



Investigation of vertical ground reaction force during walking in patients with chronic non-specific low back pain: A systematic review

Yalfani, Ali^{1*}; Soori, Fatemeh¹; Ahmadi, Mohamad-Reza¹; Asgarpour, Azadeh¹

1. Department of Exercise Rehabilitation, Faculty of Sports Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: October 2024; Accepted: January 2025

Keywords

Ground reaction
force,
Low back pain,
Walking,
Kinetics

Abstract

Background and Aim: Although biomechanical factors have been proposed as the most important factor in the development of clinical symptoms of low back pain, the role of vertical ground reaction force in the onset, recurrence, or persistence of low back pain symptoms remains unclear. The present study aimed to investigate vertical ground reaction force during walking in patients with chronic non-specific low back pain.

Methods: A search for articles limited to the period 2000 to 2025 was conducted from the scientific databases Web of Science, PubMed, Scopus, Cochrane Library, Since direct, and Google Scholar. The search process was carried out using keywords including vertical ground reaction force, vertical loading, ground reaction force, low back pain, walking, gait, and kinetic. The extracted articles were screened according to the inclusion and exclusion criteria, and the quality of the selected studies was assessed with the Downs and Black index.

Results: Out of the 4 articles eligible for systematic review, 1 was of high quality and 3 were of moderate quality. In 2 studies, the first peak force showed a decreasing trend, and in 1 study, it showed an increasing trend. In 2 studies, the valley showed an increasing trend. In 2 studies, the second peak force showed a decreasing trend, and in 1 study, it showed an increasing trend.

Conclusion: In patients with low back pain, the valley often had an increasing trend, and the peak second force had a decreasing trend that can be due to weakness of the lower limb muscles, changes in biomechanics, and psychological factors. It is recommended that physicians control lower limb loading to prevent the transfer of additional forces to the knee and lumbar and manage the development and progression of low back pain.

* Corresponding Author: Tel: 09183155478

✉ Email: yalfani@basu.ac.ir

Orcid Code:0000-0003-3696-7208

Extended Abstract

Introduction

From an etiological perspective, low back pain is a multifactorial musculoskeletal disease, of which biomechanical risk factors have been suggested as the most important factor in causing clinical symptoms. Among the various fields of biomechanics, the role of altered kinetics in causing low back pain has not been fully investigated. Ground reaction force is a kinetic variable that can be used to assess the amount of overload and joint torques of the lower limb during walking. Kinematic or neuromuscular changes can affect foot function and vertical ground reaction force components during gait to prevent excessive hip and spine range of motion, as well as increased forces and torques during gait. Changes in gait mechanics in patients with low back pain may reflect compensatory strategies used to reduce loading during movement and protect pain-producing tissues.

However, the effect of low back pain on vertical ground reaction force is unclear, and the issue of whether vertical ground reaction force is a cause or effect of low back pain remains unclear, with conflicting results reported in this field. Furthermore, studies in this field are very few, which highlights the need to investigate the loading pattern during functional activities, such as walking, and is considered an important goal for studies in the field of low back pain. In this regard, the researchers aimed to investigate the vertical ground reaction force during walking in patients with chronic non-specific low back pain.

Methods

The research question was: Is the vertical ground reaction force (O) different in patients with low back pain (P) compared to healthy individuals (C)? The search strategy for articles was conducted from the scientific databases Web of Science, PubMed, Scopus, Cochrane Library, Since direct, and Google Scholar. In addition, a comprehensive search was conducted in the scientific databases Magiran and Civilica to identify articles in Persian. The search process was performed using Medical Subject Headings

(MeSH) and keywords related to the present study. The keywords used to search the scientific databases included vertical ground reaction force, vertical loading, ground reaction force, low back pain, walking, gait, locomotion, loading, and kinetic. In addition, the Persian equivalent of the Latin keywords was used in the search process from the scientific databases Magiran and Civilica. The selected articles were saved in Mendely software version 1.19.8 and finally, titles and abstracts were screened using Rayyan software based on inclusion and exclusion criteria.

The quality of studies was assessed using the Downs and Black questionnaire. This index consists of 15 sections, including reporting, external validity, internal validity-bias, and internal validity confounding. The quality of studies was classified into three categories: low (<40%), moderate (40%-69%), and high ($\geq 70\%$).

Finding

Four articles were selected for a systematic review. The average quality of the selected articles was 69% (range 60-86), which generally indicates the moderate quality of the selected studies. Of the 4 articles eligible for systematic review, 1 was of high quality and 3 were of moderate quality. In 2 studies, the first peak force showed a decreasing trend, and in 1 study, it showed an increasing trend. In 2 studies, the valley showed an increasing trend. In 2 studies, the second peak force showed a decreasing trend, and in 1 study, it showed an increasing trend.

Discussion

The inconsistent results observed across studies could be due to two factors. First, gait mechanics in patients with low back pain can be influenced by various factors, including pain distribution, level of disability, and fear of movement, which should be considered when assessing gait characteristics in patients with low back pain because they are among the strongest predictors of gait speed and, consequently, the magnitude of vertical ground reaction force. In this regard, the selected study populations had different levels of pain or disability severity, which may not be sufficient to influence gait

kinematics and ground reaction force. Second, gender was another confounding factor between studies that could influence the results because the movement pattern is different between men and women. Patients with low back pain reduce the angle of knee flexion to reduce loading, which results in decreased quadriceps muscle activity and increased loading rate. It has been shown that patients with low back pain exhibit lower levels of quadriceps muscle activity compared to healthy individuals. It has been reported that decreased knee flexion and quadriceps muscle activity can be associated with increased vertical loading rate.

Meanwhile, some studies have shown a decrease in peak first force and most other studies have shown an increased mean in the valley component. The quadriceps and plantarflexors are weakened in patients with low back pain. As a result, less force is generated for forward propulsion, which ultimately leads to a decrease in walking speed and peak second force. In addition, the back muscles are usually active during the stance phase, and the greater the forward propulsion force, the greater the activation of the back muscles to stabilize the upper limb or trunk, and the intensity of the pain increases. Therefore, the reduction in the peak second vertical force during the forward propulsion phase could be a compensatory mechanism to reduce back pain; therefore, the reduction in the peak second force in patients with low back pain may be due to psychological factors such as fear of movement.

In patients with low back pain, the valley often had an increasing trend and the peak second force had a decreasing trend that can be due to

weakness of the lower limb muscles, changes in biomechanics, and psychological factors. It is recommended that physicians control lower limb loading to prevent the transfer of additional forces to the knee and lumbar and manage the development and progression of low back pain.

Clinical application

The results of the present study can be useful in developing rehabilitation protocols and designing foot orthoses for the treatment and prevention of low back pain.

Compliance with ethical guidelines

This study has been reviewed by the Ethics Committee of Bu-Ali Sina University, Hamadan, and approved with the ID IR.BASU.REC.1402.095.

Funding

The present study did not receive any financial support from any organization or institution.

Author's Contribution

In the present study, all authors had equal contributions to the design and development of the study.

Conflict of interest

There is no conflict of interest in this study.

Acknowledgments

This article is an excerpt from Ms. Fatemeh Souri master's thesis from Bu-Ali Sina University. We would like to express our gratitude to all colleagues who contributed to the compilation of this study.



بررسی نیروی عکس العمل عمودی زمین هنگام راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد مزمّن غیر اختصاصی: یک مرور سیستماتیک

علی یلفانی^{۱*}، فاطمه سوری^۱، محمدرضا احمدی^۱، آزاده عسگرپور^۱

۱- گروه توانبخشی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

مقاله مروری

دریافت: مهر ۱۴۰۳؛ پذیرش: دی ۱۴۰۳

واژگان کلیدی

نیروی عکس العمل زمین،

کمردرد،

راه رفتن،

کینتیک

چکیده

زمینه و هدف: علیرغم اینکه عوامل بیومکانیکی به عنوان مهم‌ترین عامل در ایجاد علائم بالینی کمردرد مطرح شده‌اند، نقش نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در شروع، عود، یا تداوم علائم کمردرد همچنان مبهم است. هدف از تدوین مطالعه مروری حاضر بررسی نیروی عکس‌العمل عمودی زمین هنگام راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد مزمّن غیراختصاصی می‌باشد.

روش بررسی: جستجوی مقالات محدود به بازه زمانی ۲۰۲۵ الی ۲۰۰۰ از پایگاه علمی Web of Science، PubMed، Scopus، Google scholar، Since direct، Cochrane Library انجام شد. فرآیند جستجو با استفاده از واژگان کلیدی شامل vertical ground reaction force، vertical loading، ground reaction force، low back pain، walking، gait، kinetic صورت پذیرفت. مقالات استخراج شده مطابق با معیارهای ورود و خروج غربال شدند و کیفیت مطالعات برگزیده با شاخص Downs and Black ارزیابی شد.

نتایج: از بین چهار مقاله واجد شرایط برای مرور سیستماتیک یک مقاله کیفیت بالا، و سه مقاله کیفیت متوسط داشتند. در دو مطالعه اوج نیروی اول روند کاهشی، و در یک مطالعه دیگر روند افزایشی داشته است. در دو مطالعه قعر روند افزایشی را نشان داد. در دو مطالعه اوج نیروی دوم روندی کاهشی، و یک مطالعه روند افزایشی را نشان داد.

نتیجه‌گیری: در بیماران مبتلا به کمردرد مزمّن غیراختصاصی مؤلفه قعر یک روند افزایشی و اوج نیروی دوم یک روند کاهشی دارد که می‌تواند در اثر ضعف عضلات اندام تحتانی، تغییرات بیومکانیکی و عوامل روانشناختی درد نشأت گیرد. توصیه می‌شود پزشکان با کنترل بارگذاری اندام تحتانی، از انتقال نیروهای مضاعف بر زانو و کمر پیشگیری کرده و ایجاد و توسعه کمردرد را مدیریت کنند.

مقدمه

کمردرد یک بیماری ارتوپدیک دردناک بین آخرین دنده و چین‌های سרینی بزرگ است که می‌تواند با یا بدون درد ارجاعی در پاها همراه باشد (۱). کمردرد یک مشکل شایع اسکلتی عضلانی است که ۶۰ الی ۸۰ درصد جمعیت جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲). بطور کلی، این وضعیت بالینی با درد و ناتوانی قابل توجهی همراه است که از جمله دلایل غیبت از کار و مراجعه به کلینیک‌های فیزیوتراپی به شمار می‌رود و هزینه‌های درمانی گزافی را بر دوش سیستم‌های مراقبت بهداشتی متحمل می‌کند (۳-۵). با این حال، تشخیص و درمان کمردرد برای پزشکان همچنان یک چالش جدی محسوب می‌شود (۶).

از دیدگاه علت‌شناسی، کمردرد یک بیماری اسکلتی عضلانی چند عاملی است که از این بین، عوامل خطرآفرین بیومکانیکی به عنوان مهم‌ترین عامل در ایجاد علائم بالینی مطرح شده‌اند (۴،۶،۷). در بین حوزه‌های مختلف علم بیومکانیک، نقش کینتیک تغییر یافته در ایجاد کمردرد به طور کامل بررسی نشده است (۸). حوزه کینتیک منعکس کننده علت حرکت، نیروها، قدرت و انرژی است که بر مکانیک حرکت انسان تأثیر می‌گذارد (۹). نیروی عکس-العمل زمین یک متغیر کینتیکی است که می‌تواند برای ارزیابی میزان اضافه بار و گشتاورهای مفصلی اندام تحتانی در حین راه رفتن استفاده شود (۱۰، ۱۱). در هنگام حرکات انتقالی مانند راه رفتن نیروهای عکس‌العمل زمین شامل نیروهای قدامی - خلفی، داخلی - خارجی، و عمودی می‌باشد (۱۲). نیروی عکس‌العمل عمودی بزرگترین مؤلفه است که در پیش‌بینی آسیب‌ها نقش کاربردی دارد (۱۳).

مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل عمودی زمین شامل اوج نیروی اول است که در مرحله پذیرش وزن و پاسخ بارگذاری ایجاد می‌شود؛ قعر به حداقل مقدار نیروی عکس‌العمل عمودی زمین اشاره دارد که معمولاً در مرحله استانس میانی رخ می‌دهد؛ اوج نیروی دوم در مرحله استانس نهایی و در پاسخ به مرحله رانش به جلو در چرخه راه رفتن رخ می‌دهد (۱۴). در اغلب موارد پزشکان، ورزشی درمانی و افزایش سطح فعالیت بدنی را به عنوان روشی موثر برای درمان کمردرد توصیه می‌کنند (۹). اخیراً، فیزیوتراپیست‌ها برنامه آموزش الگوی راه رفتن را به عنوان بخشی از برنامه توانبخشی برای بیماران مبتلا به کمردرد توصیه کرده‌اند

(۹). با این حال، این بیماران در هنگام راه رفتن با شرایط دردناکی مواجه هستند که به نوبه خود می‌تواند میزان مشارکت در تمرینات توانبخشی را کاهش دهد (۹). در نتیجه، درک بهتر از تأثیر کمردرد بر بیومکانیک راه رفتن می‌تواند در تدوین برنامه‌های توانبخشی کارآمد برای این جمعیت کارآمد باشد (۱۵).

مطالعات پیشین نشان داده است که بیماران مبتلا به کمردرد قادر به کنترل کیفیت عملکرد حرکتی نیستند که ممکن است ظرفیت راه رفتن که یک نیاز اساسی زندگی روزمره است را محدود کند (۲، ۱۶). تغییرات در مکانیک راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد ممکن است نشان دهنده راهبردهای جبرانی مورد استفاده برای کاهش بارگذاری در حرکت و محافظت از بافت‌های تولید کننده درد باشد (۵). راهبردهای جبرانی بیماران مبتلا به کمردرد در راه رفتن شامل تغییر متغیرهای فضایی - زمانی، عدم هماهنگی بین مفاصل و سگمنتال‌ها؛ یا تغییر ویژگی‌های کینتیکی مانند تغییر نیروها، گشتاورهای مفصلی، و الگوی فعالیت عضلات باشد (۵). تغییرات کینماتیکی یا عصبی عضلانی می‌تواند بر عملکرد پا و مؤلفه‌های نیروی عکس-العمل عمودی زمین در حین راه رفتن تأثیر بگذارد تا از دامنه حرکتی بیش از حد لگن و ستون فقرات، و همچنین از نیروها و گشتاورهای افزایش یافته در حین راه رفتن جلوگیری کند (۱۶). با توجه به ماهیت تکراری راه رفتن، بارگذاری نامطلوب در طول زمان در پاسخ به تغییرات بیومکانیکی راه رفتن در تنه یا اندام تحتانی ممکن است در شروع، عود، یا تداوم علائم کمردرد نقش مهمی داشته باشد (۵). بنابراین، بنظر می‌رسد که شناسایی و اصلاح بیومکانیک تغییر یافته در بیماران مبتلا به کمردرد، پزشکان را قادر سازد تا عملکرد حرکتی را به شرایط طبیعی بازگردانند (۶).

علیرغم موارد فوق، تأثیر کمردرد بر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین مشخص نیست و این مساله که آیا نیروی عکس‌العمل عمودی علت یا معلول کمردرد است همچنان مبهم می‌باشد و نتایج متناقضی در این حوزه گزارش شده است (۱۷-۱۹). برای مثال، زهرایی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که فقط اوج نیروی دوم نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در بیماران مبتلا به کمردرد در مقایسه با افراد سالم تفاوت معناداری داشت (۹). در مقابل، عبدو و

همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری در اوج نیروی دوم نیروی عکس‌العمل عمودی بین بیماران مبتلا به کمردرد و افراد سالم مشاهده نشد (۲۰). با توجه به موارد فوق، علیرغم اهمیت نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در بروز و توسعه کمردرد و گزارش نتایج متناقض بین مطالعات، تاکنون مطالعه مروری در این حوزه انجام نشده است. علاوه بر این، مطالعات انجام شده در این حوزه بسیار اندک است که این مساله ضرورت بررسی الگوی بارگذاری در طول فعالیت‌های عملکردی، مانند راه رفتن را برجسته می‌کند و به عنوان یک هدف مهم برای مطالعات حوزه کمردرد تلقی می‌شود (۴،۲۱). بنابراین، نتایج متناقض در مورد نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در بیماران مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی ضرورت انجام پژوهش در این حوزه را نمایان می‌کند. در همین راستا، هدف محققین از تدوین مطالعه مروری حاضر، بررسی نیروی عکس‌العمل عمودی زمین هنگام راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی می‌باشد.

روش تحقیق

در مطالعه مروری حاضر محققین از دستورالعمل PRISMA مختص گزارش‌دهی مقالات مروری پیروی کردند. ابتدا، محققین با استفاده از شاخص PICO سوال تحقیق و معیارهای ورود و خروج را مشخص کردند. به طور کلی، سوال تحقیق بدین شرح بود که آیا نیروی عکس‌العمل عمودی زمین (O) در بیماران مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی (P) در مقایسه با افراد سالم (C) متفاوت است؟ با توجه به اینکه مطالعه حاضر مربوط به کارآزمایی بالینی نیست، I از شاخص PICO که به معنای مداخله است وجود ندارد. برای اطمینان از عدم تشابه مقاله حاضر با مطالعات مروری منتشر شده پیشین، یک جستجوی جامع در پایگاه‌های PROSPERO و Cochrane انجام شد که در نتیجه هیچ مطالعه مروری مشابه با هدف مطالعه مروری حاضر یافت نشد.

فرآیند جستجوی مقالات

سه محقق (ف.س / م.آ.ع) بطور مستقل از یکدیگر جستجوی مقالات از پایگاه‌های علمی Web of Science، PubMed، Scopus، Since direct، Cochrane Library، Google scholar را انجام دادند. علاوه بر این، به منظور

شناسایی مقالات به زبان فارسی یک جستجوی جامع در پایگاه‌های علمی مگیران و سیلیویکا نیز انجام شد. فرآیند جستجو از ۱ مهر الی ۱ آذر ماه سال ۱۴۰۳ توسط سه محقق انجام شد و سپس در ۱ بهمن ماه مجدداً استراتژی جستجو اجرا شد تا مقالات جدید منتشر شده شناسایی و بررسی شود. علاوه بر این، یک جستجوی جامع از منابع مقالات انتخاب شده، مقالات مروری و متآنالیز و همچنین از مجلات مرتبط انجام شد تا از شناسایی و انتخاب تمامی مقالات مرتبط اطمینان حاصل گردد. فرآیند جستجو با استفاده از سرفصل‌های موضوعات پزشکی (MeSH) و کلید واژگان مرتبط با مطالعه حاضر انجام شد. کلمات کلیدی استفاده شده برای جستجو در پایگاه‌های علمی شامل vertical ground reaction force, vertical loading, ground reaction force, low back pain, chronic non-specific low back pain, walking, gait, locomotion, loading, kinetic بود. علاوه بر این، از معادل فارسی واژگان کلیدی لاتین شامل نیروی عکس‌العمل عمودی زمین، بارگذاری عمودی، نیروی عکس‌العمل زمین، کمردرد، کمردرد مزمن غیراختصاصی، راه رفتن، حرکت، بارگذاری، کینتیک در فرآیند جستجو از پایگاه‌های علمی مگیران و سیلیویکا استفاده شد. در تمامی مراحل جستجو از واژه OR برای ادغام واژگان مترادف و از واژه AND برای ارتباط بین کلید واژگان مختلف استفاده شد.

فرآیند انتخاب مقالات

مقالات انتخاب شده در نرم‌افزار Mendely نسخه ۱۹/۸ ذخیره شدند و بر اساس حروف الفبا فهرست شدند. سپس مقالات تکراری توسط نرم‌افزار شناسایی و حذف شدند و در نهایت مقالات باقی مانده به نرم‌افزار رایگان Rayyan که قابل استفاده برای غربال‌گری مقالات مروری سیستماتیک است وارد شدند. سه محقق (ف.س / م.آ.ع) مستقل از یکدیگر با نرم‌افزار Rayyan عناوین و چکیده‌ها را بر اساس معیارهای ورود و خروج غربال کردند. معیارهای ورود شامل: مقالات به زبان انگلیسی یا فارسی منتشر شده در بازه زمانی سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۵ بود که نیروی عکس-العمل عمودی زمین هنگام راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی در مقایسه با افراد سالم را مقایسه کرده بودند. معیارهای خروج شامل: بیماران مبتلا به کمردرد با اسپاندیلولیز، فتق دیسک، کمردرد با دفورمیتی اندام فوقانی یا تحتانی، نامه به سردبیر، مقالات کنفرانسی،

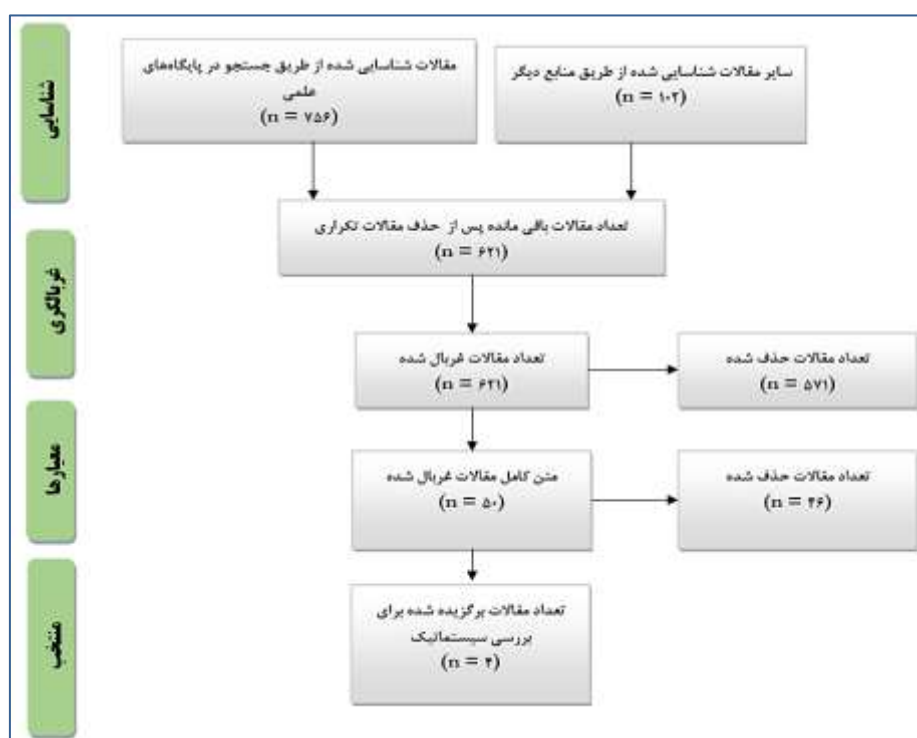
از ارزیابی کیفیت مطالعات مجددا توسط محقق چهارم (ع.ی) بررسی شد تا از صحیح بودن محاسبه مفاد پرسشنامه و امتیازات بدست آمده اطمینان حاصل گردد.

این شاخص متشکل از ۱۵ بخش تحت عنوان گزارش-دهی (موارد ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷ و ۱۰)، روایی خارجی (موارد ۱۱ و ۱۲)، روایی داخلی - بایاس (موارد ۱۶، ۱۸، ۲۰ و ۲۱) روایی داخلی مخدوش کننده (موارد ۲۱، ۲۲ و ۲۵) می-باشد (۲۳). امتیازدهی برای هر بخش بدین صورت بود که امتیاز ۰ ("نه")، و ۱ ("بله") در نظر گرفته شد (۲۳). لازم به ذکر است که امتیازدهی برای آیتم ۵ متفاوت بود بدین ترتیب که امتیاز ۰ ("نه")، ۱ ("جزئی")، ۲ ("بله") در نظر گرفته شد (۲۳). کیفیت مطالعات در سه دسته کیفیت پایین ($< 40\%$)، متوسط ($40\%-69\%$)، و بالا ($\geq 70\%$) طبقه‌بندی شدند (۲۴).

گزارش‌های موردی، مقالات مربوط به کمردرد مکانیکی یا کمردرد حاد، مطالعات جسد، مقالات مروری و متاآنالیز، و مقالاتی که به زبان انگلیسی یا فارسی نبودند.

استخراج اطلاعات و ارزیابی کیفیت مطالعات

در ابتدا، یک چک لیست مورد توافق نویسندگان برای استخراج اطلاعات دموگرافیک مطالعات برگزیده شده طراحی شد. سه محقق (ف.س / م.ا.ع) به طور مستقل اطلاعات دموگرافیک مقالات واجد شرایط اعم از نام نویسندگان، سال انتشار، هدف، جنسیت حجم نمونه، میزان حجم نمونه، سرعت راه رفتن، و نتیجه را استخراج کردند. در نهایت، اطلاعات استخراج شده مجددا توسط محقق چهارم (ع.ی) بررسی شد تا از صحیح بودن اطلاعات اطمینان حاصل گردد. در مرحله بعد، محققان بطور مستقل از یکدیگر کیفیت مطالعات را با پرسشنامه Downs and Black ارزیابی کردند که پایایی درون‌آزمونگر ($r = 0/88$) و بین‌آزمونگر ($r = 0/75$) بالایی دارد (۲۲). امتیازات حاصل



شکل ۱. فرآیند انتخاب مقالات در مراحل مختلف در نمودار PRISMA به تصویر کشیده شده است

افزار شناسایی و حذف شدند. سپس ۶۲۱ مقاله باقی مانده مطابق با معیارهای ورود و خروج غربال شدند که نتیجه آن شناسایی ۵۷۱ مقاله فاقد شرایط لازم برای بررسی سیستماتیک بود. بطور کلی، از مجموع مقالات حذف شده

نتایج مطالعه

نتایج جستجو

نتیجه اولیه فرآیند جستجو به شناسایی ۸۵۸ مقاله منتهی شد که از این تعداد ۲۳۷ مقاله تکراری توسط نرم-

۱۶۴ مقاله مربوط به کارآزمایی بالینی، ۲۱۵ مقاله مربوط به انواع مختلف کمردرد اعم از فتق دیسک، کمردرد حاد و کمردرد مکانیکی بودند، ۱۹۲ مقاله که مربوط به سایر مؤلفه های نیروی عکس‌العمل زمین بود، سپس، متن کامل ۵۰ مقاله مورد بررسی قرار گرفت که از این تعداد ۴۶ مقاله فاقد شرایط لازم بودند و از طرح تحقیق خارج شدند. در نهایت، ۴ مقاله که معیارهای ورود به مطالعه را داشتند برای بررسی سیستماتیک انتخاب شدند که خلاصه اطلاعات دموگرافیک آن‌ها در جدول ۱ توصیف شده است (۹، ۱۷، ۲۰، ۲۵). علاوه بر این، فرآیند انتخاب مقالات در مراحل مختلف در نمودار PRISMA در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است.

کیفیت مطالعات

میانگین کیفیت مقالات منتخب ۶۹ درصد (دامنه ۶۰ الی ۸۶) بود که بطور کلی نشان‌دهنده کیفیت متوسط مطالعات برگزیده است. از بین مقالات بررسی شده ۲۵ درصد مطالعات (۱ مقاله) کیفیت بالا (۱۷)، و ۷۵ درصد مطالعات (۳ مقاله) کیفیت متوسط داشتند (۹، ۲۰، ۲۵) (جدول شماره ۲). شایع‌ترین نقاط ضعف روش شناختی مقالات مربوط به موارد روایی خارجی، روایی داخلی-بایاس و روایی داخلی مخدوش کننده می‌باشد. نقاط قوت مطالعات در قسمت گزارش‌دهی بود.

توصیف مطالعات

بطور کلی، در ۲ مطالعه میانگین اوج نیروی اول روند کاهشی (۱۷، ۲۵)، و در ۱ مطالعه دیگر روندافزایشی داشته است (۹). با این حال، تفاوت آماری معناداری در اوج نیروی اول در بین مطالعات مشاهده نشد. در ۲ مطالعه میانگین قعر روند افزایشی را نشان داد (۹، ۱۷). با این حال تفاوت معناداری وجود نداشت. در ۲ مطالعه میانگین اوج نیروی

دوم روندی کاهشی (۹، ۱۷)، و ۱ مطالعه روند افزایشی را نشان داد (۲۰). با این حال، تنها ۱ مطالعه تفاوت معناداری در میانگین کاهشی اوج نیروی دوم را گزارش کرد (۹).

فونسکا و همکاران (۲۰۰۹)، نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در حین راه رفتن با سرعت خود انتخابی را در هفده بیمار مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی و یازده نفر افراد سالم مقایسه کردند. نتایج بدست آمده یک میانگین کاهش یافته اوج نیروی اول و دوم و افزایش قعر در جمعیت بیماران مبتلا به کمردرد در مقایسه با افراد سالم را نشان داد (۱۷).

زهرائی و همکاران (۲۰۱۴)، در یک مطالعه با سرعت خود انتخابی راه رفتن نیروی عکس‌العمل زمین را در بیست بیمار مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی و بیست نفر افراد سالم مقایسه کردند. نتایج حاصل شده یک میانگین افزایش یافته اوج نیروی اول و قعر را نشان داد اما تفاوت معناداری وجود نداشت. در مقابل، اوج نیروی دوم میانگین کاهشی در بیماران مبتلا به کمردرد نشان داد و تفاوت آماری نیز معنادار بود (۹).

مولر و همکاران (۲۰۱۵)، در یازده بیمار مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی و یازده نفر افراد سالم طی راه رفتن با سرعت خود انتخابی نشان دادند که یک میانگین کاهش یافته اوج نیروی اول در جمعیت بیماران مبتلا به کمردرد در مقایسه با افراد سالم مشاهده شد که تفاوت معناداری نداشت (۲۵).

عبدو و همکاران (۲۰۲۴)، در یک مطالعه با سرعت خود انتخابی راه رفتن نیروی عکس‌العمل زمین را در نوزده بیمار مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی و نوزده نفر افراد سالم مقایسه کردند. علیرغم وجود میانگین افزایش اوج نیروی دوم تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد (۲۰).

جدول ۱- اطلاعات دموگرافیک مطالعات منتخب شامل نویسنده و سال انتشار، هدف، جنسیت حجم نمونه، حجم نمونه، سرعت راه رفتن، و نتیجه را توصیف می‌کند.

نویسنده و سال انتشار	هدف	جنسیت	حجم نمونه	سرعت راه رفتن	نتیجه
فونسکا و همکاران (۲۰۰۹) (۱۷)	آنالیز حرکتی راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد در مقایسه با افراد سالم	زن/ مرد	۱۷ نفر مبتلا به کمردرد ۱۱ نفر سالم	راحت / خود انتخابی	یک میانگین کاهش یافته اوج نیروی اول و دوم و افزایش قعر در جمعیت بیماران مبتلا به کمردرد در مقایسه با افراد سالم مشاهده شد.

زهرائی و همکاران (۲۰۱۴)	تحلیل تقارن نیروهای وارده بر اندام تحتانی بیماران مبتلا به کمردرد در هنگام راه رفتن	زن ۲۰ نفر مبتلا به کمردرد ۲۰ نفر سالم	راحت / خود انتخابی	یک میانگین افزایش یافته اوج نیروی اول و قعر مشاهده شد اما تفاوت معناداری وجود نداشت. در مقابل، اوج نیروی دوم میانگین کاهش در بیماران مبتلا به کمردرد نشان داد و تفاوت آماری نیز معنادار بود.
مولر و همکاران (۲۰۱۵)	ارزیابی تاثیر کمردرد بر تغییرات مکانیکی اندام تحتانی و تنه در هنگام راه رفتن بر روی سطح زمین	زن/مرد ۱۱ نفر مبتلا به کمردرد ۱۱ نفر سالم	راحت / خود انتخابی	یک میانگین کاهش یافته اوج نیروی اول در جمعیت بیماران مبتلا به کمردرد در مقایسه با افراد سالم مشاهده شد که تفاوت معناداری نداشت.
عبدو و همکاران (۲۰۲۴)	ارزیابی نیروی عکس العمل عمودی زمین در مرحله پیرانه راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد در مقایسه با افراد سالم	زن/مرد ۱۹ نفر مبتلا به کمردرد ۱۹ نفر سالم	راحت / خود انتخابی	علیرغم وجود میانگین افزایش اوج نیروی دوم تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد.

جدول ۲. شاخصه‌های مربوط پرسشنامه Downs and Black برای ارزیابی کیفیت مطالعات که چهار بخش گزارش‌دهی، روایی خارجی، روایی داخلی - بایاس، و روایی داخلی مخدوش کننده را شامل می‌شود.

نویسنده و سال انتشار	گزارش‌دهی										روایی داخلی - بایاس			روایی داخلی - مخدوش کننده			مجموع	درصد	میزان کیفیت
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۱	۱۲	۱۶	۱۸	۲۰	۲۱	۲۲	۲۵			
فونسکا و همکاران ۲۰۰۹ (۱۷)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱۳	۸۶	بالا
زهرائی و همکاران ۲۰۱۴ (۹)	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱۰	۶۶	متوسط
مولر و همکاران ۲۰۱۵ (۲۵)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۹	۶۰	متوسط
عبدو و همکاران ۲۰۲۴ (۲۰)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱۰	۶۶	متوسط

بحث

مطالعه مروری حاضر با هدف بررسی نیروی عکس‌العمل عمودی زمین هنگام راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد انجام شد. با این حال، از ۴ مطالعه که واجد شرایط برای بررسی سیستماتیک بودند، در ۳ مطالعه اوج نیروی اول (۲۵، ۱۷، ۹)، در ۲ مطالعه قعر (۱۷، ۹)، و در ۳ مطالعه اوج نیروی دوم ارزیابی و گزارش شده بود (۲۰، ۱۷، ۹). بطور تخصصی‌تر، زهرائی و همکاران (۲۰۱۴) (۹) در یک مطالعه گزارش کردند که اوج نیروی اول یک میانگین افزایش یافته را نشان می‌دهد در حالی که فونسکا و همکاران (۲۰۰۹) (۱۷) و مولر و همکاران (۲۰۱۵) (۲۵) گزارش کردند که یک میانگین کاهش یافته در اوج نیروی اول مشاهده می‌شود. فونسکا و همکاران (۲۰۰۹) (۱۷) و زهرائی و همکاران (۲۰۱۴) (۹) گزارش کردند که میانگین افزایش یافته در

پارامتر قعر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین وجود دارد. فونسکا و همکاران (۲۰۰۹) (۱۷) و زهرائی و همکاران (۲۰۱۴) (۹) نشان دادند که یک میانگین کاهش یافته در اوج نیروی دوم مشاهده می‌شود؛ در مقابل عبدو و همکاران (۲۰۲۴) (۲۰) نشان دادند که یک میانگین افزایش یافته در اوج نیروی دوم در هنگام راه رفتن در این جمعیت از بیماران وجود دارد.

بطور کلی، مقادیر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در افراد سالم هنگام راه رفتن بدین ترتیب می‌باشد که اوج نیروی عمودی اول تقریباً به ۱۰۸ درصد از وزن می‌رسد و سپس در مرحله قعر نزدیک به ۷۸ درصد از وزن بدن کاهش یافته و مجدداً در اوج نیروی عمودی دوم به میزان بزرگی مقدار اوج نیروی اول باز می‌گردد (۱۱). به عبارت دیگر، در راه رفتن طبیعی، اوج نیروی اول و دوم تقریباً در

یک میزان مشابه قرار دارند (۲۶). در نتیجه، ماحصل نتایج مطالعات نشان می‌دهد که نیروی عکس‌العمل عمودی زمین دستخوش تغییراتی می‌شود که می‌تواند در ایجاد و توسعه کمردرد نقش بسزایی داشته باشد که در ادامه تشریح خواهد شد.

نتایج متناقض مشاهده شده در بین مطالعات می‌تواند در اثر دو عامل باشد. اول، مکانیک راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله توزیع درد، سطح ناتوانی، و ترس از حرکت قرار گیرد که هنگام ارزیابی ویژگی‌های راه رفتن در بیماران مبتلا به کمردرد باید در نظر گرفته شوند زیرا یکی از قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های سرعت راه رفتن و متعاقب آن میزان نیروی عکس‌العمل عمودی زمین هستند (۵،۱۵). در همین راستا، جامعه آماری مطالعات منتخب سطح متفاوتی از شدت درد یا ناتوانی را داشتند که ممکن است به اندازه‌ای نباشد که بر کینماتیک راه رفتن و نیروی عکس‌العمل زمین تأثیر گذارد (۱۵). دوم، نوع جنسیت دیگر عامل متضاد بین مطالعات بود که می‌تواند بر نتایج تأثیر گذار باشد زیرا الگوی حرکتی بین زنان و مردان متفاوت است. بطور کلی، در جمعیت بیماران مبتلا به کمردرد کاهش سرعت راه رفتن و طول گام مشاهده شده است (۵). این تغییرات کینماتیکی مکانیسم‌هایی جبرانی برای به حداقل رساندن نیروی عکس‌العمل زمین هستند تا میزان استرس بر سگمنتال‌ها را کاهش دهند (۲۱). علاوه بر این، تفاوت‌ها مکانیکی راه رفتن نشان می‌دهد که بیماران مبتلا به کمردرد ممکن است در هنگام راه رفتن و متعاقب آن فعالیت عضلات کمری تشدید درد را احساس کنند که برای کاهش شدت آن سعی دارند دامنه حرکتی، ران، لگن، و ستون فقرات را کاهش دهند و از طریق کاهش فلکشن زانو نیروهای خارجی و داخلی اعمال شده به بدن در طول راه رفتن کاهش یابد (۲،۱۵،۱۶). در همین راستا، گزارش شده است که یک ارتباط خطی بین سرعت راه رفتن و نیروی عکس‌العمل عمودی زمین وجود دارد (۱۵). علاوه بر این، نیروی عکس‌العمل عمودی زمین کنترل‌کننده اصلی سرعت راه رفتن می‌باشد (۲۰). بنابراین، این رویکرد جبرانی منطقی است که بیماران مبتلا به کمردرد برای کاهش نیروی عکس‌العمل عمودی زمین آهسته‌تر راه بروند (۱۵).

بطور کلی، بازوی گشتاوری نیروی عکس‌العمل زمین

تحت تأثیر زاویه فلکشن زانو است (۲۷).

در افراد سالم، با افزایش سرعت راه رفتن تغییرات قابل توجهی در کینماتیک اندام تحتانی همچون افزایش فلکشن زانو مشاهده می‌شود که با بهبود توانایی جذب ضربه همراه است (۲). در مقابل، همانطور که پیش‌تر عنوان شد بیماران مبتلا به کمردرد برای کاهش بارگذاری زاویه فلکشن زانو را کاهش می‌دهند که متعاقب آن فعالیت عضلات چهارسر رانی کاهش و نرخ بارگذاری افزایش می‌یابد (۲،۲۸). در این راستا، هارت و همکاران (۲۰۰۰) نشان داد که بیماران مبتلا به کمردرد در مقایسه با افراد سالم سطح کمتری از فعالیت عضلات چهارسررانی را نشان می‌دهند. در همین حال، گزارش شده است که کاهش فلکشن زانو و فعالیت عضلات چهارسر رانی می‌تواند با افزایش نرخ بارگذاری عمودی همراه باشد (۱۰،۲۸). در این راستا، برخی از مطالعات کاهش اوج نیروی اول (۱۵،۱۷،۲۵) و اغلب دیگر مطالعات یک میانگین افزایش یافته‌ای درمؤلفه قعر را نشان داد (۴،۶،۱۵،۱۷). افزایش بارگذاری در ارتباط با کاهش فعالیت عضله چهارسر رانی می‌تواند علائم کمردرد را تشدید کند (۲۹). در بیماران مبتلا به کمردرد افزایش بارگذاری بر روی اندام تحتانی احتمالاً منجر به تنش نامتقارن در بافت‌های ستون فقرات کمری شده که از جمله عواملی هستند که به شدت با کمردرد مکانیکی مرتبط می‌باشد (۴،۶،۱۸).

مکانیسم جبرانی کاهش فلکشن زانو با هدف کاهش بارهای وارده بر بدن در هنگام تماس پا با زمین، به ویژه در سطح مفصل زانو، انجام می‌شود (۲). در همین حال، تحقیقات نشان داده است که کمردرد در وهله اول بر کینماتیک مفصل زانو تأثیر می‌گذارد در حالی که سایر مفاصل اندام تحتانی را کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند (۲). بطور تخصصی، در مرحله تماس اولیه پاشنه پا با سطح زمین انقباض اکسنتریک عضله چهارسر رانی به جذب انرژی کمک می‌کند تا نیروی عکس‌العمل زمین و نرخ بارگذاری را کاهش دهد (۳۰). در نتیجه، الگوی حرکت جبرانی کاهش فلکشن زانو در بیماران مبتلا به کمردرد باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا این استراتژی جبرانی می‌تواند با افزایش نرخ بارگذاری عمودی زمین مرتبط باشد و منجر به اثرات مخرب بر مفصل کشککی‌رانی شود (۲۸). بنابراین، در تدوین پروتکل‌های توانبخشی برای این جمعیت از بیماران علاوه بر درنظر گرفتن تمرینات لوکال مربوط به ناحیه

کافی برای تشخیص تفاوت‌ها را ندارد. دوم، میزان درد و سرعت حرکت در اغلب مطالعات کنترل نشده بود که می‌تواند بر مقادیر نیروی عکس‌العمل زمین تاثیر گذارد. سوم، در برخی مطالعات فقط جمعیت زنان یا مردان شرکت داشتند. در نتیجه، به دلیل تفاوت در الگوی حرکتی بین زنان و مردان در تعمیم و تفسیر نتایج باید محطاط بود. چهارم، به دلیل ماهیت مطالعات (مطالعات مقطعی-زمانی) درک رابطه علت و معلولی مشخص نیست. با توجه به موارد مذکور، توصیه می‌شود محققان در مطالعات آینده در یک حجم نمونه بالا از بیماران مبتلا به کمردرد با استفاده از یک پروتکل مناسب تأثیر سرعت و شدت درد بر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین را در هر دو جنس بررسی کنند. علاوه بر این، به دلیل تناقض بالای نتایج مطالعات در اوج نیروی اول توصیه می‌شود محققان در مطالعات آینده بر آگاهی بیشتر در مورد این مؤلفه تاکید کنند.

نتیجه‌گیری

بررسی شواهد علمی نشان داد که در بیماران مبتلا به کمردرد اغلب مؤلفه قعر یک روند افزایشی و اوج نیروی دوم یک روند کاهشی دارد. افزایش قعر می‌تواند در اثر ضعف عضلات اندام تحتانی و تغییر بیومکانیک زانو باشد و کاهش اوج نیروی دوم می‌تواند از ترکیب عوامل بیومکانیکی و روانشناختی نشأت گیرد. با این حال، مطالعات نتایج بسیار متناقضی از اوج نیروی اول را گزارش کردند که ضرورت توجه محققان بر این مساله را برجسته می‌نماید. در نهایت، توصیه می‌شود پزشکاران با کنترل بارگذاری اندام تحتانی، از انتقال نیروهای مضاعف شده بر زانو و کمر پیشگیری کرده و ایجاد کمردرد را مدیریت کنند.

کاربرد بالینی

نتایج مطالعه حاضر می‌تواند در تدوین پروتکل‌های توانبخشی و طراحی ارتزهای پا برای درمان و پیشگیری از کمردرد مفید باشد.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه در کمیته اخلاق دانشگاه بوعلی سینا همدان بررسی و با شناسه IR.BASU.REC.1402.095 تایید شده است.

حمایت مالی

کمری لگنی، باید بیومکانیک حرکت اندام تحتانی را نیز مورد توجه قرار داد.

از سوی دیگر، دلایل کاهش اوج نیروی دوم در مرحله پیش‌رانه ممکن است مربوط به زاویه مفصل در این مرحله از چرخه راه رفتن باشد (۹). اگر زاویه فلکشن مفصل زانو یا مفصل ران کاهش یابد به دلیل کاهش جابجایی مرکز ثقل در جهت پایین بارهای وارده بر پا نیز کاهش می‌یابد (۹). علاوه بر این، مطالعات پیشین گزارش کردند که عضلات چهارسر رانی و فلکسورهای کف پای یکی از عوامل اصلی پیش‌برد بدن به سمت جلو در چرخه راه رفتن هستند (۱۶، ۲۳). در همین حال، گزارش شده است که عضلات چهارسر رانی و پلانترفلکشن در بیماران مبتلا به کمردرد تضعیف می‌شود (۱۶، ۲۹). در نتیجه، نیروی کمتری برای رانش به جلو تولید می‌شود که در نهایت به کاهش سرعت راه رفتن و اوج نیروی دوم منتهی می‌شود (۱۰، ۱۶). علاوه بر موارد فوق، عضلات پشت معمولاً در مرحله استانس فعال هستند و هر چه نیروی پیش‌ران به سمت جلو بیشتر باشد فعال شدن عضلات پشت برای تثبیت اندام فوقانی و یا تنه نیز افزایش یافته و شدت درد افزایش می‌یابد (۹). از این رو، کاهش اوج نیروی عمودی دوم در مرحله پیش‌ران بدن به جلو می‌تواند یک مکانیسم جبرانی برای کاهش کمردرد باشد؛ بنابراین، کاهش اوج نیروی دوم در بیماران مبتلا به کمردرد ممکن است به دلیل عوامل روانشناختی همچون ترس از حرکت باشد (۹). در نتیجه، این راه‌برد حرکتی از مدل اجتناب از ترس حمایت می‌کند و بر این نکته تأکید دارد که بیماران مبتلا به کمردرد فعالیت بدنی خود را کاهش می‌دهند تا شدت درد تسکین یابد (۹). بنابراین، ارزیابی دقیق بیومکانیک راه رفتن باید در ارزیابی، برنامه‌ریزی درمان و تعیین نتیجه درمان در بیماران مبتلا به کمردرد گنجانده شود (۱۶). بر اساس نتایج فوق، بنظر می‌رسد تمرینات تقویتی به تنهایی در توانبخشی بیماران مبتلا به کمردرد برای اصلاح الگوی حرکتی کافی نباشد که این مساله ضرورت افزودن برنامه‌های مبتنی بر بازآموزی الگوی حرکتی و آموزش علوم اعصاب درد را برجسته می‌کند.

محققین در بررسی مطالعات با محدودیت‌هایی مواجه شدند که می‌تواند بر نتایج مطالعات تاثیر گذارد. اول، در برخی مطالعات حجم نمونه بسیار پایین بود که این مساله توان آماری برای تعمیم نتایج را کاهش می‌دهد و قدرت

در این تحقیق هیچ حامی مالی وجود ندارد.

نقش نویسندگان

در تحقیق حاضر تمامی نویسندگان در طراحی و تدوین مطالعه سهم یکسانی داشتند.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خانم

فاطمه سوری از دانشگاه بوعلی سینا می‌باشد. بدین وسیله از تمامی همکاری که در تدوین مطالعه حاضر همکاری داشتند تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

References

1. Yalfani A, Mohamadkhani M, Ahmadi MR, Asgarpour A. The Effect of Core Stability Exercises with Abdominal Hollowing on Plantar Pressure Distribution Symmetry in Females with Chronic Non-Specific Low Back Pain: An Experimental Study. *Community Health Journal*. 2023 Dec 22;17(3):81-92. [Persian]
2. Sadeghi M, Esmaeili H. Stance Phase Characteristics and Asymmetry in Females with Low Back Pain. *J Rehabil Sci Res*. 2023;10(4):188–93.
3. Yalfani A, Khani MM, Ahmadi M, Asgarpour A. The Effect of Core Stability Exercises Combined With Abdominal Hollowing on Postural Balance in Patients With Non-specific Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. *Phys Treat J*. 2023;13(3):165–74.
4. Sadeghisani M, Sobhani V, Kabir MM, Asnaashari A, Rahmani P, Azimi H. Investigation of weight-bearing symmetry in a group of athletes with low back pain and healthy people during gait. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*. 2017 Aug 21;17(05):1750086.
5. Smith JA, Stabbert H, Bagwell JJ, Teng HL, Wade V, Lee SP. Do people with low back pain walk differently? A systematic review and meta-analysis. *J Sport Heal Sci*. 2022;11(4):450–65.
6. Sadeghisani M, Sobhani V, Azimi H, Karimi MT. Analysis of symmetry of weight-bearing in athletes with and without low back pain during gait. *Ann Appl Sport Sci*. 2018;6(2):31–6.
7. Yalfani A, Raeisi Z, Koumasian Z. Effects of eight-week water versus mat pilates on female patients with chronic nonspecific low back pain: Double-blind randomized clinical trial. *J Bodyw Mov Ther*. 2020;24(4):70–5.
8. Yalfani A, Asgarpour A. The effect of cognitive functional therapy on the plantar pressure distribution symmetry in patients with chronic non-specific low back pain: A randomized controlled trial. *J Bodyw Mov Ther*. 2024;40:1454–9.
9. Zahraee MH, Karimi MT, Mostamand J, Fatoye F. Analysis of asymmetry of the forces applied on the lower limb in subjects with nonspecific chronic low back pain. *BioMed research international*. 2014;2014(1):289491.
10. Yalfani A, Ahmadi M, Asgarpour A. Effect of Sensorimotor Rehabilitation Protocol on Vertical Ground Reaction Force and Loading Rate in Men with Patellofemoral Pain: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences*. 2024; 32(9):11-26. [Persian]
11. Bahramizadeh-Sajadi S, Katoozian HR, Eskandari F. Effects of lumbar spinal disorders on the vertical ground reaction force and Spatio-temporal parameters in gait. *Clin Biomech*. 2021;89(3):105470.
12. Simmonds MJ, Lee CE, Etnyre BR, Morris GS. The influence of pain distribution on walking velocity and horizontal ground reaction forces in patients with low back pain. *Pain research and treatment*. 2012;2012(1):214980.
13. Masters A, Netto KJ, Brooker S, Hopper D, Liew B. Hip taping positively alters running kinematics in asymptomatic females. *International journal of sports medicine*. 2018 Dec;39(14):1068-74.
14. Hasan CZC, Jailani R, Tahir NM, Desaa HM. Vertical ground reaction force gait patterns during walking in children with autism spectrum disorders. *Int J Eng Trans B Appl*. 2018;31(5):705–11.
15. Lee CE, Simmonds MJ, Etnyre BR, Morris GS. Influence of Pain Distribution on Gait Characteristics in Patients With Low Back Pain. *Spine*. 2007;32(12):1329–36.
16. Yazdani S, Dizji E, Alizadeh F, Hassanlouei H. Effect of chronic idiopathic low back pain on the kinetic gait characteristics in different foot masks. *J Biomech*. 2018;79:243–7.
17. Da Fonseca JL, Magini M, De Freitas TH. Laboratory gait analysis in patients with low back pain before and after a Pilates Intervention. *J Sport Rehabil*. 2009;18(2):269–82.
18. Farahpour N, Jafarnejhad A, Damavandi M, Bakhtiari A, Allard P. Gait ground reaction force characteristics of low back pain patients with pronated foot and able-bodied individuals with and without foot pronation. *J Biomech*. 2016;49(9):1705–10.
19. Yalfani A, Asgarpour A. The Effect of Cognitive Functional Therapy on Gait Kinetics in Women with Chronic Non-Specific Low Back Pain:

- A Clinical Trial Study. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences. 2024 Oct 10;23(6):552-67. [Persian]
20. Abdo YS, ALanni EF, Mo'men HA, Ibrahim MM. Assessment of Vertical Ground Reaction Force at Propulsion Phase of Gait in Chronic Non-Specific Low Back Pain. Egyptian Journal of Physical Therapy. 2024 1;19(1):7-11.
 21. Koch C, Hänsel F. Chronic non-specific low back pain and motor control during gait. Front Psychol. 2018;9(4):1-8.
 22. Yalfani A, Ahadi F, Ahmadi M. Investigating the Effect of Active and Passive Proximal Interventions on Dynamic Knee Valgus in Patients With Patellofemoral Pain: A Systematic Review. Journal of Research in Orthopedic Science. 2022 Aug 10;9(3):123-34.
 23. Yalfani A, Ahmadi M. Patients with patellofemoral pain exhibiting decrease vertical ground reaction force compared to healthy individuals during weight bearing tasks: A systematic reviews and meta-analysis. Iranian Journal of Public Health. 2023 Feb;52(2):254.
 24. Yalfani A, Ahmadi M, Asgarpoor A. The effect of kinetic factors of dynamic knee valgus on patellofemoral pain: A systematic review and meta-analysis. Journal of Bodywork and Movement Therapies. 2024 1;37:246-53.
 25. Müller R, Ertelt T, Blickhan R. Low back pain affects trunk as well as lower limb movements during walking and running. J Biomech. 2015;48(6):1009-14.
 26. Kothari A, Dixon PC, Stebbins J, Zavatsky AB TT. Are flexible flat feet associated with proximal joint problems in children? Gait Posture. 2016;45(1):204-10.
 27. Ahmadi M, Yalfani A. Interlimb Asymmetry of Vertical Ground Reaction Force as a Risk Factor for Re-injury and Knee Osteoarthritis Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. Journal of Research Orthopedic Science. 2022 Feb 1;9(1) 15-24.
 28. Ahmadi M, Yalfani A. Do patellofemoral pain patients have higher loading rate compared to healthy individuals? A systematic review and meta-analysis. Phys Treat Phys Ther. 2022;12(1):13-22.
 29. Hart JM, Weltman A, Ingersoll CD. Quadriceps activation following aerobic exercise in persons with low back pain and healthy controls. Clin Biomech. 2010;25(8):847-51.
 30. Mohammadi V, Letafatkar A, Sadeghi H, Jafarnezhadgero AA, Hilfiker R. The effect of motor control training on kinetics variables of patients with non-specific low back pain and movement control impairment: Prospective observational study. J Bodyw Mov Ther. 2017;21(4):1009-16.