



Original Article

Effect of Upper Material in Military Boots on Lower Limb Loading during Walking

Abbas Farjad Pezeshk^{1*} , Mohammadreza Vafai¹ , Saeed Ilbeigi¹ 

¹ Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Department of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

Article History:

Received: 23 June 2025

Revised: 27 August 2025

Accepted: 29 August 2025

ePublished: 22 September 2025

*Corresponding author:

Abbas Farjad Pezeshk, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Department of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

Email: Abbas.Farjad@Birjand.ac.ir

Abstract

Objectives: The role of shaft stiffness in military boots is widely recognized, yet most studies focus on quantifying stiffness rather than examining how the material composition of the boot shaft influences performance. The present study aimed to assess the effect of different boot materials on kinetic parameters by comparing conventional leather boots to a hybrid leather-synthetic design, evaluating their impact on mobility and biomechanical efficiency.

Methods: A repeated-measures experimental design was employed, assessing 20 healthy male participants under four conditions: walking with a formal shoe and three military boot types, each featuring distinct shaft materials (two leather and one a hybrid leather-synthetic design). Ground reaction forces, rate of force development, and impulse were recorded using a force plate. Statistical analysis involved repeated-measures ANOVA with Bonferroni correction.

Results: Featuring synthetic materials in the shaft, boot 3 displayed reduced negative impulse and elevated positive impulse relative to traditional leather boots during gait.

Conclusion: These findings highlighted the biomechanical advantages of hybrid boot designs, suggesting that reduced shaft stiffness improves mobility and motion efficiency. The study underscores the need for optimized traditional boot materials to enhance gait performance while minimizing injury risks, particularly for military personnel.

Keywords: Kinetic, Military boot, Shaft rigidity



Extended Abstract

Background and Objective

Combat boots play a key role in protecting the foot and ankle in harsh environmental conditions, and factors, such as comfort, durability, design, and quality of raw materials, affect their performance. Since the 1980s, new designs have been introduced to increase mobility and reduce lower limb injuries. A critical component in this regard is the stiffness of the combat boot leg, defined by the force required to bend, which plays a vital role in preventing injuries like sprained ankles. Although stiffer legs provide greater stability, research has revealed that this type of leg can reduce the angle of dorsiflexion and the power of the ankle muscles, causing changes in movement patterns. In contrast, more flexible legs improve the natural movement of the ankle. In terms of muscle activity, greater leg stiffness is also associated with increased muscle load, which has dual effects on performance. Given the influence of material type on leg stiffness, few studies have focused on the properties of the constituent materials. The present study aimed to investigate the effect of the constituent materials of the upper layers of combat boots on ground reaction forces during gait, seeking to identify optimal combinations to improve performance and reduce biomechanical constraints.

Materials and Methods

The present quasi-experimental study was conducted with a repeated measures design, during which 20 healthy young males walked in four different conditions (one with dress shoes and three with various types of combat boots). Sample selection was based on a statistical power of 80%, a significance level of 5%, and an effect size of 0.72. Inclusion criteria were the absence of orthopedic or neurological disorders affecting gait and a body mass index (BMI) below 31; informed consent was obtained from all participants. Combat boots included Combat Boot 1 with a hard leather top and protective design, Combat Boot 2 with a softer leather and absorbent inner lining, and Combat Boot 3 with a hybrid upper layer (leather and CORDURA® nylon) with breathable and resistant properties. The sole of all combat boots was designed with polyurethane and a Vibram structure. The comparison shoe was a leather dress shoe with a flat sole and a heel height of 1 cm. Ground reaction forces were measured in different phases of gait, including foot pressure, push-off breaking, weight acceptance, unloading, and push-off. A high-precision DSI force plate recorded data with a sampling rate of 1000 Hz. Three valid replicates were performed for each condition, and gait speed was controlled within a standard range. Statistical analysis included ANOVA with repeated measures, Mauchly test, Bonferroni correction, and calculation of effect size (Cohen's d), with the significance level set at $p \leq 0.05$.

Results

The means of age, weight, height, and BMI of the subjects participating in the present study were 28.7 ± 8 years, 76.21 ± 7 kg, 175 ± 4 cm, and 25 ± 2.5 , respectively. It is noteworthy that the Mauchly test was performed to examine the assumption of sphericity, and the results confirmed this assumption. Therefore, no statistical corrections were needed ($P=0.12$). The results revealed

that the type of shoe significantly affected the ground reaction force and the rate of force development. The ANOVA analysis demonstrated significant differences between combat boots and dress shoes during gait. Dress shoes generally produced higher force values, while combat boots significantly reduced these forces ($P=0.001$), especially at the first peak of vertical force. Although the second and fourth peak values of vertical ground reaction force showed less reduction, the differences were still significant ($P=0.001$). The rate of force development was significantly reduced in Combat Boot 3, and this difference was significant compared to the other two combat boots ($P=0.00$). Regarding the peak negative anterior-posterior force, Combat Boot 1 demonstrated the highest value ($P=0.004$). In contrast, during the peak positive force, although the difference was not significant ($P=0.054$), this value was close to the threshold of significance. Different results may be obtained by increasing the sample size or changing the experimental conditions. In addition, the value of the negative impulse was significantly variable ($P=0.006$), so that the highest value was related to Combat Boot 1. In contrast, the positive impulse in Combat Boot 3 obtained the highest value ($P=0.001$).

Discussion

The present research investigated the effect of the material type of the upper layers of combat boots on gait kinetic parameters. Three types of combat boot materials, including hard leather (Combat Boot 1), soft leather (Combat Boot 2), and a hybrid of leather and nylon (Combat Boot 3), were compared with a dress shoe. The results demonstrated that the dress shoe produced more impact force compared to the combat boots during the initial contact phase, while Combat Boots 1 and 2 exhibited higher weight acceptance force. Combat Boot 3, with its softer leg design, had a lower force development rate and lower braking impulse. In the push-off phase, all three combat boots produced more propulsive force when compared with the dress shoe. Combat Boot 3 performed better in forward propulsion impulse, which was attributed to its leg flexibility. Moreover, it was indicated that reducing leg stiffness improved shock absorption, load distribution, increased the range of motion of the ankle, and enhanced the power of the muscles involved in ankle joint movement, including the gastrocnemius and soleus. The higher heel height in combat boots was also an effective factor in reducing impact force. In general, the use of leather and synthetic material combinations, especially in the design of softer legs, can optimize gait biomechanics and reduce the risk of injury. Some limitations, such as the lack of female participation and measurement of leg stiffness, are suggested to be addressed in future studies.

Conclusion

The present study investigated the effect of combat boot leg stiffness on gait kinetics. It demonstrated that combining leather with synthetic materials in the leg design can improve biomechanical performance. In particular, the Combat Boot 3 with a softer leg was able to reduce impact force, increase propulsive momentum, and provide appropriate load distribution during the initial contact phase. The proposed design, while reducing

muscle involvement, can delay fatigue and reduce the risk of injuries from prolonged activities. Overall, using more flexible materials in the design and fabrication of the

combat boot leg is likely to increase the range of motion of the ankle, store more energy in the Achilles tendon, and improve gait efficiency.

Please cite this article as follows: Farjad Pezeshk A, Vafai M, Ilbeigi S. Effect of Upper Material in Military Boots on Lower Limb Loading during Walking. *Iran J Ergon.* 2025; 13(2): 124-134. DOI:10.22034/IJE.13.2.124

تأثیر نوع مواد به کار رفته در رویه پوتین‌های نظامی بر نیروهای وارده به اندام تحتانی هنگام راه رفتن: یک بررسی بیومکانیکی

عباس فرجاد پزشک^{۱*} ID، محمدرضا وفایی^۱ ID، سعید ایل بیگی^۱ ID

^۱ دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

اهداف: سختی ساق پوتین‌های نظامی نقش مهمی در عملکرد بیومکانیکی دارد، اما پژوهش‌های اندکی به تأثیر ترکیب مواد ساق بر پارامترهای کینتیکی مانند نیروی عکس العمل زمین پرداخته‌اند. این مطالعه با هدف مقایسه پوتین‌های چرمی رایج و پوتین‌های ترکیبی (چرم و مواد مصنوعی) انجام شد تا اثر آن‌ها بر کارایی بیومکانیکی هنگام راه رفتن ارزیابی شود.

روش کار: مطالعه از نوع نیمه تجربی و با طرح اندازه‌گیری تکراری بود که روی بیست مرد سالم انجام شد. نمونه‌گیری مطالعه از نوع در دسترس بود و آزمودنی‌ها در این مطالعه در چهار وضعیت مختلف راه رفتند؛ با کفش رسمی و سه نوع پوتین نظامی که هر کدام ساق‌هایی با مواد متفاوت داشتند (دو مدل چرمی و یک مدل ترکیبی چرم-مصنوعی). نیروهای عکس العمل زمین، نرخ توسعه نیرو (RFD) و ضربه (impulse) با استفاده از صفحه نیرو ثبت شدند. تحلیل آماری با استفاده از ANOVA اندازه‌گیری تکراری و اصلاح بنفرونی صورت گرفت.

یافته‌ها: پوتین شماره سه که در ساق خود از مواد مصنوعی بهره می‌برد، منجر به کاهش کاهش ضربه منفی حین راه رفتن شد. ضربه مثبت نیز در پوتین شماره سه در مقایسه با پوتین‌های چرمی سنتی افزایش معناداری داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که طراحی‌های ترکیبی پوتین دارای مزایای بیومکانیکی هستند و کاهش سختی ساق می‌تواند باعث بهبود تحرک‌پذیری و بازده کینتیکی شود. این مطالعه بر اهمیت بهینه‌سازی مواد پوتین‌های سنتی برای ارتقای عملکرد حرکتی و کاهش خطر آسیب، به‌ویژه در نیروهای نظامی، تأکید دارد.

واژگان کلیدی: پوتین نظامی، سفتی ساق پوتین، کینتیک

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲
تاریخ داوری مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۰۷
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* نویسنده مسئول: عباس فرجاد پزشک، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

ایمیل: Abbas.Farjad@Birjand.ac.ir

استناد: فرجاد پزشک، عباس؛ وفایی، محمدرضا؛ ایل بیگی، سعید. تأثیر نوع مواد به کار رفته در رویه پوتین‌های نظامی بر نیروهای وارده به اندام تحتانی هنگام راه رفتن: یک بررسی بیومکانیکی. مجله ارگونومی، تابستان ۱۴۰۴؛ ۱۳(۲): ۱۲۴-۱۳۴

مقدمه

کاهش مشکلات اندام تحتانی و فراهم کردن راحتی بیشتر برای نیروهای نظامی بود [۱]. یکی از مولفه‌های مهم در عملکرد پوتین‌ها، سختی ساق آن‌ها است که به پایداری، حمایت و محافظت در برابر حرکات آسیب‌زا کمک می‌کند [۳، ۴]. سختی ساق عبارت است از قابلیت مقاومت بخش ساق پوتین در برابر بارهای اعمالی خمشی و به صورت میزان نیروی مورد نیاز برای خمش پوتین تعریف می‌شود [۱]. ساق‌های سخت‌تر معمولاً برای جلوگیری از پیچ‌خوردگی مچ پا ضروری هستند [۵-۷]. اما همین سختی می‌تواند بر بیومکانیک

پوتین‌ها نقش بسیار مهمی در فعالیت‌های حرفه‌ای دارند، به‌ویژه در بخش نظامی. پوتین‌های نظامی به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که از پا و مچ پا محافظت کرده و در شرایط دشوار محیطی و سطح‌های ناهموار، ایمنی فراهم کنند [۱]. عواملی مانند کیفیت مواد اولیه، دوام، راحتی، اندازه مناسب، اصطکاک، مقاومت در برابر آب و طراحی تخصصی برای محیط‌های خاص نظیر زمین‌های مرطوب یا دمای متفاوت در کارایی پوتین‌ها تأثیرگذار هستند [۲]. توسعه نسل جدید پوتین‌های نظامی از دهه ۱۹۸۰ آغاز شد و هدف آن‌ها افزایش تحرک،

شرکت کنندگان

در این مطالعه، ۲۰ مرد جوان و سالم به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. اندازه نمونه مورد نیاز بر اساس نتایج نرم‌افزار G-Power و توان آماری ۸۰ درصد، سطح معناداری ۵ درصد و اندازه اثر ۰/۷۲، با استناد به پژوهش حقیقت و همکاران [۱۵]، که به بررسی پارامترهای کینتیکی شامل بررسی نیروی عکس‌العمل زمین (GRF) و گشتاور مفصلی در مقایسه پوتین و کفش پرداخته بودند، تعیین شد. بر پایه این معیارها، تعداد ۲۰ شرکت‌کننده برای شناسایی تفاوت‌های معنادار در نیروی عکس‌العمل زمین بین شرایط مختلف کفش‌ها کافی تشخیص داده شد.

معیارهای ورود و خروج

شرکت‌کنندگان باید شاخص توده بدنی کمتر از ۳۱ کیلوگرم بر مترمربع داشته و سابقه‌ای از اختلالات ارتوپدی یا عصبی موثر بر راه رفتن نداشته باشند؛ شامل بررسی عدم وجود ناهنجاری تأثیرگذار بر راه رفتن نظیر کف پای صاف، کف پای گود، زانوی ضربدری و پرانتری، عدم سابقه جراحی ارتوپدی تأثیرگذار بر راه رفتن و بیماری‌های عصبی عضلانی نظیر ام اس و پارکینسون که روی الگوی راه رفتن تأثیر می‌گذارند. از جمله دلایل خروج از مطالعه می‌توان به عدم تمایل به ادامه همکاری اشاره کرد. پیش از آغاز جمع‌آوری داده‌ها، رضایت‌نامه آگاهانه از تمامی شرکت‌کنندگان اخذ شد تا تطابق با اصول اخلاقی پژوهش تضمین شود.

ویژگی‌های پوتین

در این مطالعه، دو نوع رایج پوتین نظامی (پوتین ۱ و پوتین ۳) که به طور رایج توسط نیروهای مسلح کشورهای مختلف برای نیازهای عملیاتی استفاده می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل ۱، جدول ۱). انتخاب پوتین‌ها براساس نظرسنجی میدانی از اعضای نیروهای مسلح منطقه صورت گرفت. علاوه بر آن، پوتین ۲ نیز بررسی شده است؛ این پوتین به‌صورت سفارشی ساخته شده و از چرم نرم‌تری در قسمت رویه بهره می‌برد. پوتین ۱ یک پوتین نظامی رایج است که برای دوام و محافظت در شرایط سخت طراحی شده است. این پوتین دارای رویه‌ای از چرم سخت برای پشتیبانی ساختاری، پشت‌پوش تقویت‌شده برای افزایش دوام و روکشی مقاوم به رطوبت برای مقابله با شرایط سخت محیطی است. سایر مشخصات این پوتین عبارت است از رویه چرم سخت سنتی، وزن ۱/۶ کیلوگرم، زیره از جنس پلی‌یورتان، ضخامت پاشنه ۲/۸ سانتی‌متر و ارتفاع کلی ۲۶ سانتی‌متر. در مقابل، پوتین ۲ با این‌که طراحی رویه‌ای مشابه پوتین استاندارد چرمی مشکی دارد، اما دارای ویژگی‌های ارتقا یافته‌ای است. پوشش رویه آن از چرم نازک و لطیف ساخته شده که بافتی نرم‌تر دارد. همچنین، رویه‌اش از چرم نرم‌تری تهیه شده که نسبت به پوتین ۱

مفاصل اندام تحتانی، به‌ویژه مچ پا، تأثیر منفی بگذارد.

تحقیقات نشان داده‌اند که پوتین‌های دارای ساق سخت می‌توانند زاویه دورسی‌فلکشن را کاهش دهند و توان خروجی مچ پا را نیز کم کنند [۸]، که این موضوع باعث کاهش توان عضلات کف پا در مرحله فشار پایانی راه رفتن می‌شود [۹]. از آن‌جا که توان مچ در پیش‌برد گام نقش کلیدی دارد، این محدودیت‌ها به‌ویژه در استفاده بلندمدت از پوتین‌ها می‌توانند منجر به تغییر در الگوی حرکتی شوند. در مقابل، ساق‌های انعطاف‌پذیرتر سبب بهبود حرکت مچ پا، فشار پایانی موثرتر و الگویی کارآمدتر در راه رفتن می‌شوند [۸]. از نظر فعالیت عضلانی، ساق‌های سخت‌تر فشار بیشتری بر عضلات ساق وارد می‌کنند و در نتیجه فعالیت عضلات را افزایش می‌دهند [۱۰-۱۱]. با این حال، افرادی که پوتین‌هایی با حمایت بالا از مچ می‌پوشند، سطح بالاتری از فعالیت عضلانی نشان می‌دهند [۱۲، ۱۳]، که پیچیدگی این تعاملات را نشان می‌دهد. بر اساس پژوهش دابسون و همکاران [۱۴]، تغییرات در میزان سختی ساق پوتین‌ها از طریق به‌کارگیری مواد مختلف در ساخت آن‌ها به‌دست آمده است. با این حال، اغلب مطالعات در این زمینه سختی ساق را با استفاده از ابزارهایی مانند کرنش‌سنج اندازه‌گیری کرده‌اند و تحقیقات اندکی به تأثیر نوع مواد در تغییر این سختی پرداخته‌اند. این موضوع پرسشی کلیدی را مطرح می‌کند؛ ماده‌ی ایده‌آل برای رویه پوتین نظامی باید چه ویژگی‌هایی داشته باشد تا هم محدودیت حرکتی ایجاد نکرده و هم موجب افزایش فعالیت عضلات نشود؟ در کنار پوتین‌های نظامی سنتی، طراحی‌های جدیدتر استفاده از مواد کامپوزیتی را به‌ویژه در ناحیه مچ پا برای کاربردهای نظامی معرفی کرده‌اند. هرچند به‌طور کلی فرض می‌شود که ترکیب چرم با مواد مصنوعی می‌تواند کامپوزیتی متعادل بسازد که هم سختی و دوام چرم و هم سبکی و انعطاف‌پذیری مواد مصنوعی را داشته باشد، اما شواهد تجربی برای تأیید این فرضیه هنوز محدود است. در حال حاضر، تحقیقات اندکی مقایسه‌ای بین مواد مختلف و تأثیر آن‌ها بر میزان سختی ساق پوتین انجام داده‌اند. بنابراین، هدف این مطالعه بررسی اثر مواد لایه‌ی بالایی پوتین‌های نظامی بر نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن است تا مزایا و محدودیت‌های مواد مختلف در بهینه‌سازی عملکرد و کاهش محدودیت‌های بیومکانیکی روشن شود.

روش کار

این مطالعه از نوع نیمه تجربی و طرح تحقیق از نوع اندازه‌گیری‌های مکرر بود، به‌طوری‌که هر شرکت‌کننده در چهار وضعیت متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت؛ راه رفتن با کفش رسمی و سه نوع پوتین مختلف. تمام مراحل انجام این پژوهش مطابق با دستورالعمل‌های بیابیه هلسینکی اجرا شده و تأییدیه اخلاقی آن توسط کمیته بررسی نهادی دانشگاه دریافت شده است. این مطالعه در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی بیرجند به تصویب رسید (IR.BIRJAND.REC.1404.014).

انعطاف پذیرتر است. قسمت داخلی رویه جلویی آن با ماده‌ای جاذب پوشانده شده، در حالی که پوتین ۱ فاقد آستر داخلی است. افزون بر این، پوتین ۲ دارای پشت پوش و محفظه پاشنه‌ی دو تکه است، در حالی که پوتین ۱ این اجزا را در یک قطعه چرمی یکپارچه ترکیب کرده است. سایر مشخصات این پوتین عبارت است از طراحی از چرم نرم، وزن ۱/۵ کیلوگرم، زیره پلی یورتان، ضخامت پاشنه ۲/۹ سانتی متر و ارتفاع ۲۶ سانتی متر. پوتین ۳ که به طور رسمی برای عملکرد بالا در شرایط بسیار سخت طراحی شده است، دارای بخش جلویی چرمی بادوام است که استحکام ساختاری و دوام را افزایش می دهد. سایر قسمت های رویه از نایلون مقاوم کوردورا ساخته شده اند که امکان تنفس بهتر و انعطاف پذیری بیشتری را فراهم می کند. برای تهویه و تخلیه آب، دو سوراخ دارای توری در بخش میانی داخلی پوتین تعبیه شده اند. همچنین، نواری از نایلون به عرض یک اینچ پشت پوتین را تقویت کرده و به صورت افقی از کنار آن عبور می کند. قسمت پنجه و

پاشنه نیز همانند طراحی های محافظ و بائبات پوتین های رزمی استاندارد ساخته شده اند و دوام و اطمینان در شرایط دشوار را تضمین می کنند. سایر مشخصات این پوتین عبارتند از ترکیبی از چرم و نایلون، با وزن ۱/۷ کیلوگرم، زیره پلی یورتان، ضخامت پاشنه ۳/۲ سانتی متر و ارتفاع ۲۴ سانتی متر. زیره تمامی پوتین ها به صورت تخت ساخته شده و از یک میان زیره پلی یورتان تزریق شده مستقیم برای راحتی و پشتیبانی بهره می برند. همچنین، زیره ی بیرونی از جنس لاستیک مقاوم با دیواره بلند قالب گیری شده است که برای دوام و چسبندگی بهتر طراحی شده است. وضعیت شیارهای سه نوع زیره به صورت به اصطلاح ویبرام (Vibram) بوده که فرم رایج پوتین های نظامی است و چسبندگی خوبی را در حین حرکت فراهم می کند. در این مدل برجستگی های گوه ای شکل در پیرامون پوتین به چشم می خورد و در بخش میانی پاشنه و سینه پا نیز برجستگی های ستاره مانند وجود دارد.



شکل ۱. این مطالعه شامل یک کفش رسمی چرمی (در پایین تصویر) به همراه سه نوع پوتین نظامی است:

پوتین ۱: با رویه ای از چرم سخت سنتی، وزن ۱/۶ کیلوگرم، زیره از جنس پلی یورتان، ضخامت پاشنه ۲/۸ سانتی متر و ارتفاع کلی ۲۶ سانتی متر؛ پوتین ۲: با طراحی از چرم نرم، وزن ۱/۵ کیلوگرم، زیره پلی یورتان، ضخامت پاشنه ۲/۹ سانتی متر و ارتفاع ۲۶ سانتی متر؛ پوتین ۳: ترکیبی از چرم و نایلون، با وزن ۱/۷ کیلوگرم، زیره پلی یورتان، ضخامت پاشنه ۳/۲ سانتی متر و ارتفاع ۲۴ سانتی متر.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و ابعادی سه پوتین مورد استفاده در این مطالعه

ویژگی های خاص	ارتفاع (سانتی متر)	ضخامت پاشنه (سانتی متر)	وزن (کیلوگرم)	نوع زیره	جنس رویه	برند/مدل	نوع پوتین
پشت پوش تقویت شده، مقاوم به رطوبت، بدون آستر داخلی	۲۶	۲/۸	۱/۶	پلی یورتان	چرم سخت	M.K.T.F	پوتین ۱
رویه نرم تر، آستر داخلی جاذب، طراحی دوتکه در پاشنه	۲۶	۲/۹	۱/۵	پلی یورتان	چرم نرم	سفارشی سازی شده	پوتین ۲
رویه هیبریدی ترکیبی از چرم و پلی یورتان	۲۴	۳/۲	۱/۷	پلی یورتان کوردورا	چرم و نایلون	Vibram	پوتین ۳

از کفش رسمی اداری از جنس چرم گاو برای مقایسه استفاده شده است. این کفش دارای کفی از جنس پلی یورتان با ارتفاع پاشنه ۱ سانتی متر و کفی تخت که به طور رایج برای اهداف اداری استفاده می شود در این مطالعه به کار گرفته شد.

اندازه گیری نیروها با استفاده از صفحه نیرو DSI Cooperation انجام شد که دارای دقت اندازه گیری ۱۰ گرم نیرو و دامنه اندازه گیری ۵۰۰ کیلوگرم برای نیروهای Fx و Fy و ۱۵۰۰ کیلوگرم برای نیروی Fz بود و با نرخ نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز عمل می کرد. کالیبراسیون صفحه نیرو با استفاده از نرم افزار DSI صورت گرفت و با استفاده از وزنه ثابت پایایی سیستم مورد تایید قرار گرفت. برای کاهش اثر ترتیب اجرا، توالی آزمایش پوتین ها به صورت تصادفی تعیین شد. مسیر راه رفتن دارای کف پوش پارکت، با ابعاد ۱۰ متر طول و ۴ متر عرض بود [۱۳]. در هر شرایط پوتین، سه تکرار معتبر از راه رفتن انجام گرفت. فقط زمانی یک تکرار معتبر در نظر گرفته می شد که پای شرکت کننده دقیقاً در مرکز صفحه نیرو قرار می گرفت تا داده های دقیقی ثبت شود. برای به حداقل رساندن تأثیر سرعت بر نتایج کینتیکی، شرکت کنندگان با سرعت ترجیحی خود راه می رفتند و سعی می کردند سرعت خود را در هر تکرار ثابت نگه دارند و از نوسانات شدید اجتناب کنند. سرعت ترجیحی فرد در سه تکرار اندازه گیری شد و چنانچه سرعت در هر تکرار از میانگین + ۲ انحراف استاندارد افزایش می یافت آزمون تکرار می شد.

در این مطالعه، اوج نیروی عمودی عکس العمل زمین (VGRF) در چهار فاز مشخص از چرخه راه رفتن اندازه گیری شد؛ ترمزگیری (braking)، پیک اول نیروی عکس العمل عمودی زمین، پذیرش وزن (weight acceptance)، پیک دوم نیروی عمودی عکس العمل عمودی زمین، تخلیه وزن (unloading)، پیک سوم نیروی عمودی عکس العمل عمودی زمین، مرحله ی فشار پا برای جلورفتن (push-off) پیک چهارم نیروی عمودی عکس العمل عمودی زمین. این چهار اوج نیرو به ترتیب با ۱ Peak تا ۴ Peak مشخص شدند. در بخش نیروهای قدامی-خلفی (A-P GRF) نیز دو اوج اصلی بررسی شدند: اوج نیروی ترمز (Peak negative A-P 1)، اوج نیروی پیش ران (Peak positive A-P 1). نرخ تولید نیرو نیز به عنوان شیب منحنی نیروی عمودی در بازه ی ۲۰ درصد تا ۸۰ درصد زمان بین تماس اولیه

پا با زمین تا رسیدن به اوج نیروی ضربه ای محاسبه شد؛ این شاخص درک عمیق تری از چگونگی اعمال نیرو در طول گام فراهم می کند. علاوه بر این، تکانه نیروی ترمز (-Impulse negative A-P) و تکانه نیروی پیش ران (Impulse positive A-P) از طریق محاسبه سطح زیر منحنی نیروی قدامی-خلفی در فازهای مربوطه به دست آمدند [۱۴].

تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شد. آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار برای تمامی متغیرها محاسبه گردید. برای بررسی تفاوت ها در نیروی عمودی عکس العمل زمین، نیروی قدامی-خلفی و نرخ تولید نیرو در بین چهار نوع کفش، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری های مکرر (-Repeated Measures ANOVA) استفاده شد. برای مقایسه های چندگانه، تصحیح بونفرونی (Bonferroni) اعمال گردید. جهت ارزیابی پیش فرض کرویت داده ها، آزمون Mauchly انجام شد. اندازه اثرات نیز با استفاده از شاخص d کوهن گزارش شد و سطح معناداری آماری روی ۰/۰۵ $p \leq$ تنظیم گردید.

یافته ها

میانگین سنی آزمودنی های شرکت کننده در این مطالعه 28.7 ± 8 سال، میانگین وزن 76.21 ± 7 کیلوگرم، میانگین قد 175 ± 4 سانتی متر و شاخص توده بدنی (BMI) برابر با 25.5 ± 2 بود. در جدول ۲، یافته های مربوط به متغیرهای GRF در جهت عمودی و قدامی-خلفی در چهار وضعیت مختلف کفش خلاصه شده اند. لازم به ذکر است آزمون Mauchly برای بررسی فرض کرویت اجرا شد و نتایج آن تایید این فرض را نشان داد، بنابراین، نیازی به اعمال اصلاحات آماری نبود ($P=0.12$). نتایج نشان می دهند که نوع کفش به طور معناداری بر GRF و RFD تأثیر می گذارد. تحلیل ANOVA تفاوت های قابل توجهی را بین پوتین ها و کفش رسمی در حین راه رفتن نشان داد. کفش رسمی به طور کلی مقادیر نیروی بیشتری تولید کرد، در حالی که استفاده از پوتین ها باعث کاهش قابل توجه این نیروها شد ($P=0.001$)؛ به ویژه در اوج نخست نیروی عمودی (Peak ۱ VGRF). هرچند مقادیر ۲،۴ Peak VGRF کاهش کمتری داشتند، اما همچنان تفاوت ها معنادار بودند ($P=0.001$).

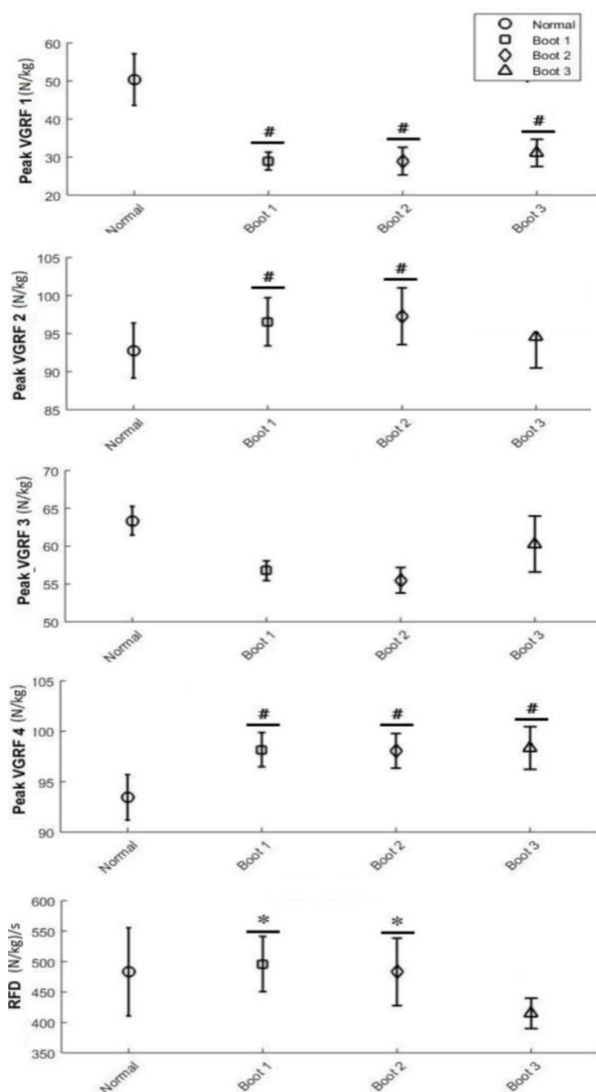
جدول ۲. میانگین و انحراف معیار به همراه نتایج آزمون ANOVA با روش اندازه گیری مکرر و اندازه اثر d کوهن برای متغیرهای کینتیکی عمودی و قدامی-خلفی در چهار وضعیت مختلف کفش ارائه شده اند؛ کفش رسمی و سه نوع پوتین.

متغیر	شرایط	میانگین $\pm$ انحراف استاندارد	اندازه اثر	ANOVA (sig)
حداکثر نیروی عکس العمل عمودی زمین ۱ (N/kg)	پوتین ۱	28.97 ± 2.34	۳/۳۸	۱۰۲ (۰/۰۰۱)
کفش		50.39 ± 6.78		

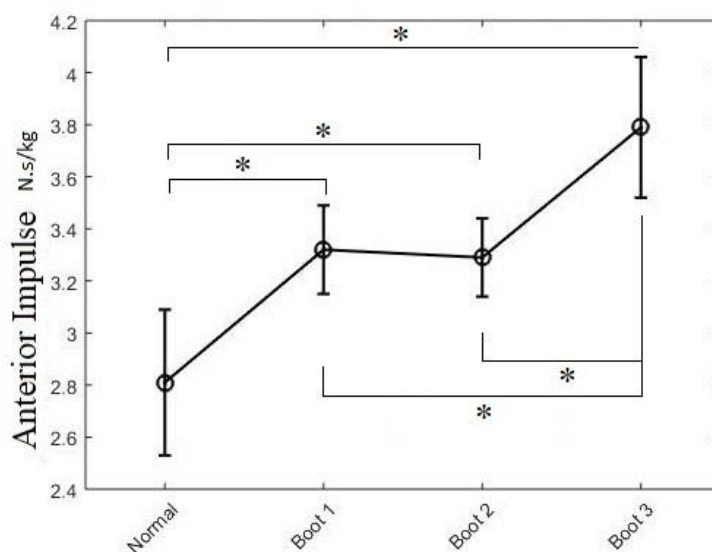
					پوتین ۲	۲۸/۹۵ ± ۳/۶۱
					پوتین ۳	۳۱/۱۲ ± ۳/۵۹
					کفش	۹۲/۷۶ ± ۳/۶۲
۵/۹۴ (۰/۰۰۱)	۰/۹۳			حداکثر نیروی عکس العمل عمودی زمین ۲ (N/kg)	پوتین ۱	۹۶/۵۵ ± ۳/۱۶
					پوتین ۲	۹۷/۲۸ ± ۳/۷۳
					پوتین ۳	۹۴/۶ ± ۴/۱۳
۴۶/۶۳ (۰/۰۰۱)	۳/۱۶			حداکثر نیروی عکس العمل عمودی زمین ۳ (N/kg)	کفش	۶۳/۳۶ ± ۱/۹
					پوتین ۱	۵۶/۷۵ ± ۱/۳
					پوتین ۲	۵۵/۵ ± ۱/۷
۴۸/۸ (۰/۰۰۱)	۲/۲۹			حداکثر نیروی عکس العمل عمودی زمین ۴ (N/kg)	پوتین ۳	۶۰/۲۸ ± ۳/۷
					کفش	۹۳/۴۴ ± ۲/۲۵
					پوتین ۱	۹۸/۱۸ ± ۱/۷
۳/۴۲ (۰/۰۳۶)	۰/۳۲			نرخ توسعه نیرو (N/kg/s)	پوتین ۲	۹۸/۰۶ ± ۱/۷۲
					پوتین ۳	۹۸/۳۴ ± ۲/۱۲
					کفش	۴۸۳ ± ۷۲/۴۴
۶/۱۸ (۰/۰۰۴)	۰/۴۶			حداکثر نیروی عکس العمل خلفی زمین (N/kg)	پوتین ۱	۴۹۶ ± ۴۵/۳
					پوتین ۲	۴۸۳ ± ۵۵/۵
					پوتین ۳	۴۱۵ ± ۲۵
۲/۹۹ (۰/۰۵۴)	۰/۲۹			حداکثر نیروی عکس العمل قدامی زمین (N/kg)	کفش	۱۴/۳۶ ± ۳
					پوتین ۱	۱۶/۹۲ ± ۱/۷
					پوتین ۲	۱۴/۷۳ ± ۲/۳
۵/۴۱ (۰/۰۰۶)	۰/۴۳			ایمپالس مثبت s (N/kg)	پوتین ۳	۱۱/۵۳ ± ۲/۵
					کفش	۱۸/۳۱ ± ۱/۱۱
					پوتین ۱	۲۰/۷۳ ± ۰/۶۵
۲۹/۳۸ (۰/۰۰۱)	۰/۸			ایمپالس منفی s (N/kg)	پوتین ۲	۱۹ ± ۰/۸۵
					پوتین ۳	۱۹/۸۵ ± ۲/۳
					کفش	۲/۶۲ ± ۰/۵۴
					پوتین ۱	۲/۹۹ ± ۰/۲۶
					پوتین ۲	۲/۴۷ ± ۰/۳۸
					پوتین ۳	۲/۱۷ ± ۰/۴۷
					کفش	۲/۸۱ ± ۰/۲۸
					پوتین ۱	۳/۳۲ ± ۰/۱۷
					پوتین ۲	۳/۲۹ ± ۰/۱۵
					پوتین ۳	۳/۷۹ ± ۰/۲۷

RFD به طور چشمگیری در پوتین ۳ کاهش یافت و این تفاوت نسبت به دو نوع پوتین دیگر معنادار بود ($P=0/00$) (مطابق شکل ۲). در خصوص اوج نیروی منفی قدامی-خلفی (Peak negative A-P)، پوتین ۱ بیشترین مقدار را نشان داد ($P=0/004$)، در حالی که در اوج نیروی مثبت (Peak positive A-P) گرچه تفاوت معنادار نبود ($P=0/054$)، اما این مقدار نزدیک به آستانه معناداری است و ممکن

است با افزایش حجم نمونه یا تغییر شرایط آزمایش، نتایج متفاوتی حاصل شود (شکل ۳). همچنین، مقدار تکانه منفی به طور معناداری متغیر بود ($P=0/006$)، به طوری که بیشترین مقدار مربوط به پوتین ۱ بود. در مقابل، تکانه مثبت در پوتین ۳ بیشترین مقدار را داشت ($P=0/001$).



شکل ۲. نمودار، متغیرهای کینتیکی مرتبط با نیروی عمودی عکس‌العمل زمین (VGRF) را در چهار وضعیت مختلف نشان می‌دهد؛ کفش رسمی (دایره)، پوتین ۱ (مربع)، پوتین ۲ (لوزی) و پوتین ۳ (مثلث). ۱) Peak VGRF_۱: اوج نیرو در فاز ترمزگیری، ۲) Peak VGRF_۲: اوج نیرو در فاز پذیرش وزن، ۳) Peak VGRF_۳: اوج نیرو در فاز تخلیه وزن، ۴) Peak VGRF_۴: اوج نیرو در فاز فشار پا (Push-off)، RFD: نرخ تولید نیرو. نماد # نشان‌دهنده تفاوت معنادار با کفش رسمی ($p < 0.05$) و نماد * نشان‌دهنده تفاوت معنادار با پوتین ۳ ($p < 0.05$) است.



شکل ۳. مقایسه تکانه قدامی هنگام استفاده از کفش رسمی در برابر سه وضعیت مختلف پوتین. علامت * تفاوت معنادار آماری را در سطح $p < 0.05$ نشان می‌دهد. Impulse: سطح زیر منحنی نیرو زمان

بحث

ساق‌های نرم‌تر در بهبود جذب ضربه و پذیرش وزن تاکید دارند و نشان می‌دهند که کاهش سختی ساق می‌تواند به کاهش انتقال نیروی بیش از حد به اندام تحتانی کمک کند.

در فاز دوم نیروی عکس‌العمل زمین، که مربوط به پوش آف یا پیشروی است، هر سه پوتین اوج نیروی پیش‌ران بالاتری نسبت به کفش رسمی نشان دادند. با این حال، در پارامتر تکانه پیش‌ران قدیمی که ارتباط مستقیم با سرعت و کارایی گام‌برداری دارد [۸]، پوتین ۳ با طراحی ساق نرم‌تر، بالاترین مقدار را در میان همه شرایط آزمایش‌شده نشان داد. طبق نتایج همین مطالعه افزایش سختی ساق موجب کاهش دامنه حرکتی مچ در طی راه‌رفتن و در نتیجه کاهش نیروی پیشروی و توان مورد نیاز برای پیش‌رانش می‌شود. پژوهش‌های قبلی نیز نشان داده‌اند که پوتین‌های نظامی با ساق سخت‌تر می‌توانند دامنه دورسی‌فلکشن را تا ۴۱ درصد و توان خروجی مچ پا را تا ۳۳ درصد نسبت به پوتین‌های نرم‌تر کاهش دهند [۸]. این موضوع همچنین باعث محدودسازی حرکت مچ و کاهش توان عضلات پلانترفلکسور در فاز پیشروی می‌شود [۹]. کاهش دامنه حرکتی مچ پا در میانه فاز استنس می‌تواند به کاهش ذخیره انرژی در تاندون آشیل منجر شده که در نهایت کاهش توان مورد نیاز برای پیشروی را به دنبال دارد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که استفاده از ترکیبات چرم و مواد مصنوعی، به‌ویژه در طراحی ساق‌های نرم‌تر، می‌تواند به طور بالقوه راهکار موثرتری برای بهینه‌سازی کینتیک گام‌برداری از منظر پیشگیری از آسیب و بهبود عملکرد فراهم آورد؛ چرا که این طراحی، هم در فاز تماس اولیه باعث بهبود توزیع بار می‌شود و هم در فاز پیش‌رانش به ارتقای کارایی گام کمک می‌کند. این مطالعه دارای محدودیت‌هایی نیز است. عدم امکان استفاده از زنان در مطالعه، تعمیم‌پذیری نتایج مطالعه را کم کرده است که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده این محدودیت مورد بررسی قرار گیرد. حجم نمونه بیشتر و کنترل سایر شاخص‌های پوتین نظیر اندازه‌گیری سختی می‌تواند به بهبود تعمیم‌پذیری نتایج کمک کند.

نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر دیدگاهی نو به تاثیر بیومکانیکی سختی ساق پوتین‌های نظامی بر کینتیک راه‌رفتن ارائه می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهند که ترکیب مواد به‌کاررفته در ساخت پوتین احتمالاً می‌تواند نقشی کلیدی در بهینه‌سازی جذب ضربه و بازده پیش‌رانش داشته باشد؛ به‌طوری که فرض می‌شود طراحی‌های ترکیبی از چرم و مواد مصنوعی در مقایسه با پوتین‌های چرمی سنتی، توزیع بار بهتری ایجاد کرده و نیازمند درگیری عضلانی کمتری هستند. سختی کمتر ساق در پوتین ۳ باعث افزایش تکانه‌ی مورد نیاز برای پیشروی شد؛ عاملی که می‌تواند در کاهش خستگی و پیشگیری از آسیب‌های ناشی از تکرار موثر باشد. همچنین، تفاوت‌ها در نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ تولید نیرو اهمیت طراحی کفش نظامی را برجسته می‌کند؛ زیرا در شرایطی که افراد در معرض راه‌رفتن طولانی مدت قرار دارند، این

مطالعه‌ی حاضر به بررسی تاثیر مواد مختلف به‌کاررفته در پوتین‌های نظامی بر پارامترهای کینتیکی می‌پردازد و با مقایسه‌ی پوتین‌های چرمی سنتی با مدلی ترکیبی از چرم و مواد مصنوعی، نقش آن‌ها در بهبود حرکت‌پذیری و بازده بیومکانیکی را ارزیابی می‌کند. پوتین‌های شماره ۱ و ۲ از انواع رایج و چرمی هستند که در میان نیروهای نظامی کاربرد گسترده‌ای دارند، با این تفاوت که پوتین ۲ دارای سختی کمتر در ساق است چرا که از چرم نرم‌تری در ساخت آن استفاده شده است. پوتین ۳ در مقابل، یکی از شناخته‌شده‌ترین پوتین‌های نظامی در سطح بین‌المللی است که در ناحیه‌ی مچ از مواد مصنوعی بهره می‌برد تا انعطاف‌پذیری ساق را افزایش دهد و ساختار نرم‌تری نسبت به دو مدل دیگر فراهم کند.

نتایج تحلیل GRF نشان دادند که کفش رسمی دارای اوج نیروی ضربه‌ای بالاتری نسبت به سه پوتین مورد بررسی بود. با این حال، تنها پوتین‌های ۱ و ۲ در مرحله پذیرش وزن اوج بالاتری نسبت به کفش رسمی نشان دادند. در خصوص RFD، پوتین ۳ مقدار پایین‌تری نسبت به پوتین‌های دیگر داشت. همچنین، در نیروی قدیمی-خلفی، پوتین ۳ اوج منفی کمتری نسبت به پوتین ۱ و تکانه منفی کمتری نشان داد. این یافته‌ها، به‌ویژه در نیمه‌ی اول فاز ایستایی راه‌رفتن، با مطالعات پیشین که تفاوت معناداری بین کفش و پوتین گزارش نکرده بودند، متفاوت است [۱۵، ۱۶]. مطالعه‌ی دیگر نیز مشخص کرده بود که تفاوت قابل توجهی بین کفش‌های نظامی و پوتین‌ها در شاخص‌هایی مانند نرخ بارگذاری و اوج نخست نیروی عمودی وجود ندارد [۹]. با این حال، نتایج حاضر اختلاف معناداری در اوج نیروی ضربه‌ای و اوج پذیرش وزن بین پوتین‌ها و کفش‌ها گزارش می‌دهد. این تفاوت می‌تواند به دلیل تفاوت در نوع کفش باشد چون در بیشتر این مطالعات از کفش‌های لژدار ورزشی استفاده شده بود در حالی که در این مطالعه از کفش رسمی با کفی سفت استفاده شد.

نکته‌ی قابل توجه این است که پوتین ۳ که از ترکیب چرم و مواد مصنوعی ساخته شده، توزیع بار بهتری را در فاز تماس اولیه فراهم کرده است. مشابهت اوج نیروهای ضربه‌ای در میان پوتین‌ها ممکن است ناشی از شباهت در ترکیب موادشان باشد، در حالی که ارتفاع بیشتر پاشنه در پوتین‌ها می‌تواند دلیل کاهش اوج ضربه نسبت به کفش رسمی باشد، به طوری که ارتفاع پوتین‌ها در این مطالعه از ۲/۸ تا ۳/۲ سانتی‌متر دامنه داشتند در حالی که ارتفاع پاشنه کفش ۱ سانتی‌متر بود. این تغییر در ارتفاع پاشنه طبق مطالعات گذشته عاملی برای کاهش نیرو می‌باشد [۱۷]. تفاوت‌های مشاهده‌شده میان پوتین‌ها نیز احتمالاً با سختی ساق مرتبط است و با نتایج دیگر هماهنگ است که نشان داده بودند سختی ساق اثر معناداری بر کینتیک راه‌رفتن دارد [۸]. قابلیت جذب ضربه بالاتر در پوتین ۳ نسبت به پوتین‌های ۱ و ۲ به ویژگی‌های خاص آن در سختی ساق نسبت داده می‌شود. این نتایج به‌طور ویژه بر مزایای عملکردی طراحی

حمایت مالی

مطالعه حاضر از منابع مالی استفاده نکرده است.

ملاحظات اخلاقی

تمام مراحل انجام این پژوهش مطابق با دستورالعمل‌های بیانیه هلسینکی اجرا شده و تاییدیه اخلاقی آن توسط کمیته بررسی نهادی دانشگاه دریافت شده است. این مطالعه در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی بیرجند به تصویب رسید (IR.BIRJAND.REC.1404.014).

مشارکت‌های نویسندگان

نویسنده اول: راهنمای پروژه، تحلیل دیتاهای مقاله و نگارش مقاله. نویسنده دوم: انجام پروتکل اجرایی شامل انتخاب آزمودنی، تهیه پوتین و انجام تست‌های آزمایشگاهی. نویسنده سوم: مشاور پروژه، کمک به تحلیل داده‌ها و ویرایش مقاله.

تشکر و قدردانی

از تمامی افرادی که در نگارش این مقاله ما را یاری رساندند، تشکر می‌کنیم.

تضاد منافع

مطالعه حاضر تعارض منافعی ندارد.

REFERENCES

- Hamill J, Benseal CK. Biomechanical analysis of military boots: phase III. *United States Army Technical Report NATICK/TR-96.013*; dated Mar. 1996;11:42. [Link]
- Yeo EX, Chhabra K, Kong PW. Influence of combat boot types on in-shoe forces and perceived comfort during unloaded and loaded walking. *BMJ Mil Health*. 2024;170(1):37-42. [DOI: [10.1136/bmj.military-2021-002061](https://doi.org/10.1136/bmj.military-2021-002061)] [PMID]
- Stefanyshyn DJ, Nigg BM. Energy aspects associated with sport shoes. *Sportverletz Sportschaden*. 2000;14(3):82-9. [DOI: [10.1055/s-2000-7867](https://doi.org/10.1055/s-2000-7867)] [PMID]
- Böhm H, Hösl M. Effect of boot shaft stiffness on stability joint energy and muscular co-contraction during walking on uneven surface. *J Biomech*. 2010;43(13):2467-72. [DOI: [10.1016/j.jbiomech.2010.05.029](https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.05.029)] [PMID]
- Stacoff A, Stüssi E. External stabilizers for the foot. *Sportverletz Sportschaden*. 1993;7(4):200-5. [DOI: [10.1055/s-2007-993508](https://doi.org/10.1055/s-2007-993508)] [PMID]
- Avramakis E, Stacoff A, Stüssi E. Effect of shoe shaft and shoe sole height on the upper ankle joint in lateral movements in floorball (uni-hockey). *Sportverletz Sportschaden*. 2000;14(3):98-106. [DOI: [10.1055/s-2000-7869](https://doi.org/10.1055/s-2000-7869)] [PMID]
- Mika A, Oleksy Ł, Mika P, Marchewka A, Clark BC. The influence of heel height on lower extremity kinematics and leg muscle activity during gait in young and middle-aged women. *Gait Posture*. 2012;35(4):677-80. [DOI: [10.1016/j.gaitpost.2011.12.001](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.12.001)] [PMID]
- Cikajlo I, Matjačić Z. The influence of boot stiffness on gait kinematics and kinetics during stance phase. *Ergonomics*. 2007;50(12):2171-82. [DOI: [10.1080/00140130701582104](https://doi.org/10.1080/00140130701582104)] [PMID]
- Requiao LF, Nadeau S, Milot MH, Gravel D, Bourbonnais D, Gagnon D. Quantification of level of effort at the plantarflexors and hip extensors and flexor muscles in healthy subjects walking at different cadences. *J Electromyogr Kinesiol*. 2005;15(4):393-405. [DOI: [10.1016/j.jelekin.2004.12.004](https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2004.12.004)] [PMID]
- Greensword M, Aghazadeh F, Al-Qaisi S. Modified track shoes and their effect on the EMG activity of calf muscles. *Work*. 2012;41(S1):1763-70. [DOI: [10.3233/WOR-2012-0382-1763](https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0382-1763)] [PMID]
- Blackburn JT, Hirth CJ, Guskiewicz KM. Exercise sandals increase lower extremity electromyographic activity during functional activities. *J Athl Train*. 2003;38(3):198-203. [PMID]
- Dobson JA, Riddiford-Harland DL, Steele JR. Effects of wearing gumboots and leather lace-up work boots on plantar loading when walking on a simulated underground coal mine surface. *Footwear Science*. 2018;10(3): 139-148. doi: [10.1016/j.apergo.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.01.006). [DOI: [10.1080/19424280.2018.1486461](https://doi.org/10.1080/19424280.2018.1486461)]
- Dobson JA, Riddiford-Harland DL, Steele JR. Effects of wearing gumboots and leather lace-up boots on lower limb muscle activity when walking on simulated underground coal mine surfaces. *Appl Ergon*. 2015;49:34-40. [DOI: [10.1016/j.apergo.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.01.006)] [PMID]
- Dobson JA, Riddiford-Harland DL, Bell AF, Wegener C, Steele JR. Effect of work boot shaft stiffness and sole flexibility on boot clearance and shank muscle activity when walking on simulated coal mining surfaces: implications for reducing trip risk. *Ergonomics*. 2022;65(8):1071-85. [DOI: [10.1080/00140139.2021.2016996](https://doi.org/10.1080/00140139.2021.2016996)] [PMID]
- Haghighat F, Rezaie M, Majlesi M. How boots affect the kinematics and kinetics of lower limb joints during walking compared to casual footwear. *Sci Rep*. 2024;14(1):18389. [DOI: [10.1038/s41598-024-68533-1](https://doi.org/10.1038/s41598-024-68533-1)] [PMID]
- Bini RR, Kilpp DD, Júnior PA, Muniz AM. Comparison of ground reaction forces between combat Boots and sports shoes. *Biomechanics*. 2021;1(3):281-9. [DOI: [10.3390/biomechanics1030023](https://doi.org/10.3390/biomechanics1030023)]
- Zhang M, Shi H, Liu H, Zhou X. Biomechanical analysis of running in shoes with different heel-to-toe drops. *Appl Sci*. 2021;11(24):12144. [DOI: [10.3390/app112412144](https://doi.org/10.3390/app112412144)].