Journal of
Sport Biomechanics

Summer 2026. Vol 12. Issue 2

Research Paper

Comparison of Symmetrical and Asymmetrical Bag-Carrying on the Vertical Ground Reaction Force During Walking in Healthy Adults

*Yasin Hosseini[1]

1. Department of Sport Science, Faculty of Literature and Humanities, Malayer University, Malayer, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Hosseini Y. Comparison of Symmetrical and Asymmetrical Bag-Carrying on the Vertical Ground Reaction Force During Walking in Healthy Adults. Journal of Sport Biomechanics.2026;12(2):358-371. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.2.358

https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.2.358

Article Info:

Received: 26 January 2026

Accepted: 25 February 2026

Available Online: 28 April 2026

Keywords:

Loading rate, Symmetrical load, Asymmetrical load, Vertical ground reaction force

ABSTRACT

Objective Symmetrical and asymmetrical bag carrying during repetitive activities such as walking may increase mechanical loading and potentially elevate the risk of musculoskeletal injury. Analysis of ground reaction forces (GRF) during walking is therefore of clinical relevance. The aim of this study was to investigate the vertical ground reaction force during different symmetrical and asymmetrical bag-carrying conditions.

Methods Seventeen female university students voluntarily participated in this study. Vertical ground reaction force data were recorded using an RSscan foot scanner at a sampling frequency of 300 Hz. Two asymmetrical carrying conditions (single-hand carrying and single-shoulder carrying) were compared with two symmetrical conditions (backpack and front pack).

Results Carrying a bag with one hand resulted in a significantly higher loading rate compared with single-shoulder carrying ($P = 0.007$) and backpack carrying ($P = 0.005$). However, no significant difference in loading rate was observed between single-hand carrying and front-pack carrying ($P = 0.051$). The time to peak vertical ground reaction force at heel contact was significantly shorter during front-pack carrying compared with single-hand carrying ($P = 0.03$).

Conclusion Single-hand bag carrying is associated with a significantly greater loading rate compared with single-shoulder and backpack carrying. Given that these impact forces are applied at every heel strike during walking, minimizing single-hand bag carrying may help reduce repetitive mechanical loading.

* *Corresponding Author:*
Yasin Hosseini
Address: Department of Sport Science, Faculty of Literature and Humanities, Malayer University, Malayer, Iran.
E-mail: y.hoseini@malayeru.ac.ir

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

Carrying a bag is a common daily activity across various age groups and occupations, including students and office workers (1). The method of load carriage has been shown to influence gait biomechanics and ground reaction forces (2). Previous studies indicate that both bag design and carrying strategy substantially affect the magnitude and distribution of forces applied to the body (3–5). Alterations in gait pattern and increases in reaction forces may elevate mechanical stress on the lower-extremity joints and potentially increase the risk of musculoskeletal injury (6,7). Repetitive activities performed under external load, such as walking while carrying a bag, have been proposed as contributing mechanisms in the development of movement impairments (8). Furthermore, carrying a backpack equivalent to 10% of body weight for 30 minutes has been reported to induce short-term musculoskeletal alterations (9,10).

In daily life, individuals typically carry bags either symmetrically (e.g., backpack or front pack) or asymmetrically (e.g., single-hand or single-shoulder carrying) (2,11,12). From a biomechanical perspective, symmetrical loading may promote a more even distribution of forces between the lower limbs, whereas asymmetrical loading may alter center-of-mass alignment and increase joint loading asymmetry (2,13). Studies examining asymmetrical loading have reported limb differences in plantar pressure and postural control (14,15). The analysis of vertical ground reaction force (GRF) during walking is clinically relevant (16). Variables derived from vertical GRF—such as peak force, time to peak, impulse, and vertical loading rate—provide insight into mechanical loading characteristics. Increased vertical loading rate has been associated with stress fractures, patellofemoral pain, and plantar fasciitis (17–20). Despite existing research on load carriage, direct comparisons of vertical GRF characteristics between symmetrical and asymmetrical bag-carrying methods remain limited. Therefore, the aim of the present study was to compare vertical GRF variables during symmetrical and asymmetrical bag carrying in healthy young women.

2. Methods

The present study employed a quasi-experimental, repeated-measures laboratory design. Seventeen female students from Malayer University without any history of musculoskeletal disorders participated voluntarily. Participants were recruited through an open call at the university. A Pierre Cardin laptop bag (Model 2189, Iran) was used for all load carriage conditions. The load was standardized to 10% of each participant's body weight (22). Vertical ground reaction force (GRF) data were recorded using a FootScan pressure platform (RSscan-9, Belgium; dimensions: 578 × 418 × 12 mm) operating at a sampling frequency of 300 Hz. The system contains 4096 active sensors. Data were collected during the stance phase of walking, defined as the interval from initial heel contact to toe-off. From the vertical GRF curve (Fig. 1), the following variables were extracted: first peak vertical force at heel contact (FzI.C), mid-stance vertical force (FzM.S), and propulsion phase vertical force (FzP.O). Temporal variables included time to peak at heel contact, mid-stance, and propulsion. All variables were calculated from the stance-phase vertical GRF waveform.

3. Results

No significant differences were observed among bag-carrying conditions in peak vertical ground reaction force at heel contact (FzI.C), mid-stance (FzM.S), or propulsion phase (FzP.O) ($P \geq 0.05$). Analysis of temporal variables revealed significant differences in time to peak vertical GRF. During single-hand carrying, time to peak at heel contact was significantly shorter compared with single-shoulder carrying ($P = 0.003$) and backpack carrying ($P = 0.03$). Additionally, time to peak at mid-stance was significantly shorter in the single-hand condition compared with the single-shoulder condition ($P = 0.018$). No other significant temporal differences were detected. Vertical loading rate differed significantly between conditions. Single-hand carrying resulted in a significantly greater loading rate compared with backpack carrying ($P = 0.003$) and single-shoulder carrying ($P = 0.003$). No significant differences were observed in vertical impulse across the different bag-carrying methods ($P \geq 0.05$).

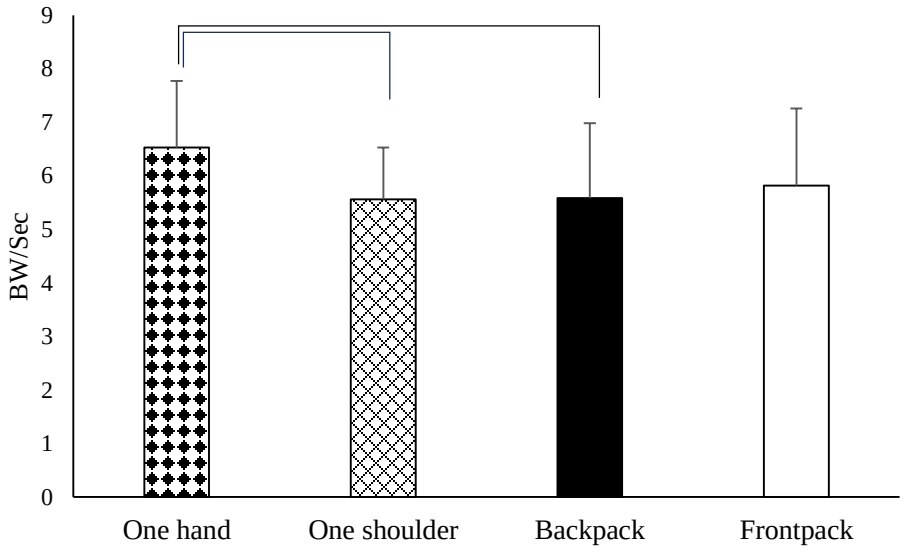


Fig. 1. Vertical loading rate (BW/s) across different bag-carrying conditions (mean ± SD).

4. Discussion

The present study compared symmetrical and asymmetrical bag-carrying methods with respect to vertical ground reaction force (GRF) characteristics during walking. No significant differences were observed in peak vertical GRF across heel contact, mid-stance, or propulsion phases. This finding suggests that altering the method of load carriage at 10% body weight does not substantially change the magnitude of peak vertical force. Similar observations have been reported in previous studies examining load carriage and peak GRF responses (24). However, temporal characteristics of force application differed between conditions. Specifically, single-hand carrying resulted in a shorter time to peak vertical GRF at heel contact and mid-stance compared with selected symmetrical conditions. Because loading rate is mathematically influenced by both force magnitude and time to peak, the reduced time to peak in the single-hand condition contributed to a significantly greater vertical loading rate. Increased loading rate has been associated with stress-related musculoskeletal conditions, including stress fractures and patellofemoral pain (17–20). Although the present study did not assess injury outcomes, these findings suggest that asymmetrical single-hand carriage may increase instantaneous mechanical loading demands during walking. No significant differences were observed in vertical impulse, indicating that the total accumulated load during stance remained comparable across carrying methods. Therefore, the primary distinction between conditions appears to lie in how rapidly force is applied rather than in total load magnitude. From a practical perspective, when load carriage is necessary, symmetrical methods such as backpack use may provide a more mechanically favorable pattern of force application compared with single-hand carrying. However, given the modest load (10% body weight) and the absence of kinetic asymmetry measures or long-term follow-up, conclusions regarding injury risk should be interpreted cautiously. Future studies incorporating kinematic, electromyographic, and bilateral force analyses are warranted to further clarify the biomechanical consequences of different load carriage strategies.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All procedures performed in this study were conducted in accordance with established ethical principles for research involving human participants. The study protocol and procedures were explained clearly to all participants, and written informed consent was obtained prior to data collection.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

The author was solely responsible for the study conception and design, data collection, data analysis and interpretation, manuscript drafting, and approval of the final version of the manuscript.

Conflicts of interest

The author declares no conflicts of interest.

مقاله پژوهشی

مقایسه روش‌های متقارن و نامتقارن حمل کیف بر مؤلفه‌های عمودی نیروی عکس‌العمل زمین حین راه رفتن در افراد سالم

*یاسین حسینی [۱]

۱. گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ملایر، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Hosseini Y. Comparison of Symmetrical and Asymmetrical Bag-Carrying on the Vertical Ground Reaction Force During Walking in Healthy Adults. Journal of Sport Biomechanics.2026;12(2):358-371. https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.2.358

https://doi.org/10.66224/JSportBiomech.12.2.358

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۶ بهمن ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۶ اسفند ۱۴۰۴
تاریخ انتشار: ۸ اردیبهشت ۱۴۰۵

کلید واژه‌ها:
نرخ بارگذاری، حمل متقارن، حمل نامتقارن، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین

چکیده

هدف حمل بار به‌صورت متقارن و نامتقارن در حین فعالیت‌های تکراری مانند راه رفتن، احتمال آسیب‌های اسکلتی و عضلانی را افزایش می‌دهد. بررسی نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن از اهمیت کلینیکی برخوردار است. هدف پژوهش حاضر بررسی مؤلفه‌های نیروی عمودی عکس‌العمل زمین حین حمل کیف با روش‌های متقارن و نامتقارن می‌باشد.

روش‌ها در این تحقیق ۱۷ دانشجوی دختر به‌طور داوطلبانه در این تحقیق شرکت کردند. مؤلفه‌های نیروی عمودی عکس‌العمل زمین با استفاده از دستگاه فوت اسکن RS Scan (۳۰۰ هرتز) مورد ارزیابی قرار گرفت. در تحقیق حاضر دو نوع حمل کیف نامتقارن (حمل کیف با یک دستی و حمل کیف با یک شانه) با دو نوع حمل کیف متقارن (کوله پشتی و کوله جلویی) مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها نتایج تحقیق حاضر نشان داد که حمل کیف با یک دست به‌طور معناداری نرخ بارگذاری بالاتری را به افراد در مقایسه با حمل کیف با یک شانه و حمل کوله پشتی اعمال می‌کند؛ اما در نرخ بارگذاری هنگام حمل کیف با یک دست در مقایسه با کوله قدامی اختلاف معناداری مشاهده نشد. زمان رسیدن به اوج نیروی عکس-العمل عمودی زمین در لحظه تماس پاشنه پا با زمین هنگام حمل کیف با کوله جلویی به‌طورمعمول کمتر از حمل کیف با یک دست گزارش شده است.

نتیجه‌گیری نتایج تحقیق حاضر نشان داد نرخ بارگذاری هنگام حمل کیف با یک دست به‌طور معناداری از حمل کیف با یک شانه و حمل کوله پشتی بالاتر می‌باشد. ازآنجاکه این نیروها هنگام راه رفتن در هر تماس پاشنه با زمین به بدن فرد وارد می‌شود توصیه می‌شود از روش حمل کیف با یک دست به‌هیچ‌عنوان استفاده نگردد.

*نویسنده مسئول:
یاسین حسینی
آدرس: گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ملایر، ایران.
ایمیل: y.hoseini@malayeru.ac.ir

مقدمه

حمل کیف با روش‌های مختلف به‌عنوان یکی از فعالیت‌های پرتکرار در گروه‌های سنی مختلف و مشاغل مختلف از قبیل کارمندان و دانشجویان می‌باشد (۱). روش‌های حمل کیف تأثیر معناداری بر بیومکانیک راه رفتن و نیروهای عکس‌العمل زمین دارد (۲). تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که طراحی کیف و روش حمل کیف نقش بسیار مهمی در نیروهای وارده بر بدن دارند (۳–۵). تغییر در الگوی راه رفتن و افزایش نیروهای عکس‌العمل وارده بر بدن، باعث افزایش فشار بر مفاصل اندام تحتانی و افزایش احتمال آسیب‌دیدگی می‌شود (۶, ۷). انجام حرکات تکراری، مانند راه رفتن با بارهای خارجی می‌تواند یکی از اصلی‌ترین سازوکارهای بروز نقص‌های حرکتی باشد (۸). حفظ یک وضعیت برای ۲۰ دقیقه و یا حمل کوله پشتی با بار معادل ۱۰ درصد وزن بدن به مدت ۳۰ دقیقه باعث تغییراتی در بافت عضلانی و اسکلتی می‌شود و برای مدت کوتاهی برگشت‌ناپذیر می‌باشد (۹, ۱۰). حمل کیف توسط افراد غالباً به دو صورت متقارن و نامتقارن صورت می‌گیرد (۲, ۱۱). حمل کیف به‌صورت متقارن، شامل حمل کوله پشتی و حمل کوله جلویی می‌باشد. حمل کیف نامتقارن شامل حمل کیف با یک دست و حمل کیف به‌صورت آویزان از یک شانه می‌باشد (۲, ۱۲). این روش‌های حمل کیف در بین تمام اقشار جامعه بسیار رایج می‌باشد. هنگامی‌که سیستم اسکلتی–عضلانی تحت بارگذاری متقارن قرار می‌گیرد، نیروهای عکس‌العمل زمین به‌صورت متقارن به اندام تحتانی اعمال می‌شوند به‌عبارت‌دیگر توزیع همگن نیروها هنگام اعمال بار متقارن وجود دارد اما هنگام اعمال بار نامتقارن، نیروهای عکس‌العمل زمین به‌صورت ناهمگن به مفاصل اندام تحتانی وارد می‌شود و باعث افزایش فشار وارده بر مفاصل اندام تحتانی می‌گردد (۲, ۱۳).

زاودکا و همکاران به مطالعه تأثیر بار نامتقارن در هر دست در حالت ایستاده (بدون بار، یک بار کوله پشتی در دست راست، یک‌بار کوله پشتی در دست چپ) در افراد سالم پرداختند تفاوت‌های بسیار معنی‌داری بین پای چپ و راست در هر دو وضعیت بارگذاری شده مشاهده شد (۱۴). انورو همکاران در مطالعه‌ای به اثر تکنیک‌های حمل بار ۳ حالته (حمل بار روی سر، روی شانه غالب و در هر دو دست) بر پارامتر راه رفتن، تعادل دینامیکی و پارامترهای فیزیولوژیکی در حین کار در کارگران ساختمانی پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که حمل بار در هر دو دست، تقارن راه رفتن و تعادل دینامیکی بهتری نسبت به حمل بار روی شانه یا سر دارد (۱۵). تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین طی فعالیت‌هایی مانند ایستادن، راه رفتن و دویدن از اهمیت کلینیکی برخوردار است (۱۶). با استفاده از نیروهای عکس‌العمل زمین، نرخ بارگذاری عمودی محاسبه می‌شود. محققان مختلف نشان داده‌اند که افزایش نرخ بارگذاری هنگام فعالیت‌های مختلف با استرس فراکچر، درد کشککی رانی و عارضه فاسئیت پلانتار مرتبط است (۱۷–۲۰). ازآنجاکه حمل بار به دو صورت نامتقارن و متقارن باعث تغییر در الگوی اعمال نیروی عمودی عکس‌العمل زمین می‌شود، لذا به نظر می‌رسد بین روش‌های متقارن و نامتقارن حمل بار، در رابطه با توزیع نیروی عمودی عکس‌العمل زمین تفاوت وجود دارد؛ اما تاکنون تحقیقی در رابطه با تأثیر نوع حمل کیف بر مؤلفه‌های نیروی عمودی عکس‌العمل زمین صورت نگرفته است لذا در این تحقیق قصد داریم روش‌های حمل کیف به‌صورت متقارن و نامتقارن را مورد بررسی قرار دهیم.

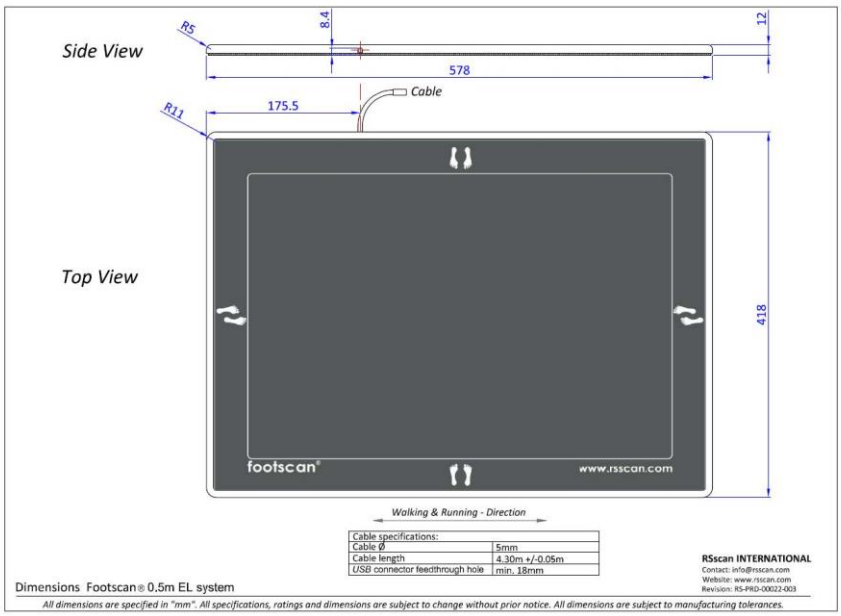
روش شناسی

آزمودنی‌ها

پژوهش حاضر از نوع شبه تجربی و آزمایشگاهی است. در این پژوهش از بین دانشجویان دختر دانشگاه ملایر تعداد ۱۷ نفر بدون هیچ‌گونه عارضه اسکلتی عضلانی انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمودنی‌ها توسط توزیع فراخوان در دانشگاه ملایر و به‌صورت تصادفی انتخاب گردیدند. تعداد ۱۷ آزمودنی در هر گروه با توجه به نرم‌افزار G*POWER با توان آماری ۸۰٪ و آلفای ۰/۰۵ در نظر گرفته شد (۲۱). میانگین سن، وزن و قد آزمودنی‌ها به ترتیب برابر ۲۰/۱۱±۰/۸۵ سال، ۶۰/۲±۵۱/۵۶ کیلوگرم و ۱/۵۹±۰/۰۲ متر بودند.

ابزار و روش پژوهش

در این آزمون از کیف لپ‌تاپی پیرکاردین مدل ۲۱۸۹ ساخت ایران استفاده شد. این کیف قابلیت حمل به ۴ روش پیشنهادی را دارد و به‌طور کامل قابلیت تنظیم بندها در حالت کوله و آویز برای شانه را دارا می‌باشد. وزن مورد استفاده در این تحقیق برابر با ۱۰ درصد وزن بدن افراد در نظر گرفته شد (۲۲). برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های عمودی نیروی عکس‌العمل زمین از دستگاه فوت اسکن (RRScan-9, Belguim, 578mm*418mm*12mm) ساخت کشور بلژیک با فرکانس نمونه‌برداری ۳۰۰ هرتز استفاده شد. این دستگاه دارای ۴۰۹۶ سنسور فعال می‌باشد (شکل ۱). در تحقیق حاضر آزمودنی‌ها کیف را به چهار روش با ۱۰ درصد وزن بدنشان، حمل می‌کردند، این چهار روش شامل، حمل کیف با یک دست، حمل کیف با یک شانه، کوله پشتی و کوله جلویی بود. ترتیب انتخاب نحوه حمل کیف کاملاً تصادفی بود. کیف‌ها متناسب با ارتفاع بالاتنه هر فرد با استفاده از بندها در موقعیت یکسانی قرار می‌گرفت. فوت اسکن در وسط یک مسیر ۱۸ متری قرار گرفته بود به‌طوری‌که آزمودنی‌ها قبل از رسیدن به فوت اسکن حداقل پنج گام برمی‌داشتند. در هر شیوه حمل کیف، کوششی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گرفت که پا به‌طور کامل به بخش میانی فوت اسکن برخورد نمایید. مدت زمان راه رفتن در مسیر ۱۸ متری توسط کرونومتر Q&Q اندازه‌گیری شد. به‌این‌ترتیب که با صدور فرمان " رو" از طرف آزمون‌گر کرونومتر شروع به کار می‌کرد و وقتی آزمودنی ۱۸ متر را طی می‌کرد، زمان کرونومتر متوقف می‌شد. به‌منظور آشنایی با نحوه آزمایش، آزمودنی‌ها ۳ مرتبه به‌طور آزمایشی کوشش راه رفتن را انجام دادند. اگر پای آزمودنی به لبه فوت اسکن برخورد نماید، آزمون مجدداً تکرار می‌گردد.



شکل ۱. نمای جانبی و فوقانی FootScan (RSscan-9, Belgium) مورد استفاده برای ثبت مؤلفه‌های عمودی نیروی عکس‌العمل زمین در حین راه رفتن

در هر شیوه حمل کیف ۳ تکرار صحیح مورد ارزیابی قرار گرفت. مدت زمان استراحت بین هر کوشش ۱ دقیقه در نظر گرفته شده بود. داده‌های نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در فاز استانس راه رفتن استخراج شد. از لحظه تماس پاشنه با زمین تا لحظه جدا شدن پنجه پا از زمین، فاز استانس در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از نیروی عمودی عکس‌العمل زمین مطابق شکل ۲ می‌توان اوج نیروی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه پا با زمین ($Fz_{I.C}$)، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در میانه فاز استانس ($Fz_{M.S}$)، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز پیشروی ($Fz_{P.O}$)، زمان رسیدن به اوج نیروی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه با زمین، میانه فاز استانس و زمان رسیدن به اوج نیروی عکس‌العمل زمین در فاز پیشرو را محاسبه کرد (۲). نرخ بارگذاری عمودی به‌عنوان شیب خطی است که لحظه تماس پاشنه با زمین تا اوین اوج نیروی عکس‌العمل زمین در نظر گرفته می‌شود و بر اساس فرمول زیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (۱۸).

$$\text{Loading rate} = \left[\left[\frac{\text{peak}\frac{\text{Fz(N)}}{\text{body}}\text{weight(N)}}{\text{time to peak Fz}}\right]\right]$$

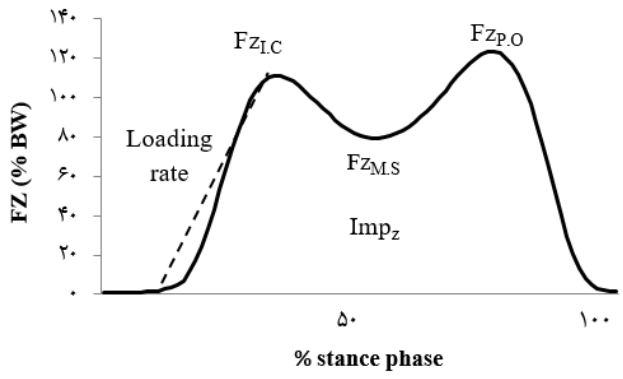
برای محاسبه ایمپالس مؤلفه عمودی عکس‌العمل زمین از روش انتگرال‌گیری Trapezoidal استفاده شد (۲۳).

$$Impulse = \Delta t\left(\left(\frac{F1 + Fn}{2}\right) + \sum_{i=2}^{n-1} Fi\right)$$

داده‌های کینتیک با استفاده از فیلتر Butterworth سطح چهار و بدون اختلاف فازی با فرکانس برشی ۲۰ هرتز هموار شدند. برای همسان‌سازی مقادیر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، این مقادیر بر وزن افراد تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شدند.

تجزیه‌وتحلیل آماری

در تحقیق حاضر برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیروویلک استفاده شد. با توجه به طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری برای مقایسه تفاوت‌های درون‌گروهی در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده گردید. کلیه تجزیه‌وتحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد.



شکل۲. مؤلفه‌های نیروی عمودی عکس‌العمل زمین

نتایج

نتایج تحقیق حاضر نشان داد، اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظه‌های تماس پاشنه با زمین، میانه فاز استقرار و فاز پیشروی بین روش‌های حمل کیف اختلاف معناداری وجود ندارد (P>۰/۰۵) (جدول ۱). مقایسه زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در مراحل مختلف نشان داد هنگام حمل کیف با یک دست زمان رسیدن به اوج نیروی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه پا با زمین، به‌طور معناداری کمتر از حمل کیف با یک شانه (P=۰/۰۰۳، d=۰/۰۳۲) و حمل کیف با کوله پشتی (d=۰/۰۴۲،P=۰/۰۳) می‌باشد (جدول ۲). همچنین در زمان رسیدن به اوج نیروی عکس عمودی زمین در میانه فاز استقرار هنگام حمل کیف با یک دست به‌طور معناداری کمتر از حمل کیف با یک شانه می‌باشد (d=۰/۰۵۲،P=۰/۰۱۸).

نرخ بارگذاری حین حمل کیف با یک دست به‌طور معناداری بزرگ‌تر از روش‌های حمل کیف به‌صورت کوله پشتی (P=۰/۰۰۵، d=۱/۱) و حمل با یک شانه (P=۰/۰۰۷، d=۱/۳) گزارش شد (شکل ۳). نتایج مربوط به ایمپالس در شرایط مختلف حمل کیف نشان داد بین روش‌های مختلف اختلاف معناداری وجود ندارد (P>۰/۰۵) (شکل ۴).

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی روش‌های متقارن و نامتقارن حمل کیف و تأثیر آن‌ها بر مؤلفه‌های عمودی نیروی عکس‌العمل زمین بود. یکی از عوامل تأثیرگذار بر مؤلفه‌های عمودی عکس‌العمل زمین سرعت راه رفتن است لذا در این تحقیق با کنترل سرعت توسط کرونومتر اختلاف معناداری بین روش‌های مختلف وجود نداشت لذا هرگونه اختلاف مشاهده شده در مؤلفه‌های نیروی عمودی عکس‌العمل زمین ناشی از تفاوت در روش‌های حمل کیف می‌باشد.

جدول ۱. اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین همسان‌سازی شده با وزن افراد

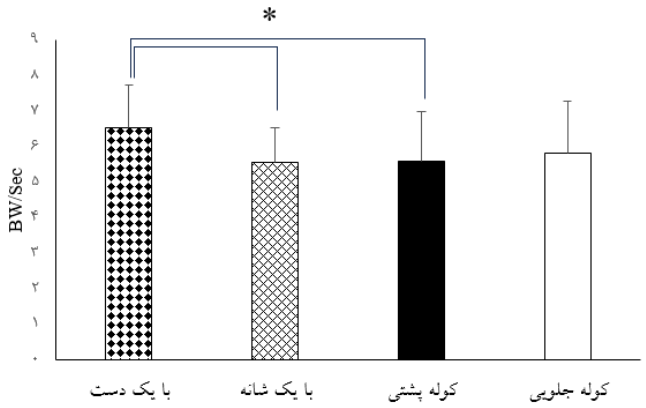
		با یک دست ∞ میانگین ± انحراف معیار	با یک شانه £ میانگین ± انحراف معیار	کوله پشتی € میانگین ± انحراف معیار	کوله جلویی Ω میانگین ± انحراف معیار	سطح معناداری
Fz	$Fz_{I.C}$	۱/۲۸ ± ۰/۱۱	۱/۲۲ ± ۰/۰۷	۱/۲۴ ± ۰/۰۷	۱/۲۵ ± ۰/۰۹	NS*
	$Fz_{M.S}$	۰/۹۵ ± ۰/۱۱	۰/۹۹ ± ۰/۱۲	۰/۹۹ ± ۰/۰۹	۰/۹۸ ± ۰/۱۰	NS*
	$Fz_{p.o}$	۱/۳۵ ± ۰/۱۳	۱/۳۷ ± ۰/۰۸	۱/۳۸ ± ۰/۰۹	۱/۳۴ ± ۰/۱۱	NS*

* عدم معنی داری

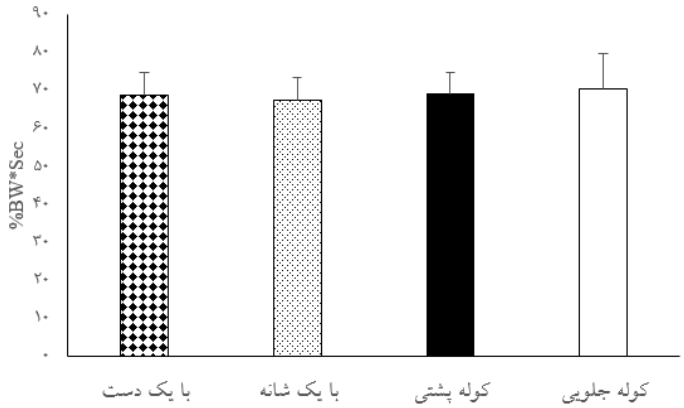
جدول ۲. زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین

		با یک دست ∞ میانگین ± انحراف معیار	با یک شانه £ میانگین ± انحراف معیار	کوله پشتی € میانگین ± انحراف معیار	کوله جلویی Ω میانگین ± انحراف معیار	سطح معناداری
TFz	$TFz_{I.C}$	۰/۱۹ ± ۰/۰۳	۰/۲۲ ± ۰/۰۴	۰/۲۲ ± ۰/۰۳	۰/۲۱ ± ۰/۰۴	∞ vs £= ۰/۰۰۳ ∞ vs €= ۰/۰۳
	$TFz_{M.S}$	۰/۳۵ ± ۰/۰۴	۰/۳۸ ± ۰/۰۵	۰/۳۷ ± ۰/۰۴	۰/۳۷ ± ۰/۰۶	∞ vs £= ۰/۰۱۸
	$TFz_{p.o}$	۰/۵۳ ± ۰/۰۶	۰/۵۴ ± ۰/۰۴	۰/۵۵ ± ۰/۰۵	۰/۵۴ ± ۰/۰۳	NS*

* عدم معنی داری



شکل ۳. نرخ بارگذاری عمودی در شرایط مختلف حمل کیف



شکل ۴. ایمپالس عمودی در شرایط مختلف حمل کیف

نتایج تحقیق حاضر نشان داد بین روش‌های مختلف حمل کیف هیچ‌گونه اختلاف معناداری در اوج نیروهای عکس‌العمل عمودی زمین در مراحل تماس پاشنه با زمین، میانه فاز استقرار و فاز پیشروی وجود ندارد. اسکامیلا و همکارانش در سال ۲۰۱۷ نشان دادند که روش‌های مختلف حمل کیف در اوج نیروهای عکس‌العمل زمین تأثیر معناداری ایجاد نمی‌کند (۲۴). از طرفی دیگر با بررسی نتایج مربوط به زمان رسیدن به اوج نیروهای عکس‌العمل زمین مشخص شد، در روش حمل کیف با یک دست در لحظه تماس پاشنه با زمین نسبت به سایر روش‌ها زمان رسیدن به اوج کمتر می‌باشد. هرچه زمان رسیدن به اوج کمتر باشد به این معنی است که شیب نمودار در لحظه تماس پاشنه با زمین بیشتر می‌شود (۱۸). افزایش شیب باعث می‌شود توانایی سازگاری بدن برای تعدیل نیروها کاهش یابد و احتمال ریسک آسیب را افزایش می‌دهد (۱۷, ۱۸). به‌منظور بررسی دقیق‌تر اثرات کاهش زمان رسیدن به اوج نیروهای عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه با زمین از روش محاسبه نرخ بارگذاری استفاده می‌شود. همان‌طور که در قسمت روش‌شناسی ذکر شد، نرخ بارگذاری عمودی به‌عنوان شیب خطی است که لحظه تماس پاشنه با زمین تا اولین اوج نیروی عکس‌العمل زمین در نظر گرفته می‌شود (۱۸). در محاسبه نرخ بارگذاری دو عامل اوج نیروی عکس‌العمل عمودی و زمان رسیدن به آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. به‌عبارت‌دیگر نرخ بارگذاری با اوج نیروی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه با زمین نسبت مستقیم و با زمان رسیدن به اوج نیروی عکس‌العمل زمین نسبت عکس دارد به‌این‌ترتیب که افزایش نیروی عکس‌العمل عمودی

زمین در لحظه تماس پاشنه پا با زمین و کاهش زمان رسیدن به آن باعث افزایش نرخ بارگذاری می‌شود (۱۸). در تحقیق حاضر تفاوتی بین روش‌های حمل کیف در نیروهای عمودی عکس‌العمل زمین مشاهده نشد اما در زمان رسیدن به اوج نیروهای عمودی عکس‌العمل زمین در لحظه تماس پاشنه پا با زمین مشاهده شد در نتیجه این تغییرات نتایج مربوط به مؤلفه نرخ بارگذاری نشان داد نرخ بارگذاری در شرایط حمل کیف با یک دست به‌طور معناداری بیشتر از شرایط حمل کیف با یک شانه و حمل کیف به‌صورت کوله پشتی می‌باشد. پژوهشگران مختلف نشان داده‌اند که هرچه بار خارجی به مرکز بدن نزدیک‌تر باشد، بازوی گشتاوری کمتر خواهد بود در نتیجه با حمل یک بار ثابت در شرایطی که بازوی گشتاوری بیشتر باشد گشتاور اعمال شده بر بدن بیشتر است (۲۵). در شرایط حمل کیف با یک دست ازآنجاکه نسبت به سه روش دیگر کیف از مرکز بدن فاصله‌ای بیشتری دارد، لذا گشتاور بیشتری به بدن وارد می‌شود، به نظر می‌رسد همین قضیه باعث ریسک مفاصل اندام تحتانی و حتی ستون فقرات می‌شود. یکی دیگر از دلایل افزایش نرخ بارگذاری حین حمل کیف با یک دست می‌تواند ناشی از تغییر در موقعیت مرکز ثقل بدن به سمت راست و خارج و ایجاد ناپایداری بیشتر باشد که منجر به تغییر در الگوی توزیع نیروی عکس‌العمل عمودی در مرحله‌ی تماس پاشنه با زمین می‌شود (۲۶). حمل کیف به‌صورت نامتقارن مانند حمل کیف با یک دست باعث جابجایی مرکز ثقل می‌شود، در نتیجه بدن با اتخاذ مکانیسم جبرانی فلکشن جانبی تنه به جابجایی مرکز ثقل پاسخ می‌دهد (۲۷). تکرار این بارهای نامتقارن باعث اعمال نیروهای فشردگی و برشی بزرگ‌تری بر مهره‌های ستون فقرات می‌شود (۲۷, ۲۸). از طرفی دیگر نشان داده شده است که بلند کردن نامتقارن بار استرس بسیار بیشتری نسبت به بلند کردن بار در صفحه فرونتال اعمال می‌کند (۲۸). همچنین به نظر می‌رسد افزایش وزن کوله پشتی می‌تواند الگوی توزیع نیرو را تغییر دهد و تغییر در الگوی توزیع نیرو، پاسچرهای نامناسب و افزایش ریسک آسیب‌های اسکلتی- عضلانی در دانش آموزان را به دنبال دارد (۲۹-۳۱). در تحقیق حاضر حمل کیف با یک دست هم جز حمل به‌صورت نامتقارن طبقه‌بندی می‌شود و هم حمل بار در صفحه فرونتال می‌باشد و لذا ترکیب این دو شرایط باهم ریسک آسیب مفاصل اندام تحتانی و ستون فقرات را بسیار زیاد می‌کند. با توجه به نتایج تحقیق حاضر به نظر می‌رسد حمل کیف باید به‌صورت متقارن و نزدیک به خط میانی بدن باشد. لذا به دانشجویان و دانش آموزان توصیه می‌شود به‌هیچ‌عنوان از حمل کیف به‌صورت یک‌طرفه با یک دست استفاده نکنند.

از جمله محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به مواردی چون عدم مطالعه در رابطه با مردان، عدم آگاهی کامل از شرایط روحی افراد شرکت‌کننده در مطالعه را اشاره کرد در تحقیق حاضر ازآنجاکه بر روی دختران انجام گرفت و به دلیل اختلاف آنتروپومتریک و بیومکانیکی موجود بین زنان و مردان، نتایج این تحقیق قابل تعمیم به کل جامعه نمی‌باشد. همچنین برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر استفاده از داده‌های الکترومایوگرافی و داده‌های کینماتیکی توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که حمل نامتقارن کیف با یک دست باعث کاهش زمان رسیدن به اوج نیروی عکس‌العمل عمودی زمین و در نتیجه افزایش نرخ بارگذاری نسبت به سایر روش‌های حمل کیف می‌شود. به دانش‌آموزان و افرادی که با حمل کیف سروکار دارند توصیه می‌شود از روش‌های حمل کیف متقارن استفاده کنند. به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های حمل کیف می‌تواند به کاهش آسیب‌های عضلانی اسکلتی کمک بسزایی کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاقی در این پژوهش رعایت شده است. کلیه ملاحظات اخلاقی و روش تحقیق به‌صورت شفاف برای آزمودنی‌ها توضیح داده شد. سپس رضایت‌نامه آگاهانه از آزمودنی‌ها اخذ گردید.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام مراحل پژوهش شامل ایده، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر داده‌ها، نگارش نسخه اولیه و تأیید نسخه نهایی مقاله، توسط نویسنده واحد انجام شده است.

تعارض

بنا بر اظهار نویسنده، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Hudson S, Cooke C, Davies S, West S, Gamieldien R, Low C, Lloyd R. A comparison of economy and sagittal plane trunk movements among back-, back/front- and head-loading. Ergonomics. 2018;61(9):1216-1222. [DOI:10.1080/00140139.2018.1474267]

2. Zagrodny B, Ludwicki M, Wojnicz W. The influence of external additional loading on the muscle activity and ground reaction forces during gait. Applied Bionics and Biomechanics. 2021;2021:5532012. [DOI:10.1155/2021/5532012]

3. Al-Khabbaz YS, Shimada T, Hasegawa M. The effect of backpack heaviness on trunk-lower extremity muscle activities and trunk posture. Gait and Posture. 2008;28(2):297-302. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2008.01.002]

4. Adeyemi AJ, Rohani JM, Rani MRA. Backpack-back pain complexity and the need for multifactorial safe weight recommendation. Applied Ergonomics. 2017;58:573-582. [DOI:10.1016/j.apergo.2016.04.009]

5. Korovessis P, Koureas G, Papazisis Z. Correlation between backpack weight and way of carrying, sagittal and frontal spinal curvatures, athletic activity, and dorsal and low back pain in schoolchildren and adolescents. Clinical Spine Surgery. 2004;17(1):33-40. [DOI:10.1097/00024720-200402000-00008]

6. Abdon APV, Moraes TEG, Prado M, dos Santos Vasconcelos R, Braga TSP, Ferreira TSP, Mont'Alverne DGB. Relationship between shoulder pain and weight of shoulder bags in young women. Motricidade. 2018;14(2-3):40-47. [DOI:10.6063/motricidade.13180]

7. Menezes LTD, Barbosa PHFDA, Costa AS, Mundim AC, Ramos GC, Paz CCSC, Martins EF. Baropodometric technology used to analyze types of weight-bearing during hemiparetic upright position. Fisioterapia em Movimento. 2012;25(1):583-594. [DOI:10.1590/S0103-51502012000300014]

8. Sahrmann S, Azevedo DC, Van Dillen L. Diagnosis and treatment of movement system impairment syndromes. Brazilian Journal of Physical Therapy. 2017;21(6):391-399. [DOI:10.1016/j.bjpt.2017.08.001]

9. Lederman E. Neuromuscular rehabilitation in manual and physical therapies: Principles to practice. London: Churchill Livingstone; 2010. [DOI:10.1016/B978-0-443-06969-7.00014-0]

10. Chow DHK, Hin CKF, Ou D, Lai A. Carry-over effects of backpack carriage on trunk posture and repositioning ability. International Journal of Industrial Ergonomics. 2011;41(5):530-535. [DOI:10.1016/j.ergon.2011.04.001]

11. Phonpichit C, Chansirinukor W, Akamanon C. The response of the body when carrying a handbag. Work. 2016;55(3):673-678. [DOI:10.3233/WOR-162429]

12. Alami A, Lael-Monfared E, Teimori-Boghsani G, Fouladi B, Jafari A. A study of features of backpack carrying methods by schoolchildren: a population-based study. Journal of Pediatric Perspectives. 2018;6(11):8517-8525.

13. Talar I, Hasiński K, Semmad PA, Zagrodny B. Influence of an asymmetrical load on ground reaction forces during gait. Russian Journal of Biomechanics. 2019;23(4):557-565. [DOI:10.15593/RJBiomech/2019.4.06]

14. Zawadka M, Kochman M, Jablonski M, Gawda P. Effects of external light load on posture and foot pressure distribution in young adults: a pilot study. International Journal of Industrial Ergonomics. 2021;82:103102. [DOI:10.1016/j.ergon.2021.103102]

15. Anwer S, Li H, Antwi-Afari MF, Umer W, Mehmood I, Wong AYL. Effects of load carrying techniques on gait parameters, dynamic balance, and physiological parameters during a manual material handling task. Engineering, Construction and Architectural Management. 2022;29(9):3415-3438. [DOI:10.1108/ECAM-03-2021-0245]

16. Castro MP, Figueiredo MC, Abreu S, Sousa H, Machado L, Santos R, Vilas-Boas JP. The influence of gait cadence on the ground reaction forces and plantar pressures during load carriage of young adults. Applied Ergonomics. 2015;49:41-46. [DOI:10.1016/j.apergo.2015.01.004]

17. Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: a systematic review. Clinical Biomechanics. 2011;26(1):23-28. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2010.08.005]

18. Crowell HP, Davis IS. Gait retraining to reduce lower extremity loading in runners. Clinical Biomechanics. 2011;26(1):78-83. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2010.09.003]

19. Cheung RT, Davis IS. Landing pattern modification to improve patellofemoral pain in runners: a case series. Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. 2011;41(12):914-919. [DOI:10.2519/jospt.2011.3771]

20. Davis IS, Bowser BJ, Hamill J. Vertical impact loading in runners with a history of patellofemoral pain syndrome. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2010;42(5):682. [DOI:10.1249/01.MSS.0000385903.65728.85]

21. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behavior Research Methods. 2007;39(2):175-191. [DOI:10.3758/BF03193146]

22. Zhou N, Yan J, Zhou J. Effects of different loads schoolbags on body posture of elementary students. China Leather. 2016;45(2):69-73.

23. Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey S. Research methods in biomechanics. Champaign: Human Kinetics; 2013. [DOI:10.5040/9781492595809]

24. Escamilla-Galindo VL, Estal-Martínez A, Adamczyk JG, Brito CJ, Arnaiz-Lastras J, Sillero-Quintana M. Skin temperature response to unilateral training measured with infrared thermography. Journal of Exercise Rehabilitation. 2017;13(5):526-532. [DOI:10.12965/jer.1735046.523]

25. Oatis CA. Kinesiology: The mechanics and pathomechanics of human movement. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2009.

26. Simonetti E, Bergamini E, Vannozzi G, Bascou J, Pillet H. Estimation of 3D body center of mass acceleration and instantaneous velocity from a wearable inertial sensor network in transfemoral amputee gait: a case study. Sensors. 2021;21(9):3129. [DOI:10.3390/s21093129]

27. Awrejcewicz J, Byczek S, Zagrodny B. Influence of the asymmetric loading of the body during the walk on the temperature distribution. Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Biomedical Engineering. 2012;18(2):-.

28. DeVita P, Hong D, Hamill J. Effects of asymmetric load carrying on the biomechanics of walking. Journal of Biomechanics. 1991;24(12):1119-1129. [DOI:10.1016/0021-9290(91)90004-7]

29. Oliaei F, Jafarnezhadgero A, Fatahi A, Khezri D. The effect of using backpacks with different weights on plantar kinetics and balance variables among adolescent females during walking. Iranian Journal of Rehabilitation Research. 2024;10(2):1-9.

30. Piri E, Jafarnezhadgero A, Stålman A, Alihosseini S, Panahighaffarkandi Y. Comparison of the ground reaction force frequency spectrum during walking with and without anti-pronation insoles in individuals with pronated feet. Journal of Sport Biomechanics. 2025;11(1):20-33. [DOI:10.61186/JSportBiomech.11.1.20]

31. Khazaei G, Ilbeigi S, Saghebjoo M, Farjad Pezeshk A. Effects of a 6-week TRX training program with and without curcumin supplementation on ground reaction forces and center of pressure in overweight women with nonspecific chronic low back pain. Journal of Sport Biomechanics. 2026;12(2):264-285. [https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.2.264]