

Case Study

Gait Symmetry in Low Back Pain After PRP Injection Post-discectomy: A Case Study



Afsaneh Rahnama¹ , *Razieh Yousefian Molla¹

1. Department of Physical Education and Sport Sciences, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.



Citation Rahnama A, Yousefian Molla R. [Gait Symmetry in Low Back Pain After PRP Injection Post-discectomy: A Case Study (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 14(6):1008-1021. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3396>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3396>

ABSTRACT

Background and Aims Platelet-rich plasma (PRP) injection has emerged as a novel intervention in the management of chronic low back pain (CLBP), yet evidence regarding its biomechanical impact on gait symmetry remains limited. This study aimed to assess three-dimensional gait mechanics and symmetry following PRP injection and one-year post-discectomy in a male patient with CLBP.

Methods A single-subject case study was conducted on a 38-year-old male (height: 182 cm, weight: 99 kg, BMI: 29.9 kg/m²) with a history of L5–S1 discectomy. Three-dimensional motion analysis (Motion Analysis Kestrel, Cortex software, version 8.0) and force plates (Kistler 9286 BA) were used to evaluate the lower limb kinematics and ground reaction forces (GRF) during gait, seven days after PRP injection. Spatiotemporal variables, joint range of motion (ROM) in all planes, and symmetry indices were examined.

Results The greatest asymmetry was observed in the knee joint ROM in the frontal plane (swing: 69.78%, stance: 66.77%) and in the transverse plane of the knee (swing: 40.89%) and ankle (stance: 40.25%). Maximal symmetry was noted in the hip (transverse plane, swing: 4.31%). The GRF symmetry index indicated pronounced asymmetry in the mediolateral direction (SI: 112.09%), while vertical and anterior-posterior forces demonstrated acceptable symmetry.

Conclusion Although PRP injection resulted in partial restoration of biomechanical symmetry in some lower limb variables, significant asymmetry persisted in the frontal and transverse planes, especially in the knee joint and mediolateral GRF direction. These findings highlight the complexity of functional recovery post-intervention and suggest the need for multimodal rehabilitation.

Keywords Chronic low back pain (CLBP), PRP, Gait, Biomechanics

Received: 07 Aug 2025

Accepted: 14 Sep 2025

Available Online: 21 Jan 2026

* Corresponding Author:

Razieh Yousefian Molla, Assistant Professor .

Address: Department of Physical Education and Sport Sciences, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 2022730

E-Mail: razieh.yousefianmolla@iau.ac.ir



Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Chronic low back pain (CLBP) is a prevalent musculoskeletal disorder that may persist even after surgical interventions, like discectomy, often leading to gait impairment and reduced mobility. Platelet-rich plasma (PRP) injection has recently gained attention as a regenerative treatment option for CLBP; however, its effect on biomechanical gait symmetry remains unclear. The aim of this case study was to provide a detailed three-dimensional kinetic and kinematic evaluation of gait symmetry in a patient with CLBP, following PRP injection and one year after discectomy.

Methods

A 38-year-old male patient with a history of L5–S1 discectomy and ongoing CLBP participated in this study. After obtaining ethics approval and informed consent, PRP was injected under ultrasound guidance in the lumbosacral region. Seven days post-injection, three-dimensional gait analysis was performed at the biomechanics laboratory of Kharazmi University. Motion data were captured using an 8-camera Motion Analysis Kestrel system (120 Hz), combined with two Kistler force plates (1000 Hz) for ground reaction force (GRF) measurement. Forty-eight reflective markers were affixed according to the Helen Hayes protocol. The patient completed controlled over-ground walking trials, and at least three valid gait cycles were analyzed. Key measured variables included

spatiotemporal parameters, joint ranges of motion (ROM) at the hip, knee, and ankle in all planes, three-dimensional GRFs, and symmetry index (SI) calculated as [Equation 1](#):

$$1. SI = (X_1 - X_2) / [0.5 \times (X_1 + X_2)] \times 100$$

for right and left sides.

Results

Gait analysis revealed partial restoration of joint and force symmetry following PRP injection. The hip joint showed acceptable symmetry during swing in the transverse plane (SI: 4.31%), but significant asymmetry in stance (right: 13.96°, left: 8.82°, SI: 45.73%). Pronounced asymmetries were detected in the knee joint, especially in the frontal plane both during swing (SI: 69.78%) and stance (SI: 66.77%); transverse plane symmetry of the knee during swing was also reduced (SI: 40.89%). Ankle symmetry was relatively acceptable during swing but not during stance, with notable differences in frontal and transverse planes (stance SI: 40.25%).

Mediolateral GRF showed severe asymmetry (right: 23.76 N, left: 84.37 N; SI: 112.09%), while vertical and anterior-posterior directions maintained acceptable symmetry indices (2.29% and 10.55%, respectively). Despite some improvement in several gait variables after PRP injection, considerable asymmetries persisted, particularly in the knee and mediolateral force components ([Table 1](#)).

Table 1. Summary of main gait findings

Variables	Right	Left	Symmetry Index (%)
Hip ROM (swing, transverse)	8.54°	8.92°	4.31
Hip ROM (stance, transverse)	13.96°	8.82°	45.73
Knee ROM (swing, frontal)	11.93°	5.76°	69.78
Knee ROM (stance, frontal)	12.88°	6.43°	66.77
Knee ROM (swing, transverse)	6.04°	3.99°	40.89
Ankle ROM (stance, transverse)	5.28°	7.95°	40.25
GRF (mediolateral)	23.76 N	84.37 N	112.09
GRF (vertical)	-	-	2.29
GRF (anterior-posterior)	-	-	10.55

Conclusion

PRP therapy after discectomy was associated with partial improvement in gait symmetry, particularly in vertical and anterior–posterior GRFs, but did not fully correct asymmetries, especially those of the knee and in the mediolateral force components. Comprehensive biomechanical analysis demonstrated persistent three-dimensional gait deviations, suggesting the need for additional rehabilitation interventions to restore optimal gait symmetry in patients with CLBP after regenerative or surgical treatments.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this article.

Funding

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

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflict of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the patient who participated in this study.



مقاله موردی

تقارن راه رفتن در کمردرد، پس از پی آر پی و دیسککتومی: گزارش موردی

افسانه رهنما^۱، *راضیه یوسفیان ملا^۱

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online



Citation Rahnama A, Yousefian Molla R. [Gait Symmetry in Low Back Pain After PRP Injection Post-discectomy: A Case Study (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 14(6):1008-1021. <https://dx.doi.org/10.22037/SJRM.14.6.3396>

doi <https://dx.doi.org/10.22037/SJRM.14.6.3396>

چکیده

مقدمه و اهداف: تزریق پلاسمای غنی از پلاکت به عنوان مداخله ای نوین، توجه زیادی را به خود در حیطه درمان کمردرد جلب کرده است، هرچند شواهد بیومکانیکی کافی در خصوص تأثیر آن بر بیومکانیک راه رفتن وجود ندارد؛ بنابراین هدف از گزارش موردی حاضر تحلیل ۳ بعدی بیومکانیک سیمتری راه رفتن در یک فرد مبتلا به کمردرد مزمن به دنبال دیسککتومی و تزریق پلاسمای غنی از پلاکت بود.

مواد و روش ها: پژوهش حاضر به صورت مطالعه موردی بر روی یک بیمار مرد ۳۸ ساله، ۱ سال پس از دیسککتومی ناحیه L5-S1 و با استفاده از سیستم آنالیز حرکت ۳ بعدی و صفحات نیرو از پای راست و چپ، ۷ روز پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت انجام شد. متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی اندام تحتانی شامل دامنه حرکتی و نیروی عکس العمل زمین در ۳ بعد، استخراج و میزان شاخص تقارن بین ۲ پای آزمودنی برآورد شد.

یافته ها: تحلیل ها نشان داد بیشترین عدم تقارن در دامنه حرکتی در مفصل زانو در صفحه فرونتال و همچنین در صفحه ترانسورس در زانو و مچ پا مشاهده شد. در مقابل، بیشترین تقارن در مفصل ران، در صفحه ترانسورس در فاز نوسان به دست آمد. همچنین، میزان نیروی عکس العمل زمین، در راستای داخلی خارجی تفاوت قابل توجهی بین دو پا نشان داد. در حالی که در راستاهای عمودی و قدامی خلفی شاخص تقارن در این پارامتر قابل قبول بودند.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد علی رغم وجود تقارن نسبی در برخی متغیرهای بیومکانیکی، عدم تقارن قابل توجهی در برخی صفحات حرکتی و راستاهای نیرو، به ویژه در مفصل زانو و راستای داخلی خارجی نیروهای عکس العمل زمین، طی راه رفتن پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت وجود دارد.

کلیدواژه ها: کمردرد مزمن، تزریق پلاسمای غنی از پلاکت، راه رفتن، بیومکانیک

تاریخ دریافت: ۱۶ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۳ شهریور ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۲۳ شهریور ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر راضیه یوسفیان ملا

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی.

تلفن: ۰۲۲۷۳۰۲۰ (۹۱۲) ۹۸+

رایانامه: Razieh.yousefianmolla@iau.ac.ir



Copyright © 2026 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه و اهداف

مطالعه حاضر با به کارگیری چنین ابزارهایی، تلاش دارد تا گامی مؤثر در جهت تلفیق داده‌های بالینی و بیومکانیکی برای بهینه‌سازی راهکارهای توان‌بخشی در بیماران مبتلا به کمردرد مزمن پس از جراحی بردارد [۱۱].

در همین راستا، پژوهش حاضر با طراحی یک مطالعه موردی تک‌بیماری، با هدف بررسی اثرات تزریق پلاسمای غنی از پلاکت بر پارامترهای بیومکانیکی راه رفتن و سیمتری عملکردی اندام تحتانی در بیماری با سابقه دیسککتومی و شکایت از کمردرد مزمن انجام شده است. بهره‌گیری از سیستم‌های دقیق آنالیز حرکت ۳ بعدی و صفحات نیروی حساس، امکان ارزیابی دقیق تغییرات پیش و پس از مداخله را فراهم کرده است. بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند به درک بهتر از تأثیرات عملکردی مداخلات زیستی نوین کمک کرده و مسیر توسعه درمان‌های هدفمند در حوزه توان‌بخشی بیماران با کمردرد مزمن را هموار کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت یک مطالعه موردی تک‌بیماری^۲ و با هدف بررسی تغییرات ۳ بعدی بیومکانیک سیمتری اندام تحتانی، حین راه رفتن، به دنبال مداخله تزریق پلاسمای غنی از پلاکت به علت درد مزمن کمرب و ۱ سال پس از دیسککتومی در ناحیه ساکروم، با رعایت اصول اخلاقی و اخذ رضایت‌نامه آگاهانه از بیمار انجام شده است.

ویژگی‌های شرکت‌کننده

بیمار مورد مطالعه، مردی ۳۸ ساله با قد ۱۸۲ سانتی‌متر، وزن ۹۹ کیلوگرم و شاخص توده بدنی برابر با ۲۹/۹ کیلوگرم/مترمربع بود که سابقه دیسککتومی در ناحیه لومبوساکرال (L5-S1)، طی ۲ سال گذشته را داشته و همچنان از ناتوانی عملکردی و کمردرد مزمن، همراه با تشدید مداوم، پس از فعالیت‌های فیزیکی و کاهش تقارن در الگوی حرکتی شکایت داشت، اما سابقه‌ای از بیماری‌های نورولوژیکی، مشکلات تعادلی و آسیب اندام تحتانی دارا نبود.

مداخله درمانی

مداخله درمانی بیمار شامل تزریق یک نوبت پلاسمای غنی از پلاکت اتولوگ به ناحیه لومبوساکرال، تحت هدایت سونوگرافی توسط متخصص طب فیزیکی و توان‌بخشی بود. در این روش، نمونه خون بیمار پس از سانتریفیوژ، طبق پروتکل استاندارد پلاسمای غنی از پلاکت، به پلاسما و سلول‌های خونی تفکیک شده و حدود ۶ میلی‌لیتر پلاسمای غنی از پلاکت آماده‌شده به ناحیه هدف تزریق شد [۱۲]. بیمار به مدت ۷۲ ساعت پس از انجام تزریق، از فعالیت‌های سنگین منع شده بود.

کمردرد مزمن یکی از شایع‌ترین اختلالات اسکلتی-عضلانی در جوامع امروزی به شمار می‌رود [۱] که تأثیرات گسترده‌ای بر عملکرد فیزیکی، کیفیت زندگی و فعالیت‌های روزمره بیماران دارد [۲]. استراتژی‌های حرکتی و الگوهای حرکتی طبیعی در بیماران با کمردرد مزمن به طور قابل توجهی دچار اختلال می‌شوند، به طوری که تغییراتی در هماهنگی، کنترل عصبی-عضلانی و تقارن حرکت مشاهده می‌شود که این موارد می‌توانند بر عملکرد حرکتی روزمره تأثیرگذار باشند [۳]. این تغییرات در الگوی حرکت، به خصوص در فعالیت‌هایی مانند راه رفتن، می‌تواند موجب افزایش درد و ناتوانی شود و کیفیت زندگی بیمار را کاهش دهد. در برخی از بیماران، علی‌رغم انجام مداخلات جراحی، مانند دیسککتومی، تداوم علائم درد و ناتوانی مشاهده می‌شود که می‌تواند به بروز اختلالاتی در الگوی حرکتی، به ویژه در فعالیت‌هایی مانند راه رفتن، منجر شود [۳]. تغییر در تقارن عملکرد اندام تحتانی، توزیع نیروهای اعمال‌شده و پایداری حرکتی، از جمله پیامدهای ثانویه کمردرد مزمن هستند که نیاز به سایر مداخلات مؤثر را برجسته می‌کنند [۴، ۵].

یکی از روش‌های نوین درمانی که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده، استفاده از پلاسمای غنی از پلاکت^۱ (PRP)، به عنوان یک درمان بیولوژیک بازتولیدی است [۶]. پلاسمای غنی از پلاکت با دارا بودن غلظت بالایی از فاکتورهای رشد و مواد زیست‌فعال، می‌تواند در بهبود بافت‌های آسیب‌دیده، کاهش التهاب و ارتقای بازسازی بافتی مؤثر واقع شود [۷]. باتوجه به تأثیر قابل توجه اختلالات حرکتی در بیماران کمردرد مزمن، مطالعه اثرات درمانی پلاسمای غنی از پلاکت بر بازگرداندن الگوهای حرکتی طبیعی و تقارن گام اهمیت ویژه‌ای دارد. با وجود کاربرد رو به گسترش این روش در درمان انواع اختلالات اسکلتی-عضلانی، هنوز شواهد کافی در خصوص اثرات غیرمستقیم آن بر الگوهای بیومکانیکی حرکتی و به ویژه سیمتری اندام‌ها در بیماران وجود ندارد [۸، ۹].

ارزیابی دقیق تغییرات عملکردی، پس از مداخلات درمانی، نیازمند استفاده از ابزارها و روش‌های استاندارد در علم بیومکانیک است که بتوانند به صورت عینی، متغیرهای مرتبط با تعادل، تقارن و کیفیت حرکت را اندازه‌گیری کنند [۱۰]. تحلیل ۳ بعدی حرکت، به همراه ثبت نیروهای عکس‌العمل زمین، از جمله روش‌های معتبر برای بررسی پارامترهای حرکتی در فعالیت‌های عملکردی، مانند راه رفتن محسوب می‌شوند. به ویژه در مطالعات موردی که تمرکز بر تغییرات فردمحور است، این ابزارها می‌توانند تصویری دقیق از الگوهای حرکتی، پیش و پس از مداخله فراهم آورند و به شناسایی اثرات درمان‌های نوین در سطح عملکردی کمک کنند.

طراحی و ابزار اندازه گیری

ارزیابی های بیومکانیکی سیمتری راه رفتن در بیمار، ۷ روز پس از تزریق، در آزمایشگاه بیومکانیک دانشکده تربیت بدنی دانشگاه خوارزمی کرج توسط یک متخصص بیومکانیک ورزشی، با استفاده از سیستم آنالیز حرکت ۳ بعدی کیستلر (Analysis Corp., USA) مجهز به نرم افزار Cortex نسخه ۸ انجام گرفت. این سیستم شامل ۸ دوربین مادون قرمز با نرخ نمونه برداری ۱۲۰ هرتز بود که امکان ثبت دقیق و کامل حرکات در فضای ۳ بعدی را فراهم می کند. جهت ثبت نیروهای عکس العمل زمین از ۲ صفحه نیرو کیستلر مدل 9286 BA و با ابعاد ۶۰×۴۰ سانتی متر و نرخ نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز استفاده شد. همچنین صحت کالیبراسیون سیستم ها پیش از هر آزمون بررسی و تأیید شد.

برای ثبت حرکات، از ۴۸ مارکر بازتاب دهنده استفاده شد که مطابق پروتکل اصلاح شده هلن هایز^۳ روی نقاط آناتومیکی کلیدی بدن فرد شامل لندمارک های اندام تحتانی، لگن، ستون فقرات کمری و فوقانی، شانه ها، آرنج ها و مچ دست ها نصب شدند [۱۴، ۱۳]. نصب مارکرها توسط یک اپراتور متخصص بیومکانیک با رعایت اصول آناتومیکی انجام شد و موقعیت اولیه مارکرها نیز توسط سیستم تأیید شد.

پروتکل اجرایی

آزمون بیومکانیکی در این فرد شامل گام برداری کنترل شده با سرعت انتخابی خود فرد، در مسیری مشخص به طول ۱۰ متر بود. در این مسیر، فرد به گونه ای راه رفت که ۱ بار پای چپ و ۱ بار پای راستش، به صورت کامل روی صفحه نیرو قرار گیرد. تمامی مارکرها توسط دوربین ها رؤیت شدند. برای تنظیم قرارگیری پای آزمودنی بر روی صفحه نیرو طی راه رفتن، ۵ مرتبه عمل راه رفتن به طور آزمایشی توسط آزمودنی انجام گرفت. پس از آن ۳ کوشش قابل قبول با سرعت راه رفتن خودانتخابی انجام شد. هر آزمون حداکثر ۳۰ ثانیه به طول انجامید و بین آزمون ها ۶۰ ثانیه استراحت فعال جهت جلوگیری از خستگی بیمار در نظر گرفته شد. تمام آزمون ها در شرایط محیطی کنترل شده (دمای اتاق: ۲۲-۲۴ درجه سانتی گراد، نور ثابت، بدون اختلالات صوتی یا حرکتی محیطی) انجام شد. آزمون ها توسط دو ناظر مستقل (۱ متخصص بیومکانیک ورزشی و ۱ متخصص امور آزمایشگاهی بیومکانیک) ثبت شدند.

پردازش داده ها

داده های خام حاصل از سیستم آنالیز حرکت ۳ بعدی و صفحات نیروهای عکس العمل زمین، پس از ثبت اولیه، جهت افزایش دقت و حذف نویز مورد پردازش اولیه قرار گرفتند. داده های مکان یابی

مارکرها با استفاده از فیلتر پایین گذر باترورث^۴ چهارم درجه و با فرکانس قطع ۶ هرتز فیلتر شدند. همچنین، داده های نیروهای عکس العمل زمین با استفاده از فیلتر پایین گذر باترورث چهارم درجه و با فرکانس قطع ۲۰ هرتز پردازش شدند تا نویزهای ناشی از محیط و فرآیند ثبت حذف شوند.

تمام مراحل پردازش با استفاده از نرم افزار کورتکس^۵ نسخه ۸ و نرم افزار متلب^۶ نسخه ۲۰۲۴ انجام شد. داده های پردازش شده سپس جهت استخراج پارامترهای بیومکانیکی دامنه حرکتی مفاصل و نیروهای عکس العمل زمین به تحلیل های بعدی منتقل شدند.

تحلیل داده ها

داده های حرکتی و نیرویی ثبت شده، پس از استخراج توسط نرم افزار Cortex پیش پردازش شدند و تحلیل های نهایی نیز براساس دستورالعمل استاندارد انجمن بین المللی بیومکانیک (ISB) انجام گرفت [۱۴]. سپس با استفاده از نرم افزار متلب نسخه ۲۰۲۴ متغیرهای دامنه حرکتی ۳ مفصل ران، زانو و مچ پا در ۳ بعد و در ۲ پا حین ۲ فاز استنس و سوئینگ و همچنین حداکثر نیروی عکس العمل ۳ بعدی زمین در ۲ پا استخراج شدند. به دلیل طراحی تک بیماری مطالعه حاضر، تنها تحلیل آماری توصیفی برای ارائه تغییرات انجام شد. همچنین از شاخص تقارن برای تعیین میزان تقارن بین ۲ پا در هر متغیر براساس مطالعات قبل [۱۵] و توسط فرمول شماره ۱ انجام شد.

$$1. \text{symmetryindex(SI)} = (X1 - X2) / (0.5 * (X1 + X2)) \times 100$$

در این معادله X1 و X2 نشان دهنده هر کدام از متغیرهای مورد بررسی به ترتیب در پای راست و چپ هستند.

یافته ها

پارامترهای استخراج شده، پس از تحلیل های بیومکانیکی، با استفاده از جداول و شکل ها توصیف شدند، علاوه بر این شاخص تقارن، برای هریک از آن ها محاسبه شد و در قالب جدول گزارش شد. نتایج، به صورت ۲ بخش اصلی شامل «دامنه حرکتی مفاصل اندام تحتانی» و «نیروهای عکس العمل زمین» در ادامه گزارش شده است.

نتایج سیمتری دامنه حرکتی مفاصل اندام تحتانی

دامنه حرکتی مفاصل ران، زانو و مچ در فازهای نوسان^۷ و استقرار^۸ راه رفتن به تفکیک در ۳ صفحه حرکتی (ساجیتال،

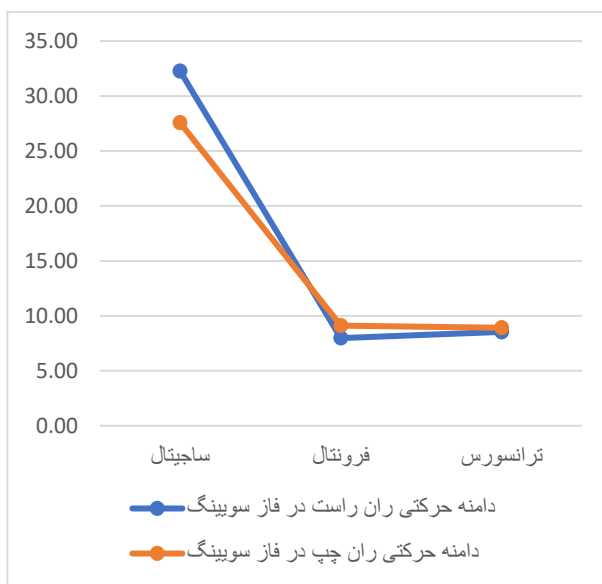
4. Butterworth
5. Cortex
6. MATLAB
7. Swing
8. Stance

3. Helen Hayes

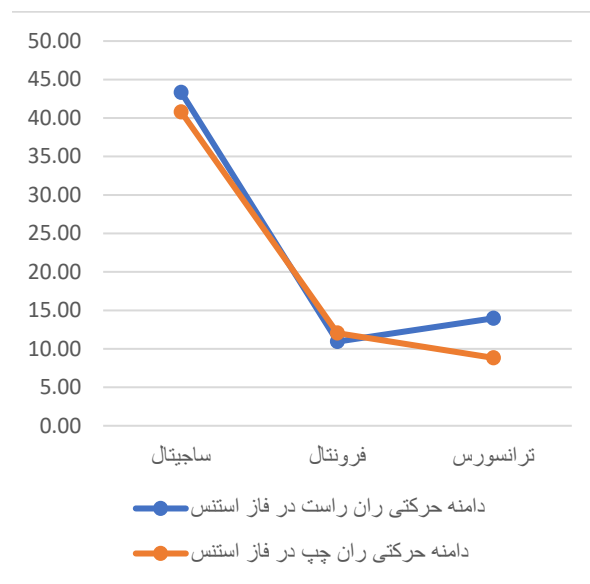
حرکتی زانوی پای راست ۶/۰۴ و پای چپ ۳/۹۹ درجه بوده است که نشان‌دهنده تفاوت نسبتاً زیادی است (تصویر شماره ۱-۱-۱). در مفصل مچ پا در فاز نوسان، تفاوت زیادی بین ۲ پا در دامنه حرکتی در ۳ صفحه مشاهده نشد، اما در فاز استنس در صفحه حرکتی فرونتال و ترانسورس، تفاوت، حدود ۳/۵ درجه بین ۲ پا در دامنه حرکتی بود (تصویر شماره ۱-۱-۱).

میزان تقارن، بین دامنه حرکتی دو پای راست و چپ در جدول شماره ۲، براساس فرمول شماره ۱ گزارش شده است [۱۵]. همان‌طور که نتایج جدول نشان می‌دهد، دامنه حرکتی زانوی چپ و راست در صفحه حرکتی فرونتال در ۲ فاز نوسان و استقرار به ترتیب ۶۹/۷۸ و ۶۶/۷۷ درصد گزارش شده است

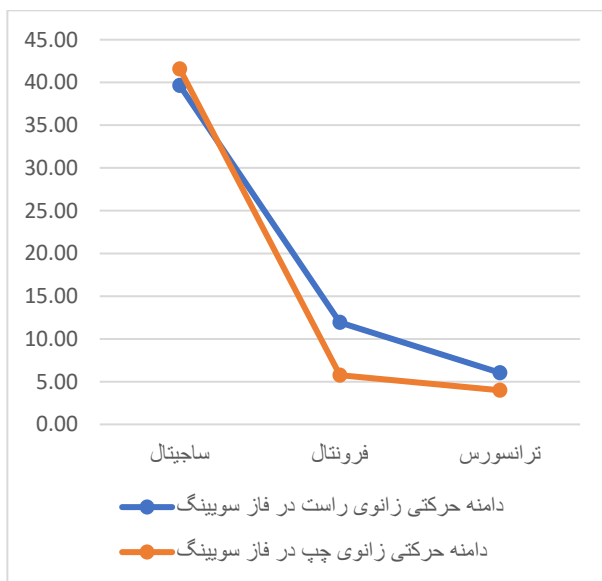
فرونتال و ترانسورس)، پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت در هر دو اندام تحتانی اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است، در مفصل ران، دامنه حرکتی در فاز نوسان نسبتاً مشابه بوده است. در فاز استقرار نیز در ۲ صفحه ساجیتال و فرونتال تفاوت زیادی دیده نشد، اما در صفحه حرکتی ترانسورس (عرضی) در پای راست، دامنه حرکتی ۱۳/۹۶ درجه و در پای چپ ۸/۸۲ درجه بوده است که نسبتاً تفاوت زیادی بین ۲ پا را نشان می‌دهد (تصویر شماره ۱-۱-۱). در مفصل زانو، در صفحه حرکتی فرونتال تفاوت بسیار زیادی بین ۲ پا در هر دو فاز نوسان و استقرار وجود داشته است (تصویر شماره ۱-۱-۱ و ۱-۱-۱). علاوه‌براین در صفحه حرکتی ترانسورس نیز در فاز نوسان دامنه



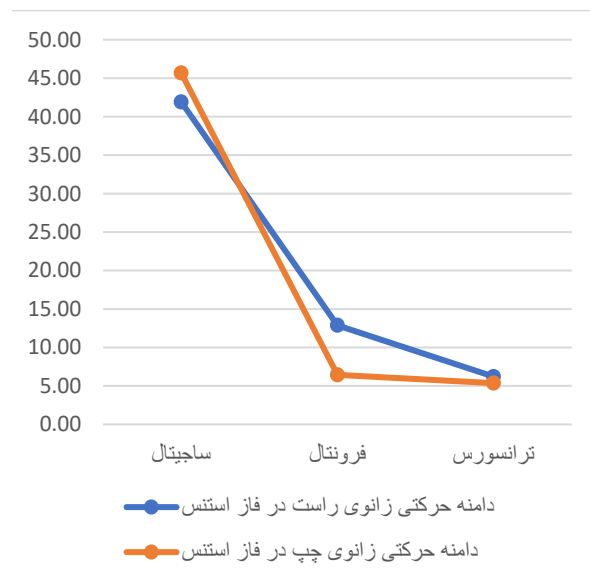
a



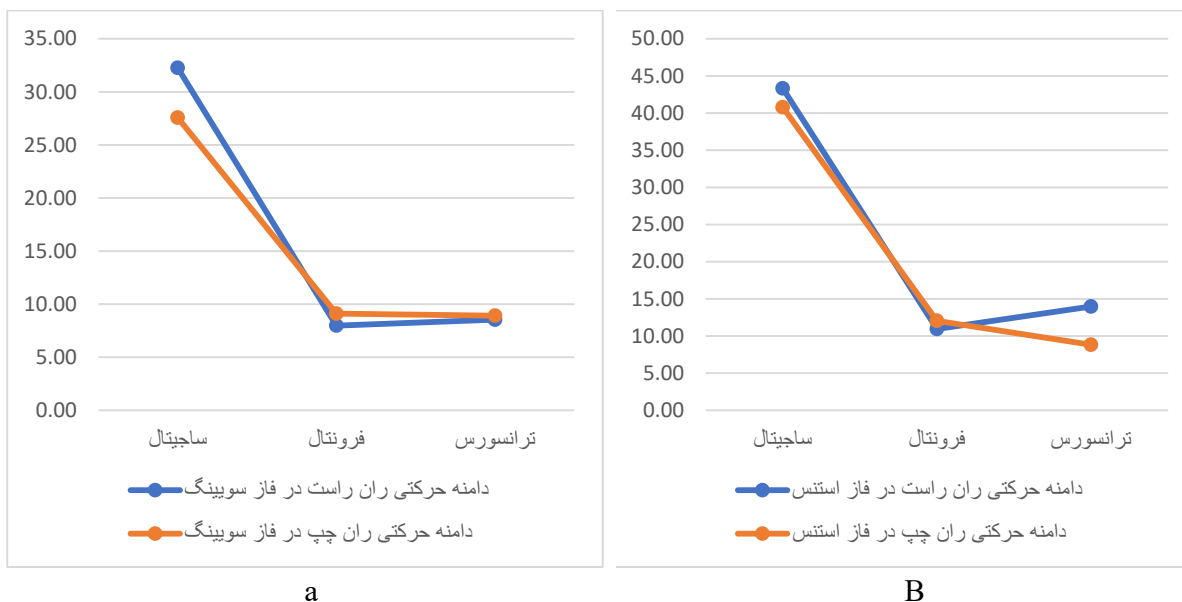
B



c



D



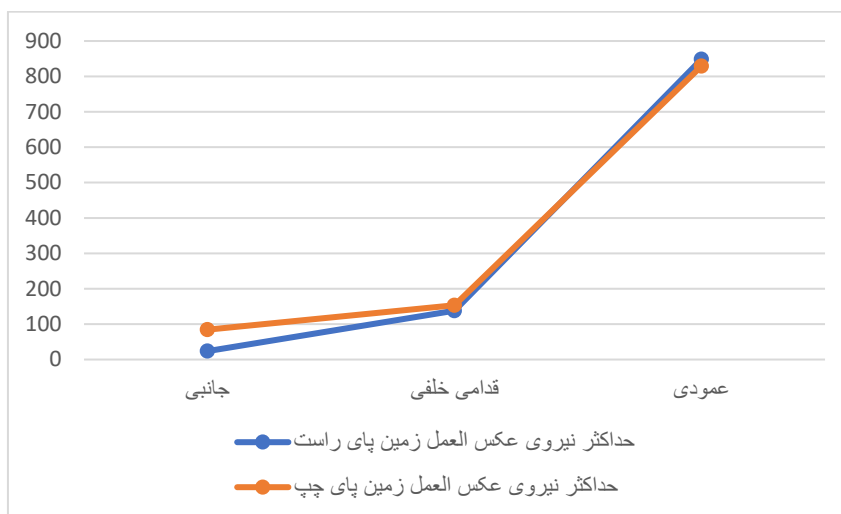
طب توانبخشی

تصویر ۱. دامنه حرکتی مفصل اندام تحتانی در دو فاز نوسان و استقرار پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت (تصویر a: دامنه حرکتی مفصل ران در فاز نوسان. تصویر b: دامنه حرکتی مفصل ران در فاز استقرار. تصویر c: دامنه حرکتی مفصل زانو در فاز نوسان. تصویر d: دامنه حرکتی مفصل زانو در فاز استقرار. تصویر f: دامنه حرکتی مفصل مچ پا در فاز نوسان. تصویر g: دامنه حرکتی مفصل مچ پا در فاز استقرار)

نتایج سیمتری نیروهای عکس العمل زمین

حداکثر مقادیر نیروی عکس العمل زمین در ۳ راستای اصلی (عمودی، قدامی خلفی، داخلی خارجی) برای هر اندام تحتانی پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت به صورت جداگانه استخراج و تحلیل شد. باتوجه به نتایج، در میزان نیروی عکس العمل زمین، در ۲ راستای قدامی خلفی و عمودی تفاوت چندانی بین دو پا مشاهده نشد، اما در راستای داخلی خارجی میزان حداکثر

که کمترین میزان تقارن به شمار می‌رود. علاوه بر این در صفحه حرکتی ترانسورس، شاخص تقارن در مفصل زانو طی فاز نوسان و در مفصل مچ پا طی فاز استقرار، به ترتیب ۸۹/۴۰ و ۲۵/۴۰ درصد گزارش شد که نشان‌دهنده تقارن نسبتاً کم بین دو پا است. بیشترین میزان تقارن بین دو پا با مقدار شاخص تقارن ۴/۳۱ درصد، در مفصل ران و در صفحه حرکتی ترانسورس طی فاز نوسان مشاهده شد.



طب توانبخشی

تصویر ۲. حداکثر نیروی عکس العمل زمین در دو پای راست و چپ پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت

جدول ۱. دامنه حرکتی سه بعدی مفاصل اندام تحتانی در فازهای سوینگ و استنس پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت

مفصل	فاز	دامنه حرکتی (درجه)					
		صفحه ساجیتال		صفحه فرونتال		صفحه ترانسورس	
		پای راست	پای چپ	پای راست	پای چپ	پای راست	پای چپ
ران	نوسان	۲۶/۳۲	۲۷/۵۶	۷/۹۸	۹/۱۱	۸/۵۴	۸/۹۲
	استقرار	۳۳/۳۳	۴۰/۷۸	۱۰/۹۴	۱۲/۰۴	۱۳/۹۶	۸/۸۲
زانو	نوسان	۳۹/۶۴	۴۱/۵۷	۱۱/۹۳	۵/۷۶	۶/۰۴	۳/۹۹
	استقرار	۴۱/۰۹	۴۵/۶۶	۱۲/۸۸	۶/۴۳	۶/۲۱	۵/۳۶
مچ	نوسان	۲۲/۵۴	۲۰/۲۸	۱۱/۱۳	۸/۵۳	۶/۲۵	۵/۱۰
	استقرار	۲۷/۴۲	۲۴/۲۱	۱۳/۳۹	۱۰/۱۳	۵/۲۸	۷/۹۵

طب توانبخشی

پلاسمای غنی از پلاکت در بیماری با سابقه کمردرد مزمن پس از ۱ سال دیسککتومی بود. نتایج نشان داد علی‌رغم وجود تقارن نسبی در برخی متغیرهای کینماتیکی و کینتیک، عدم تقارن قابل توجهی در برخی صفحات حرکتی و راستاهای نیرو، به‌ویژه در مفصل زانو و راستای داخلی خارجی نیروهای عکس‌العمل زمین وجود دارد که نیازمند تفسیر دقیق در زمینه بازسازی عملکرد حرکتی پس از مداخلات زیستی است.

ازمنظر کینماتیکی، نتایج حاکی از آن است که بیشترین میزان عدم تقارن در مفصل زانو و در صفحات حرکتی فرونتال و ترانسورس دیده شده است، به‌گونه‌ای که شاخص تقارن در این صفحات در فازهای نوسان و استقرار و به‌ترتیب تا ۶۹/۷۸ و ۶۶/۷۷ درصد کاهش یافته و در فاز ترانسورس نیز به ۴۰/۸۹ درصد رسیده است. این میزان از عدم تقارن، مطابق با معیارهای سایر پژوهش‌های گذشته [۱۶، ۱۷]، نشان‌دهنده اختلال قابل توجه

نیروی عکس‌العمل زمین در پای راست و چپ به ترتیب ۲۳/۷۶ و ۸۴/۳۷ نیوتن بوده است که تفاوت زیادی بین ۲ پا را نشان می‌دهد (جدول شماره ۳) (تصویر شماره ۲).

علاوه‌براین میزان شاخص تقارن نیروی عکس‌العمل زمین بین ۲ پا (براساس فرمول شماره ۱) [۱۵] در ۲ راستای قدامی خلفی و عمودی در جدول شماره ۴ به ترتیب ۱۰/۵۵ و ۲/۲۹ درصد گزارش شده است که نشان از تقارن مطلوب بین ۲ پا است، اما در راستای داخلی خارجی این میزان ۱۱۲/۰۹ درصد گزارش شده است که هیچ‌گونه تقارنی بین ۲ پا در این راستا دیده نمی‌شود (تصویر شماره ۲).

بحث

هدف از این مطالعه موردی، بررسی تغییرات ۳ بعدی بیومکانیک سیمتری در مفاصل اندام تحتانی پس از تزریق

جدول ۲. شاخص تقارن ۳ بعدی دامنه حرکتی بین اندام تحتانی راست و چپ در فازهای نوسان و استقرار پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت

فاز	مفصل	درصد		
		شاخص تقارن در دامنه حرکتی بین اندام تحتانی راست و چپ		
		ساجیتال	فرونتال	ترانسورس
نوسان	ران	۱۵/۷۰	۱۳/۲۳	۴/۳۱**
	زانو	۴/۷۵	۶۹/۷۸*	۴۰/۸۹
	مچ	۱۰/۵۳	۲۶/۳۸	۲۰/۲۰
استقرار	ران	۶/۰۶	۹/۵۷	۴۵/۱۳
	زانو	۸/۵۹	۶۶/۷۳*	۱۴/۷۱
	مچ	۱۲/۴۶	۳۷/۷۰	۴۰/۲۵

طب توانبخشی

* نشان‌دهنده کمترین میزان تقارن و ** نشان‌دهنده بیشترین میزان تقارن است.

جدول ۳. حداکثر نیروی عکس‌العمل ۳ بعدی زمین پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت (نیوتن)

راستای وارد شدن نیرو	پای راست	پای چپ
داخلی خارجی	۲۳/۷۶	۸۴/۳۷
قدامی خلفی	۱۳۷/۹۳	۱۵۲/۳۰
عمودی	۸۴/۵۶	۸۲۹/۵۸

طب توانبخشی

انجام‌شده در گذشته [۱۹، ۲۰]، بیماران مبتلا به کم‌درد مزمن، دچار تغییراتی در الگوهای حرکتی زانو در صفحات داخلی خارجی و چرخشی هستند که مشابه الگوهای مشاهده‌شده در مطالعه حاضر است. این مسئله اهمیت بازتوانی هدفمند برای مفاصل دیستال‌تر را در کنار درمان موضعی درد تقویت می‌کند.

باتوجه به عدم تقارن‌هایی که در دامنه حرکتی مفاصل زانو و مچ پا در این تحقیق مشاهده شد، می‌توان بیان کرد همچنان یک هفته پس از مداخله با پلاسمای غنی از پلاکت جهت کنترل درد، بروز عدم تقارن در اندام تحتانی کنترل نشده است که البته این نتایج همسو با نتایج مطالعات چانگ و همکاران [۶]، آکدا و همکاران [۸] و لوی و همکاران [۱۲] بوده که گزارش کرده‌اند تزریق پلاسمای غنی از پلاکت باعث کاهش درد می‌شود، اما با گذشت حداقل ۲ ماه پس از تزریق، تأثیرات بهبودی آن بیشتر خواهد شد. از سویی بیلی و همکاران [۵] در مطالعه خود گزارش کرده‌اند که مداخلات غیرجراحی، تأثیر چندانی بر بهبود درد و ناتوانی عملکردی در افراد در طولانی‌مدت نخواهد داشت و مداخلات جراحی، از جمله میکرودریسکتومی، نسبت به مراقبت‌های غیرجراحی برتری دارد که البته این نتایج ناهمسو با برآوردهای مطالعه حاضر است.

دامنه حرکتی در مفصل ران علی‌رغم آنکه در فاز نوسان اختلاف کمی بین ۲ پا نشان داد، اما در فاز استقرار، به‌ویژه در صفحه ترانسورس، تفاوت قابل توجهی در آن مشاهده شد. این امر می‌تواند نشان‌دهنده محدودیت در چرخش داخلی خارجی لگن، به علت کاهش کنترل عضلات تثبیت‌کننده در عمق لگن، نظیر گلوئوس مدیوس و پیریفورمیس باشد. از دیدگاه بیومکانیکی،

در عملکرد تقارنی اندام‌های تحتانی است که می‌تواند با الگوهای جبرانی ناشی از کاهش پایداری مرکزی یا تغییرات عضلانی پس از مداخله مرتبط باشد. علاوه بر این، دامنه حرکتی مفصل ران در صفحه ترانسورس در فاز استقرار تفاوت محسوسی بین ۲ اندام نشان داد (۱۳/۹۶) درجه در پای راست در مقابل ۸/۸۲ درجه در پای چپ، که ممکن است ناشی از تفاوت در الگوی درگیری عضلات اطراف لگن باشد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند افراد مبتلا به کم‌درد مزمن، به‌طور معمول دارای نقص در کنترل ناحیه لگن و تنه هستند که این موضوع بر الگوی حرکتی اندام تحتانی نیز تأثیرگذار است [۱۷، ۱۸].

در مفصل مچ پا، اگرچه در فاز نوسان تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نشد، اما در فاز استقرار در صفحات فرونتال و ترانسورس، اختلافی در حدود ۳/۵ درجه در دامنه حرکتی گزارش شد. این موضوع می‌تواند حاکی از نقش محدود، اما مؤثر این مفصل در اصلاح جبران‌های حرکتی ناشی از عدم تقارن در مفاصل پروگزیمال‌تر باشد. اهمیت این یافته زمانی بیشتر مشخص می‌شود که بدانیم کنترل حرکات مچ پا، به‌ویژه در فاز استنس، برای حفظ ثبات پاسچرال و توزیع مناسب نیرو در زنجیره حرکتی تحتانی ضروری است [۱۷، ۱۸].

یکی از نکات قابل توجه در یافته‌های این مطالعه، تأثیرپذیری بیشتر مفاصل زانو و مچ پا، نسبت به مفصل ران در مواجهه با عدم تقارن حرکتی است. این پدیده می‌تواند ناشی از نقش عملکردی متفاوت این مفاصل در راه رفتن باشد. به‌ویژه آنکه مفصل زانو، به‌عنوان نقطه محوری کنترل تعادل پویا، در برابر اختلالات ناشی از کمر یا لگن، آسیب‌پذیرتر عمل می‌کند. براساس تحقیقات

جدول ۴. شاخص تقارن حداکثر نیروی عکس‌العمل ۳ بعدی زمین بین پای راست و چپ پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت

شاخص تقارن در حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین (درصد)	راستای وارد شدن نیرو
۱۱۲/۰۹*	داخلی خارجی
۱۰/۵۵	قدامی خلفی
۲/۲۹**	عمودی

طب توانبخشی

* نشان‌دهنده کمترین میزان تقارن و ** نشان‌دهنده بیشترین میزان تقارن است

از جمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به طراحی موردی، عدم ارزیابی در ۲ مرحله پیش و پس از تزریق و نداشتن پیگیری طولی اشاره کرد که تعمیم نتایج را محدود می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده، به بررسی اثر تزریق پلاسمای غنی از پلاکت در قالب کارآزمایی‌های بالینی و ارزیابی‌های طولی و به صورت پیش‌آزمون پس‌آزمون پردازند و نیز تأثیر سایر مداخلات مکمل درمانی غیرجراحی و تهاجمی را بررسی کنند. همچنین ممکن است در تحقیقات آینده مشخص شود که ترکیب مداخله پلاسمای غنی از پلاکت با تمرینات تخصصی مبتنی بر بازآموزی حرکتی بتواند به بهبود مؤثرتر تقارن عملکردی و بازسازی کامل تر الگوی راه رفتن کمک کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه موردی نشان می‌دهد مداخله درمانی با تزریق پلاسمای غنی از پلاکت در یک بیمار مبتلا به کمردرد مزمن پس از ۱ سال دیسککتومی، می‌تواند به بهبود نسبی در برخی شاخص‌های بیومکانیکی راه رفتن منجر شود. با این حال شواهد بیومکانیکی حاصل از تحلیل حرکت سه‌بعدی و نیروهای عکس‌العمل زمین نشان می‌دهد اصلاح کامل ناهنجاری‌های حرکتی و بازگشت به الگوی حرکتی متقارن و پایدار، به‌ویژه در مؤلفه‌های کنترل جانبی و تعادل دینامیک، صرفاً با مداخله زیستی حاصل نمی‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد حصول نتایج درمانی پایدار و بازایی بهینه عملکرد حرکتی، نیازمند به‌کارگیری رویکردهای ترکیبی و چندبُعدی باشد. علاوه بر این، شاخص تقارن به‌عنوان ابزار کمی و عینی در ارزیابی‌های کلینیکی راه رفتن می‌تواند نقش مهمی در پایش روند بازتوانی و سنجش اثربخشی مداخلات ایفا کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه خوارزمی در نظر گرفته شده است.

حامی مالی

این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان تأمین‌کننده مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

توانایی چرخش لگن در صفحه عرضی، نقشی کلیدی در فاز استقرار دارد، چرا که هماهنگی بین چرخش لگن و تنه، برای حفظ مرکز فشار در محدوده تعادل ضروری است [۲۱]. کاهش دامنه حرکتی در این محور ممکن است منجر به استراتژی‌های جبرانی در سطوح پایین‌تر زنجیره حرکتی، مانند زانو و مچ پا شود که یافته‌های مطالعه حاضر نیز آن را تأیید می‌کنند.

در بخش تحلیل کینتیکی سیمتری راه رفتن، تفاوت زیاد در نیروی عکس‌العمل زمین در راستای داخلی خارجی ($84/37$ نیوتن در پای چپ در مقابل $23/76$ نیوتن در پای راست) و شاخص تقارن، بیش از ۱۱۲ درصد نشان از عدم تعادل بالا در سمت‌های جانبی بود. این یافته می‌تواند بیانگر پایداری نامتقارن، حین ایستادن و گام‌برداری باشد که احتمالاً از اختلال در توزیع بارگذاری ناشی می‌شود. از طرفی، نتایج، حاکی از این بود که شاخص‌های تقارن نیرو در راستاهای عمودی ($2/29$ درصد) و قدامی خلفی ($10/55$ درصد) در محدوده قابل قبول قرار داشتند که این امر می‌تواند ناشی از بازگشت نسبی عملکرد فشاری و پیش‌رانی، پس از تزریق پلاسمای غنی از پلاکت باشد. با این حال، وجود ناهماهنگی در راستای جانبی، حاکی از آن است که بهبودهای ایجادشده در نتیجه مداخلات درمانی غیرجراحی تزریقی چون پلاسمای غنی از پلاکت، ممکن است در همه ابعاد عملکردی یکنواخت نباشد.

از سوی دیگر نیز این موضوع می‌تواند بیانگر استراتژی جبرانی حرکتی برای پایداری مرکز جرم بدن حین راه رفتن باشد. در شرایطی که کنترل جانبی تنه و لگن مختل شود، فرد، ناچار به جابه‌جایی بیش‌ازحد وزن به یک سمت، برای ایجاد تعادل دینامیک می‌شود که منجر به اعمال نیروی جانبی نابرابر در دو اندام تحتانی و در نتیجه عدم تقارن خواهد شد. از منظر بیومکانیکی، این الگو، بیانگر افزایش ممان چرخشی اضافی در سطح مفصل ران و فشار بر ساختارهای بافت نرم، نظیر لیگامان‌های کولترال زانو است که در درازمدت می‌تواند منجر به آسیب‌های ثانویه نیز بشود. مطالعات گذشته نشان داده‌اند کمردرد مزمن عموماً همراه با اختلالاتی در الگوی راه رفتن، به‌خصوص نیروهای عکس‌العمل زمین بین اندام تحتانی راست و چپ است [۶]. با این حال در مطالعه حاضر دیده شد مداخلات غیرجراحی می‌تواند به بهبود تقارن نیروی عکس‌العمل زمین، بین پای راست و چپ، حداقل در ۲ صفحه حرکتی منجر شود که این یافته‌ها همسو با نتایج تحقیق کریکوکایاس و همکاران [۲۲] بود که در مطالعه خود گزارش کردند جهت بهبود عدم تقارن در متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی الگوی راه رفتن در پای راست و چپ، مداخلات غیرجراحی می‌تواند مفید باشد.

علاوه بر این در برخی مطالعات گذشته نیز نشان داده شد که عدم تقارن در صفحه جانبی می‌تواند پس از گذشت ۲ ماه و با افزایش میزان تأثیرات تزریق پلاسمای غنی از پلاکت، کمتر شده و رو به بهبودی برود [۱۲، ۸، ۶].

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی افرادی که در این مطالعه شرکت کردند، تشکر و قدردانی می کنند.

References

- [1] Bagg MK, Wand BM, Cashin AG, Lee H, Hübscher M, Stanton TR, et al. Effect of graded sensorimotor retraining on pain intensity in patients with chronic low back pain: A randomized clinical trial. *JAMA*. 2022; 328(5):430-9. [DOI:10.1001/jama.2022.9930] [PMID]
- [2] da CMCL, Maher CG, Hancock MJ, McAuley JH, Herbert RD, Costa LO. The prognosis of acute and persistent low-back pain: a meta-analysis. *CMAJ*. 2012; 184(11):E613-24. [DOI:10.1503/cmaj.111271] [PMID]
- [3] Prasad GL, Menon GR. Post-discectomy annular pseudocyst: A rare cause of failed back syndrome. *Neurology India*. 2017; 65(3):650-2. [DOI:10.4103/neuroindia.NI_558_16] [PMID]
- [4] Fu Y, Ying-Chao Y, Xuan-Liang R, and Qu H-B. Analysis of chronic low back pain caused by lumbar microinstability after percutaneous endoscopic transforaminal discectomy: A retrospective study. *Journal of Pain Research*. 2022; 15:2821-31. [DOI:10.2147/JPR.S380060] [PMID]
- [5] Bailey CS, Glennie A, Rasoulinejad P, Kanawati A, Taylor D, Sequeira K, Miller T, et al. Discectomy compared with standardized nonoperative care for chronic sciatica due to a lumbar disc herniation: A secondary analysis of a randomized controlled trial with 2-year follow-up. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. 2021; 103(23):2161-9. [DOI:10.2106/JBJS.21.00448] [PMID]
- [6] Chang MC, Park D. The effect of intradiscal platelet-rich plasma injection for management of discogenic lower back pain: A meta-analysis. *Journal of Pain Research*. 2021; 14:505-12. [DOI:10.2147/JPR.S292335] [PMID]
- [7] Erdem MN, Erken HY, Aydogan M. The effectiveness of non-surgical treatments, re-discectomy and minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in post-discectomy pain syndrome. *Journal of Spine Surgery*. 2018; 4(2):414. [DOI:10.21037/jss.2018.04.02] [PMID]
- [8] Akeda K, Yamada J, Linn ET, Sudo A, Masuda K. Platelet-rich plasma in the management of chronic low back pain: A critical review. *Journal of Pain Research*. 2019; 12:753-67. [DOI:10.2147/JPR.S153085] [PMID]
- [9] Gupta S, Paliczak A, Delgado D. Evidence-based indications of platelet-rich plasma therapy. *Expert Review of Hematology*. 2021; 14(1):97-108. [DOI:10.1080/17474086.2021.1860002] [PMID]
- [10] Rathinam C, Bateman A, Peirson J, Skinner J. Observational gait assessment tools in paediatrics-A systematic review. *Gait & Posture*. 2014; 40(2):279-85. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2014.04.187] [PMID]
- [11] Tsiara AA, Plakias S, Kokkotis C, Veneri A, Mina MA, Tsiakiri A, et al. Artificial intelligence in the diagnosis of neurological diseases using biomechanical and gait analysis data: A scopus-based bibliometric analysis. *Neurology International*. 2025; 17(3):45. [DOI:10.3390/neurolint17030045] [PMID]
- [12] Levi D, Horn S, Tyszkowski S, Levin J, Hecht-Leavitt C, Walko E. Intradiscal platelet-rich plasma injection for chronic discogenic low back pain: Preliminary results from a prospective trial. *Pain Medicine*. 2015; 17(6):1010-22. [DOI:10.1093/pm/pnv053] [PMID]
- [13] Protopapadaki A, Drechsler WI, Cramp MC, Coutts FJ, Scott OM. Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals. *Clinical Biomechanics*. 2007; 22(2):203-10. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2006.09.010] [PMID]
- [14] Wu G, van der Helm FC, Veeger HE, Makhsous M, Van Roy P, Anglin C, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion--Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*. 2005; 38(5):981-92. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2004.05.042] [PMID]
- [15] Crenshaw SJ, Richards JG. A method for analyzing joint symmetry and normalcy, with an application to analyzing gait. *Gait & Posture*. 2006; 24(4):515-21. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2005.12.002] [PMID]
- [16] Seo H, Pham HTTL, Golabchi A, Seo J, Han S. A case study of motion data-driven biomechanical assessment for identifying and evaluating ergonomic interventions in reinforced-concrete work. *Developments in the Built Environment*. 2023; 16:100236. [DOI:10.1016/j.dibe.2023.100236]
- [17] Castro-Méndez A, Requelo-Rodríguez I, Pabón-Carrasco M, González-Elena ML, Ponce-Blandón JA, Palomo-Toucedo IC. A case-control study of the effects of chronic low back pain in spatiotemporal gait parameters. *Sensors*. 2021; 21(15):5247. [DOI:10.3390/s21155247] [PMID]
- [18] Cusack J, Shtofmakher G, Kilfoil RL, Vu S. Improved step length symmetry and decreased low back pain with the use of a rocking-soled shoe in a patient with unilateral hallux rigidus. *BMJ Case Reports*. 2014; 2014:bcr2014206408. [DOI:10.1136/bcr-2014-206408] [PMID]
- [19] Soloway S, Soloway AM, Chin TG, Lieske T. Rare case studies of bilateral and symmetric sacroiliac disease. *Case Reports in Rheumatology*. 2024; 2024:8893089. [DOI:10.1155/2024/8893089] [PMID]
- [20] Taniguchi M, Tateuchi H, Ibuki S, Ichihashi N. Relative mobility of the pelvis and spine during trunk axial rotation in chronic low back pain patients: A case-control study. *Plos One*. 2017; 12(10):e0186369. [DOI:10.1371/journal.pone.0186369] [PMID]
- [21] Haghighat F, Ebrahimi S, Rezaie M, Shafiee E, Shokouhyan SM, Motealleh A, et al. Trunk, pelvis, and knee kinematics during running in females with and without patellofemoral pain. *Gait & Posture*. 2021; 89:80-5. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2021.06.023] [PMID]
- [22] Krekoulakis G, Sakellari V, Anastasiadi E, Giotsos G, Dimitriadis Z, Soultanis K, et al. Gait kinetic and kinematic changes in chronic low back pain patients and the effect of manual therapy: A randomized controlled trial. *Journal of Clinical Medicine*. 2021; 10(16):3593. [DOI:10.3390/jcm10163593] [PMID]

This Page Intentionally Left Blank