فعالیت عضلات تیبیالیس قدامی و دو قلو داخلی در آب‌درمانی، کاهش بار گرانشی و افزایش نیروهای مقاومتی ناشی از حرکت در آب است که باعث می‌شود این عضلات برای حفظ تعادل و کنترل حرکات بیشتر فعال شوند (۴۶). از مزایای استفاده از آب‌درمانی می‌توان به خاصیت شناوری آب که باعث کاهش فشار روی مفاصل و بافت‌ها می‌شود اشاره کرد. هر دو پروتکل استفاده شده در دو مطالعه فوق به دلیل ایجاد مقاومت خارجی (تمرین در آب و روی شن و ماسه) به افزایش فعالیت عضلانی کمک کرده و در بهبود تعادل و ثبات طی دویدن در افراد مبتلا به پای پرونیت می‌توانند مفید باشند.

نتیجه‌گیری نهایی

مداخلات توان‌بخشی از قبیل تمرینات ورزشی، استفاده از نوارهای ترابند، کینزیوتیپ، استفاده از انواع ارتزها، کفش‌ها و کفی‌ها طی راه‌رفتن و دویدن به‌طورکلی می‌توانند به اصلاح حرکت، کاهش فشار و پیشگیری از آسیب‌ها کمک کند. این مداخلات معمولاً باعث بهبود عملکرد عضلانی و پایداری حرکتی می‌شوند که در نهایت به کاهش درد و آسیب‌های مفصلی در افراد مبتلا به پای پرونیت کمک می‌کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله از نوع مروری بوده و شامل جمع‌آوری یا تحلیل داده‌های اولیه انسانی یا حیوانی نمی‌باشد؛ بنابراین، اخذ رضایت‌نامه آگاهانه و تأییدیه کمیته اخلاق پژوهشی برای آن الزامی نبوده است. تمامی مراحل انجام این مطالعه مطابق با اصول اخلاقی پژوهش و با رعایت امانت‌داری علمی، استناد صحیح به منابع، و اجتناب از هرگونه سرقت علمی انجام شده 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

بنا بر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Jafarnezhadgero A, Fatollahi A, Amirzadeh N, Siahkouhian M, Granacher U. Ground reaction forces and muscle activity while walking on sand versus stable ground in individuals with pronated feet compared with healthy controls. PLoS One. 2019;14(9):e0223219. [DOI:10.1371/journal.pone.0223219] [PMID]

2. Jafarnezhadgero AA, Fatollahi A, Granacher U. Eight weeks of exercising on sand has positive effects on biomechanics of walking and muscle activities in individuals with pronated feet: a randomized double-blinded controlled trial. Sports. 2022;10(5):70. [DOI:10.3390/sports10050070] [PMID]

3. Ebrahimi E, Rashidi P, Tabatabaei N, Soleymani N. Effectiveness of six weeks of core stability exercises on Q angle and flatfoot in female taekwondo athletes. Journal of Sport Biomechanics. 2024;10(3):216-28. [DOI:10.61186/JSportBiomech.10.3.216]

4. Sabouri L, Piri E, Jafarnezhadgero A. Biomechanics of transitional movements in individuals with pronated feet: a review study. Journal of Sport Biomechanics. 2025;11(3):270-87. [DOI:10.61882/JSportBiomech.11.3.270]

5. Roshandel Hesari A, Langeroudi MS, Nazari R. Impact of exhaustive exercise on static balance of freestyle wrestlers with flat feet. Journal of Sport Biomechanics. 2022;7(4):250-9. [DOI:10.32598/biomechanics.7.4.252.4]

6. Barghamadi M, Shokrzadehsarebanlar M, Nosratihashi A, Piri E, Imani F. Effects of arch support insoles on vertical GRF variables and time to peak among handball players with pronated feet during jump and landing three-step shot technique. Journal of Paramedical Sciences and Rehabilitation. 2023;12(1):53-62.

7. Costa BL, Magalhães FA, Araújo VL, Richards J, Vieira FM, Souza TR, et al. Is there a dose-response of medial wedge insoles on lower limb biomechanics in people with pronated feet during walking and running? Gait & Posture. 2021;90:190-6. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2021.09.163] [PMID]

8. Lee JH, Shin KH, Jung TS, Jang WY. Lower extremity muscle performance and foot pressure in patients with 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]

9. Patil M, Kulkarni MS, Sinha A, Ghorpade RR. Biomechanical variations in patients with flatfoot deformity: impact of gender, age, and BMI on foot kinetics and kinematics. Journal of Orthopaedics. 2024;57:90-7. [DOI:10.1016/j.jor.2024.06.018] [PMID]

10. Kawakami W, Iwamoto Y, Sekiya J, Ota M, Ishii Y, Takahashi M. Impact of pronated foot on energetic behavior and efficiency during walking. Gait & Posture. 2024;107:23-7. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2023.09.003] [PMID]

11. Mousavi SH, Khorramroo F, Jafarnezhadgero A. Gait retraining targeting foot pronation: a systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2024;19(3):e0284128. [DOI:10.1371/journal.pone.0298646] [PMID]

12. Yazdani F, Razeghi M, Ebrahimi S. Comparison of the free moment pattern between normal and hyper-pronated aligned feet in female subjects during the stance phase of gait. Journal of Biomedical Physics and Engineering. 2020;10(1):93-108.

13. Piri E, Jafarnezhadgero A, Stålman A, Hosseini A, et al. Comparison of the frequency spectrum of ground reaction forces with and without immediate pronator insoles in individuals with pronated feet during walking. Quarterly Journal of Sports Biomechanics. 2025;11(1):20-33. [DOI:10.61186/JSportBiomech.11.1.20]

14. Mousavi SH, van Kouwenhove L, Rajabi R, Zwerver J, Hijmans JM. Effect of changing foot progression angle using real-time visual feedback on rearfoot eversion during running. PLoS One. 2021;16(2):e0246171. [DOI:10.1371/journal.pone.0246425] [PMID]

15. Khorramroo F, Mousavi SH. Effects of minimal shoes on ankle kinematics during running: a systematic review. Journal of Advanced Sport Technology. 2022;6(2):20-38.

16. Ashtiani MB, Daneshmandi H, Raeisi Z. Effectiveness of combining proximal strengthening exercises and foot orthoses on pain and performance in women with patellofemoral pain syndrome and pronated feet: study protocol for a randomized clinical trial. Trials. 2025;26(1):81. [DOI:10.1186/s13063-025-08787-w] [PMID]

17. Sadeghi M, Mohammadi HK, Mehravar M, Salehi R, Taheri N, Karimzadeh A. Effects of intrinsic foot muscle strengthening exercises on knee kinematics during forward jump landing in individuals with pronated feet. Journal of Family Medicine and Primary Care. 2022;11(8):4389-94. [DOI:10.4103/jfmpc.jfmpc_2320_21] [PMID]

18. Raghav U, Sharma B, Kaur H, Chhabra C. Comparative effects of gluteus maximus and gluteus medius strengthening on navicular drop, balance, and foot posture index in individuals with over-pronated feet. Pamukkale Journal of Sport Sciences. 2024;15(1):59-72. [DOI:10.54141/psbd.1328500]

19. Oerlemans LN, Peeters CM, Munnik-Hagewoud R, Nijholt IM, Witlox A, Verheyen CC. Foot orthoses for flexible flatfeet in children and adults: a systematic review and meta-analysis of patient-reported outcomes. BMC Musculoskeletal Disorders. 2023;24(1):16. [DOI:10.1186/s12891-022-06044-8] [PMID]

20. Tang M, Wang L, You Y, Li J, Hu X. Effects of taping techniques on arch deformation in adults with pes planus: a meta-analysis. PLoS One. 2021;16(7):e0253118. [DOI:10.1371/journal.pone.0253567] [PMID]

21. Jiaqi L, Yi Z. Effects of arch support insoles on electromyographic activity of lower limbs during walking in females with flatfeet. Leather Science and Engineering. 2022;32(6):69-72.

22. Cheng K-W, Peng Y, Chen TL-W, Zhang G, Cheung JC-W, Lam W-K, et al. Three-dimensional printed foot orthosis for flexible flatfoot: an exploratory biomechanical study. Materials. 2021;14(18):5297. [DOI:10.3390/ma14185297] [PMID]

23. Su S, Mo Z, Guo J, Fan Y. Effect of arch height and material hardness of personalized insoles on correction and tissue stress in flatfoot. Journal of Healthcare Engineering. 2017;2017:8614341. [DOI:10.1155/2017/8614341] [PMID]

24. Jafarnezhadgero A, Fatollahi A, Sheykholeslami A, Dionisio VC, Akrami M. Long-term training on sand alters lower limb muscle activity during running in runners with over-pronated feet. Biomedical Engineering Online. 2021;20(1):1-18. [DOI:10.1186/s12938-021-00955-8] [PMID]

25. Downs SH, Black N. Feasibility of creating a checklist for assessment of methodological quality of randomized and non-randomized studies. Journal of Epidemiology and Community Health. 1998;52(6):377-84. [DOI:10.1136/jech.52.6.377] [PMID]

26. Şahan TY, Soylu Ç, Turker D, Atalay ES, Demir P, Yıldırım NÜ. Short foot exercise combined with breathing exercise increases muscle activity in individuals with pes planus. Journal of the American Podiatric Medical Association. 2024;114(3). [DOI:10.7547/22-229] [PMID]

27. Hemalatha S, Nimalan P, Farhana M, Jeberson J. Effect of toe-walking and intrinsic foot muscle exercises in individuals with flat feet: a comparative study. Muscles, Ligaments and Tendons Journal. 2024;14(4):594-600. [DOI:10.32098/mltj.04.2024.09]

28. Alizadeh R, Jafarnezhadgero AA, Khezri D, Sajedi H, Fakhri Mirzanag E. Short-term effects of anti-pronation insoles on plantar pressure following anterior cruciate ligament reconstruction in individuals with pronated feet. Journal of Gorgan University of Medical Sciences. 2024;26(3):36-44. [DOI:10.61186/goums.26.3.36]

29. Piri E, Barghamadi M, Farzizadeh R. Effects of water-based and TheraBand exercises on lower limb muscle electrical activity during walking in individuals with pronated feet. Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences. 2023;31(6):6792-6804.

30. Samadi H, Nikzad Abbasi Z, Khaleghi Tazji M. Effects of eight weeks of Kyokushin karate training on leg muscle activity and medial longitudinal arch height in adolescent girls with foot pronation. Physical Treatments - Specific Physical Therapy Journal. 2023;13(3):203-14. [DOI:10.32598/ptj.13.3.568.1]

31. Alavi Mehr SM, Mousavi SH, Jafarnezhadgero A. Effects of a selected exercise protocol on trunk and lower limb muscle activity during walking in older adults with low back pain and pronated feet. Sport Sciences and Health Research. 2021;14(1):129-40.

32. Kakavand M, Smith NA. Effects of prescription orthotics on walking gait in individuals with excessive pronation. International Journal of Sports Studies for Health. 2022;5(2):42-49. [DOI:10.61838/kman.intjssh.5.2.6]

33. Alavi-Mehr SM, Jafarnezhadgero A, Salari-Esker F, Zago M. Acute effects of foot orthoses on frequency-domain characteristics of ground reaction forces during walking in boys with flexible flatfeet. The Foot. 2018;37:77-84. [DOI:10.1016/j.foot.2018.05.003] [PMID]

34. Aghaie Ataabadi P, Abbasi A, Letafatkar A. Short-term effects of foot orthoses and antipronation taping on center of pressure and ground reaction forces during running in individuals with flat feet. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2024;13(2):274-89. [DOI:10.32598/SJRM.13.2.2893]

35. Chen H, Bíró I. Effects of foot orthoses and kinesio taping on spatiotemporal and kinetic gait parameters during running in individuals with flatfoot. Analecta Technica Szegedinensia. 2024;18(3):77-81. [DOI:10.14232/analecta.2024.3.77-81]

36. Fatollahi A, Barghamadi M, Darvishani MA. Effects of hydrotherapy on muscle activity and running kinetics in adult males with pronated feet: a randomized clinical trial. Pamukkale Journal of Sport Sciences. 2023;14(3):297-313. [DOI:10.54141/psbd.1350754]

37. Jafarnezhadgero A, Gadehri K, Fakhri Mirzanag E. Long-term sand-based exercise improves frequency spectrum of lower limb muscles during running in runners with over-pronated feet. Physical Treatments - Specific Physical Therapy Journal. 2023;13(2):87-94. [DOI:10.32598/ptj.13.2.348.6]

38. Zhang X, Lam W-K, Vanwanseele B. Dose-response effects of forefoot and arch orthotic components on center of pressure trajectory during running in pronated feet. Gait & Posture. 2022;92:212-217. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2021.11.033] [PMID]

39. Jafarnezhadgero AA, Fakhri E, Valizadeh Orang A, Alizadeh R. Effects of spike shoes with different stiffness on muscle frequency spectrum during running in individuals with pronated feet. Journal of Gorgan University of Medical Sciences. 2021;23(3):40-6.

40. Lee KK, Ling SK, Yung PS. Controlled trial comparing Achilles tendon load during running in individuals with flat feet using customized arch support orthoses versus an orthotic heel lift. BMC Musculoskeletal Disorders. 2019;20(1):535. [DOI:10.1186/s12891-019-2898-0] [PMID]

41. Mei Q, Gu Y, Xiang L, Baker JS, Fernandez J. Foot pronation contributes to altered lower extremity loading after long-distance running. Frontiers in Physiology. 2019;10:25. [DOI:10.3389/fphys.2019.00573] [PMID]

42. Jafarnezhadgero AA, Sorkhe E, Oliveira AS. Motion-control shoes help maintain low loading rates during fatiguing running in female runners with pronated feet. Gait & Posture. 2019;73:65-70. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2019.07.133] [PMID]

43. Joo J-Y, Kim Y-K. Effects of customized 3D-printed insoles on walking and running kinematics in individuals with flat feet. Korean Journal of Applied Biomechanics. 2018;28(4):237-44.

44. Peng Y, Wong DW-C, Chen TL-W, Wang Y, Zhang G, Yan F, et al. Influence of arch support height on internal foot mechanics during walking in individuals with flat feet: a finite element analysis. Computers in Biology and Medicine. 2021;132:104303. [DOI:10.1016/j.compbiomed.2021.104355] [PMID]

45. Barghamadi M, Piri E. Effects of aquatic and TheraBand training on frequency spectrum of lower limb muscle activity during walking in individuals with pronated feet. Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences. 2024;32(2):7541-53.

46. Piri E, Jafarnezhadgero AA, Ebrahimpour H. Effects of foot orthoses and shoes on lower limb biomechanics and balance in individuals with pronated feet: a review study. Journal of Gorgan University of Medical Sciences. 2023;25(4):1-10.