

Research Paper



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

Ghodsiyeh Khazaei¹ , *Saeed Ilbeigi¹ , Marziyeh Saghebjoor¹ , Abbas Farjad Pezeshk¹

1. Department of Sports Science, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.



Citation: Khazaei G, Ilbeigi S, Saghebjoor 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>

<https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.2.264>



Article Info:

Received: 18 July 2025

Accepted: 22 December 2025

Available Online: 31 December 2025

Keywords:

Total body resistance training, Curcumin supplementation, Chronic nonspecific low back pain, Ground reaction forces, Center of pressure

ABSTRACT

Objective Chronic nonspecific low back pain (NSCLBP) is commonly associated with altered gait mechanics and impaired postural control, particularly in overweight and obese individuals. Resistance-based training such as TRX and anti-inflammatory supplements like curcumin may offer therapeutic benefits. This study investigated the effects of a six-week TRX training program combined with curcumin supplementation on ground reaction forces and center of pressure measures during walking and static standing in overweight and obese women with NSCLBP.

Methods This quasi-experimental, pretest–posttest study included 36 overweight and obese women with NSCLBP, who were randomly assigned to three groups: control ($n = 12$), TRX training plus curcumin supplementation ($n = 12$), and TRX training plus placebo ($n = 12$). GRF variables, dynamic COP measures during walking, and static COP parameters were assessed at baseline and after the six-week intervention. The TRX training protocol was performed three times per week by both training groups, with either curcumin or placebo supplementation administered throughout the intervention period. Between-group differences in outcome changes ($\Delta = \text{posttest} - \text{pretest}$) were analyzed using one-way analysis of variance, with the significance level set at $P \leq 0.05$.

Results The results indicated that six weeks of TRX training, irrespective of supplementation, led to significant reductions in selected GRF variables during walking compared with the control group ($P \leq 0.05$). In contrast, no significant between-group differences were observed for dynamic COP measures during walking or for static postural COP parameters following the intervention.

Conclusion A six-week TRX training program, with or without curcumin supplementation, effectively reduced ground reaction forces during walking in overweight and obese women with NSCLBP. However, neither TRX training nor curcumin supplementation produced significant changes in dynamic or static COP measures. These findings suggest that TRX-based resistance training may primarily influence kinetic aspects of gait rather than postural control mechanisms in this population.

* Corresponding Author:

Saeed Ilbeigi

Address: Department of Sports Science, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

E-mail: silbeigi@Birjand.ac.ir

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/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

Low back pain (LBP) is defined as pain or discomfort localized between the lower costal margin and the gluteal folds, with or without radiation to the lower extremities (1). Among its various subtypes, nonspecific low back pain accounts for the majority of cases, as no identifiable pathological cause can be determined in most patients (2). Despite the absence of a clear structural diagnosis, nonspecific low back pain is frequently accompanied by biomechanical alterations, including changes in gait mechanics, loading patterns, and postural control strategies (4).

Epidemiological evidence indicates that women with higher body mass index (BMI) exhibit a greater prevalence of low back pain, suggesting a potential interaction between excess body mass, altered movement mechanics, and spinal loading (5). Individuals with low back pain often adopt slower walking speeds as a protective strategy, which may paradoxically increase vertical ground reaction forces during gait and impose greater mechanical demands on the musculoskeletal system (6). In addition, patients with chronic nonspecific low back pain (NSLBP) demonstrate reduced postural stability compared with healthy individuals, and this instability appears to be closely associated with pain severity and sensorimotor dysfunction (9). NSLBP has also been identified as a condition that disrupts balance control across the lifespan, particularly in the presence of age- and weight-related neuromuscular decline (10).

Given the altered force transmission and pressure distribution observed during walking in individuals with NSLBP, therapeutic interventions aimed at modifying ground reaction force characteristics have gained increasing attention (12). Exercise-based interventions are widely recognized as effective strategies for improving functional performance, reducing pain, and enhancing neuromuscular control in patients with low back pain (13,14). Among these approaches, total body resistance exercise using suspension systems such as TRX has been proposed to enhance core stability, muscle coordination, and load distribution during dynamic tasks.

In parallel, growing interest has emerged in the use of herbal and nutritional supplements as adjunctive therapies for musculoskeletal disorders. Curcumin, a bioactive polyphenolic compound derived from turmeric, exhibits well-documented antioxidant and anti-inflammatory properties and has been investigated for its potential role in pain modulation and tissue protection (19). Previous research has reported that specific formulations of curcumin, such as nanobubble curcumin extract, may reduce peak vertical ground reaction forces during walking, thereby potentially lowering mechanical stress on the lower limb musculoskeletal system (20). However, existing studies have predominantly examined the effects of either resistance training or curcumin supplementation in isolation. For example, prior investigations by Gulmez et al. (2017), Peng et al. (2019), Doyle et al. (2023), and Senpasit et al. (2023) have focused on single-modality interventions, limiting insight into potential synergistic effects (17,20–22). To date, the combined influence of TRX-based resistance training and curcumin supplementation on gait kinetics and postural control in individuals with NSLBP remains largely unexplored.

Therefore, the present study aimed to investigate whether six weeks of total body TRX resistance training combined with curcumin supplementation would influence ground reaction forces and center of pressure behavior during walking and static standing in overweight and obese women with chronic nonspecific low back pain.

2. Methods

The statistical population of this study consisted of women with chronic nonspecific low back pain (NSLBP) who had attended specialized orthopedic clinics in Birjand, Iran, for the treatment of chronic low back pain during the previous year. The study adopted a quasi-experimental pretest–posttest design. A total of 36 overweight and obese women (mean age: 44 years) who met the inclusion criteria were recruited and randomly allocated into three groups of equal size ($n = 12$): a control group, a TRX training plus curcumin supplementation group (Training + Curcumin), and a TRX training plus placebo group (Training + Placebo). Prior to participation, written informed consent was obtained from all participants, and the study protocol complied with ethical standards for research involving human subjects. Inclusion criteria included a body mass index (BMI) greater than 25 kg/m², physician-confirmed diagnosis of chronic nonspecific low

back pain, absence of a history of lumbar surgery, lumbar disc herniation, congenital structural abnormalities, or acute spinal trauma, and no use of sedative or analgesic medications during the study period. Additional exclusion criteria for participants assigned to the curcumin group included a history of active gastric ulcer, gastrointestinal bleeding, gallstones or bile duct obstruction, and the use of anticoagulants, hydantoin, lithium, corticosteroids, methotrexate, or colchicine (23).

Ground reaction forces (GRFs) during walking were recorded using an Iranian-manufactured force plate (Danesh Salar Iranian, model DSI). Participants initiated walking approximately seven steps before reaching the force plate to ensure a steady-state gait pattern, and data were sampled at a frequency of 200 Hz to capture natural walking dynamics (24). Each participant completed three successful walking trials, during which they contacted the force plate naturally without targeting it and continued walking beyond the platform. Heel contact and toe-off events were identified using a vertical GRF threshold of 10 N (25). Static center of pressure (COP) variables were assessed by instructing participants to stand quietly on the force plate for 10 seconds. Temporal characteristics of GRF and COP variables were normalized to the percentage of total foot-ground contact time and processed using MATLAB software (MATLAB R2010b; MathWorks Inc., Natick, MA, USA).

Participants in the Training + Curcumin and Training + Placebo groups completed a six-week TRX-based resistance training program consisting of three supervised sessions per week at an intensity of 50–60% of maximal heart rate. Each session included a 10-minute warm-up involving stretching exercises targeting the lower back, pelvis, gluteal muscles, and thighs, followed by 40–60 minutes of TRX exercises and a 5-minute cool-down period (26). Throughout the intervention period, participants in the Training + Curcumin group consumed 500 mg curcumin capsules daily, whereas those in the Training + Placebo group received visually identical placebo capsules (23,27).

3. Results

The results of the present study indicated that six weeks of TRX training, with or without curcumin supplementation, led to significant reductions in selected ground reaction force variables during walking in overweight and obese women with chronic nonspecific low back pain ($P \leq 0.05$). However, no significant between-group differences were observed for center of pressure measures during walking or during static standing. In addition, no statistically significant differences were found between the Training + Curcumin and Training + Placebo groups in any of the assessed outcome variables (Table 1).

4. Discussion

The findings of this study indicate that a six-week TRX-based resistance training program, with or without curcumin supplementation, significantly reduced ground reaction force variables during walking in overweight and obese women with chronic nonspecific low back pain. In contrast, no significant effects were observed on center of pressure measures during either walking or quiet standing. These results suggest that TRX training primarily influences gait kinetics rather than postural control parameters in this population. Furthermore, curcumin supplementation at a daily dose of 500 mg did not provide additional benefits beyond those achieved through TRX training alone. Future studies with longer intervention periods and more sensitive balance assessments may help clarify the potential role of nutritional supplementation in postural control adaptations.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved with the ethics code IR.BIRJAND.REC.1402.005 of the University of Birjand and can also be viewed on the website of the National System of Ethics in Biomedical Research.

Funding

This article is extracted from the master's thesis of Ghodsiyeh Khazaei, in the Department of Physiology, University of Birjand. It has not received any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflict of interest associated with this study.

Table 1. Results of Tukey's post hoc test regarding the location of the difference in ground reaction forces during walking and some variables of changes in the center of pressure in the static state between the pre-test and post-test results in the three groups

Variable	Group	P
First peak force (N/Kg)	Control * Training+Curcumin	0.26
	Control * Training+Placebo	*0.006
	Training+Curcumin * Training+Placebo	0.33
Second peak of force (N/Kg)	Control * Training+Curcumin	0.29
	Control * Training+Placebo	*0.005
	Training+Curcumin * Training+Placebo	0.29
Third peak of power (N/Kg)	Control * Training+Curcumin	0.35
	Control * Training+Placebo	*0.004
	Training+Curcumin * Training+Placebo	0.2
Time to reach the first peak of Force (ms)	Control * Training+Curcumin	0.39
	Control * Training+Placebo	*0.001
	Training+Curcumin * Training+Placebo	*0.03
Time to reach the second peak of Force (ms)	Control * Training+Curcumin	0.41
	Control * Training+Placebo	*0.001
	Training+Curcumin * Training+Placebo	*0.01
Time to reach the third peak of Force (ms)	Control * Training+Curcumin	0.44
	Control * Training+Placebo	*0.01
	Training+Curcumin * Training+Placebo	*0.002
HST (Heel Strike Transition) (ms)	Control * Training+Curcumin	0.99
	Control * Training+Placebo	*0.001
	Training+Curcumin * Training+Placebo	*0.001
Rate Force Development (N/Kg/s)	Control * Training+Curcumin	0.93
	Control * Training+Placebo	*0.001
	Training+Curcumin * Training+Placebo	*0.03
First peak of anterior-posterior force (N/Kg)	Control * Training+Curcumin	0.99
	Control * Training+Placebo	*0.04
	Training+Curcumin * Training+Placebo	*0.05
Second peak of the anterior-posterior force	Control * Training+Curcumin	0.44
	Training+Curcumin * Training+Placebo	

مقاله پژوهشی

تأثیر شش هفته تمرینات مقاومتی TRX با و بدون مصرف کورکومین بر نیروهای عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز فشار در زنان دارای اضافه‌وزن مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی

قدسیه خزاعی^۱، سعید ایل‌بیگی^۱، مرضیه ثاقب‌جو^۱، عباس فرجاد پزشکی^۱

۱. گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

Use your device to scan and read the article online

**Citation:** Khazaei G, Ilbeigi S, Saghebjo 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> <https://doi.org/10.61882/JSportBiomech.12.2.264>

چکیده

هدف کمردرد مزمن غیراختصاصی یکی از اختلالات اسکلتی عضلانی شایع است. تمرینات مقاومتی مانند تمرین مقاومتی کل بدن (TRX) می‌تواند موجب بهبود این بیماری می‌شود. علاوه بر این، تأثیر طب گیاهی از جمله کورکومین در درمان مشکلات کمردرد حائز اهمیت است. هدف این پژوهش، بررسی اثر شش هفته تمرین TRX و مکمل کورکومین بر نیروهای عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز فشار حین راه رفتن و تغییرات مرکز فشار در وضعیت ایستا در زنان دارای اضافه‌وزن و چاق مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی بود.

روش‌ها پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی و طرح پژوهش پیش‌آزمون-پس‌آزمون است که بر روی ۳۶ زن دارای کمردرد مزمن غیراختصاصی در سه گروه کنترل (۱۲)، تمرین+کورکومین (۱۲) و تمرین+دارونما (۱۲) انجام شد. شاخص‌های نیروهای عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز فشار حین راه رفتن و تغییرات مرکز فشار در وضعیت استاتیک در ۲ مرحله (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) سنجش و ارزیابی شد. گروه‌های تمرین+کورکومین و تمرین+دارونما، تمرینات را در شش هفته انجام دادند. آنالیز آماری یافته‌های پژوهش با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه صورت گرفت ($P \leq 0.05$).

یافته‌ها نتایج آماری نشان داد؛ شش هفته تمرین TRX و مکمل کورکومین منجر به کاهش معنی‌داری در متغیرهای نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن شد ($P \leq 0.05$). شد؛ اما تفاوت معنی‌داری در تغییرات مرکز فشار حین راه رفتن و وضعیت استاتیک یافت نشد.

نتیجه‌گیری تمرین TRX و مکمل کورکومین باعث اثربخشی و بهبود (کاهش) نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن آزمودنی‌ها شد. از این‌رو به نظر می‌رسد تمرین TRX و مکمل کورکومین یکی از روش‌های مؤثر جهت بهبود شرایط بیماران مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی و دارای اضافه‌وزن و چاق باشد.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۷ تیر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱ دی ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۱۰ دی ۱۴۰۴

کلید واژه‌ها:

تمرین مقاومتی کل بدن، مکمل کورکومین، کمردرد مزمن غیراختصاصی، نیروهای عکس‌العمل زمین، تغییرات مرکز فشار

*نویسنده مسئول:

سعید ایل‌بیگی

آدرس: گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

ایمیل: silbeigi@Birjand.ac.ir

مقدمه

کمردرد یک ناراحتی دردناک بین آخرین دنده و چین‌های سרینی بزرگ با یا بدون درد در ناحیه پاهاست (۱). یکی از انواع کمردرد، نوع غیراختصاصی آن است که درصد زیادی از بیماران کمردرد در گروه کمردرد غیراختصاصی قرار می‌گیرند (۲). براین اساس زمانی که درد ناحیه کمری شاخص درد^۱ VAS بالای ۲ باشد و حداقل در ۶ ماه گذشته یا بیشتر طول کشیده و توسط پزشک تأیید شده باشد، کمردرد مزمن غیراختصاصی نامیده می‌شود (۳) در این بیماری علائمی مانند تغییرات بیومکانیکی ظاهر می‌شوند (۴). ضمن اینکه مطالعات نشان دادند که زنان با BMI بالاتر شیوع کمردرد بیشتری دارند (۵). از آنجایی که افراد مبتلا کمردرد تمایل دارند به آرامی راه بروند در نتیجه باعث افزایش نیروهای عمودی حین راه رفتن می‌شود (۶). نیروهای عکس‌العمل زمین یکی از پارامترهای مکانیکی است که در آسیب‌پذیری افراد حین راه رفتن نقش قابل توجهی دارد. این پارامترهای بیومکانیکی، معمولاً با شناسایی نقاط گسسته مکانی و زمان‌های مربوط به وقوع آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. این رویکرد به عنوان تحلیل دامنه زمان شناخته می‌شود و تجزیه و تحلیل حوزه زمان به تنهایی، نقاط گسسته را به جای ساختار کلی داده‌ها بررسی می‌کند (۷). تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از نیروهای عکس‌العمل زمین برای ارزیابی محتوای سیگنال‌های سالم و پاتولوژیک راه رفتن استفاده می‌شود (۸). ضمن اینکه، بیماران مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی یا NSLBP^۲ نسبت به افراد سالم بی‌ثباتی وضعیتی بیشتری را نشان می‌دهند و این کاهش ثبات وضعیتی در مبتلایان به NSLBP بیشتر با درد مرتبط است (۹) و این بیماری از جمله موارد مرتبط با افزایش سن است که تعادل را بر هم می‌زند (۱۰). این بیماران دچار نقص در اجزای فیزیولوژی آوران و وایران کنترل کننده تعادل و افزایش سفتی، کاهش قدرت و استقامت عضلات هستند و اختلال در تعادل در بیماران مبتلا به کمردرد به طور مکرر گزارش شده است (۱۱). امروزه با توجه به تغییر نیروها و فشارهای وارده در بیماران کمردرد در طی راه رفتن، استفاده از تداخلات درمانی جهت اصلاح طیف فرکانس نیروهای عکس‌العمل زمین اهمیت ویژه‌ای دارد (۱۲). شواهد نشان داده‌اند که فعالیت ورزشی سبب بهبود عملکرد بیماران مبتلا به کمردرد است. از این رو به فعالیت ورزشی به عنوان بحث مهمی از رویکرد چندمرحله‌ای درمان کمردرد مزمن توجه می‌شود (۱۳، ۱۴). تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که برنامه‌های توان بخشی آسیب‌های ناحیه کمر شامل تمرینات ثبات مرکزی و تعادلی و تعلیقی، تمرکز آن بر بهبود عضلات مرکزی است (۱۵). در واقع سیستم تمرین مقاومتی کل بدن (TRX)^۳ روشی منحصربه‌فرد برای ایجاد قدرت، استقامت و تناسب اندام کلی بدون نیاز به بلند کردن وزنه‌های سنگین است. همچنین نتایج تحقیقی در زنان دارای اضافه وزن و چاق نشان می‌دهد تمرین TRX مؤثر در بهبود شاخص‌های ترکیب بدن آن‌هاست (۱۶). در تمرین TRX قدرت و تعادل به شکل پویایی با هم تلفیق می‌شوند و سیستم عصبی را به چالش می‌کشد همچنین با افزایش بارگذاری روی بندهای TRX، بارهای وارده بر نیرو پلت فرم به طور پیوسته کاهش می‌یابد. بنابراین به طور کلی ویژگی لازم برای کاهش مشکلات بیماران مبتلا به کمردرد مزمن را دارد (۱۷). با توجه به رشد تولیدات پژوهشی در زمینه استفاده از مکمل گیاهی در علوم میان‌رشته‌ای، در کنار نتایج مثبت، استفاده از این مکمل‌ها پیشنهاد می‌شود (۱۸). کورکومین یک ترکیب گیاهی مشتق شده از زردچوبه است که دارای فعالیت زیستی چندمنظوره و رایج‌ترین و فراوان‌ترین پلی‌فنول با خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی قوی است (۱۹). در تحقیقی اثر مصرف نوعی کورکومین، عصاره کورکومین آب نانوحباب NCE بر کاهش میزان اوج نیروی واکنش

1. Visual Analog Scale
2. Body Mass Index
3. Non-specific low back pain
4. Total Resistance Exercises

عمودی زمین PVGRF یافت شد. بنابراین، این ماده می‌تواند خطر سیستم اسکلتی-عضلانی را در اندام تحتانی کاهش دهد (۲۰). در تحقیقات گذشته، محققان تنها به بررسی یک فاکتور (تمرین TRX یا مکمل کورکومین) در مطالعات خود پرداختند؛ به‌گونه‌ای که به پژوهش‌های گلمز و همکاران (۲۰۱۷) (۱۷)، پنگ و همکاران (۲۰۱۹) (۲۰)، دوئل و همکاران (۲۰۲۳) (۲۱)، سنپاسیت و همکاران (۲۰۲۳) (۲۲) به‌عنوان پیشینه پژوهش می‌توان اشاره کرد. در این پژوهش سعی شده تا اثرات هم‌زمان TRX و کورکومین تعیین شود. اگرچه انتظار می‌رود، از لحاظ منطقی با تأثیرات مثبت یاد شده در هر دو مورد، ترکیب این دو حالت (TRX و کورکومین) نسبت به هر کدام به‌تنهایی اثر مثبت بیشتری داشته باشد، اما شواهد علمی کافی برای اثبات این مسئله در دسترس نیست بنابراین این سؤال مطرح می‌شود که آیا شش هفته تمرین مقاومتی کل بدن TRX و مکمل کورکومین (به‌طور هم‌زمان) بر روی نیروهای عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز فشار در وضعیت استاتیک و حین راه رفتن تأثیرگذار است یا خیر؟

روش شناسی

جامعه آماری این پژوهش را زنان مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی شهرستان بیرجند تشکیل داده‌اند که طی یک سال گذشته برای درمان کمردرد مزمن به کلینیک‌های تخصصی ارتوپدی مراجعه کرده‌اند. روش پژوهش از نوع نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون است. جهت تعیین حجم نمونه‌ها از نرم‌افزار G-power با اطمینان ۹۵٪، آلفای ۰/۰۵ و توان آماری ۸۰٪ و اندازه اثر ۰/۵۷ (بزرگ و قوی) استفاده شده است. بر این اساس، در مجموع ۳۶ فرد با میانگین سنی ۴۴ سال بر اساس تصادفی‌سازی ساده در سه گروه ۱۲ نفری شامل: ۲ گروه تجربی متشکل از تمرین+کورکومین (۱۲ نفر) و تمرین+دارونما (۱۲ نفر) و یک گروه کنترل (۱۲ نفر) تقسیم شدند. قبل از شروع مطالعه، ابتدا از آزمودنی‌ها رضایت‌نامه کتبی گرفته شد و همچنین کلیه پروتکل‌های اخلاقی در خصوص کار با بیماران مورد توجه قرار گرفت. معیارهای ورود به پژوهش شامل: شاخص توده بدنی BMI بیشتر از ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع، دارای کمردرد مزمن غیراختصاصی و تأیید آن توسط پزشک، عدم سابقه جراحی، فتق دیسک کمری، ناهنجاری ساختاری مادرزادی و ضربه حاد به ستون فقرات و عدم مصرف داروهای آرام‌بخش و مسکن طی پژوهش بود. آزمودنی‌ها طی فراخوان جهت اعلام حضور در مداخله پژوهش اعلام آمادگی کرده‌اند و پس از بررسی وضعیت سلامت جسمانی توسط پرسش و پاسخ و تکمیل فرم‌های فعالیت بدنی PAR-Q^۲ و پرسشنامه سابقه پزشکی یک روز قبل از اجرای تمرینات در یک جلسه توجیهی به‌منظور آشنایی با روال فعالیت‌ها و رفع ابهامات برای ایشان شرح داده شده است که اقدام بعدی در همان جلسه، اندازه‌گیری ویژگی‌های آنتروپومتری مانند قد، وزن و شاخص توده بدنی BMI، نیروهای عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز فشار در وضعیت استاتیک و حین راه رفتن سنجیده شد. به‌گونه‌ای که جهت اندازه‌گیری نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن، از دستگاه صفحه نیروسنج دانش سالار ایرانیان مدل DSI ساخت کشور ایران استفاده شد نقطه شروع به فاصله هفت قدم تا رسیدن به صفحه نیرو است. تا فرد سیکل راه رفتن طبیعی خود را پیدا کند فرکانس دستگاه روی ۲۰۰ هرتز تنظیم می‌شود (۲۴). ضمن اینکه این آزمون سه بار اجرا شده و در حین سیکل طبیعی راه رفتن آزمودنی وارد فورس پلیت شده در راستای خط Y قرار داده و از آن عبور کرده است. بعد از اتمام مراحل آزمون و برای تعیین مراحل برخورد پاشنه پا تکیه‌گاه با زمین و جدایی پنجه از زمین از آستانه نیرو عمودی عکس‌العمل زمین ۱۰ نیوتن استفاده شده است (۲۵)، سپس داده‌ها با استفاده از فیلتر باترورت مرتبه ۲ با فرکانس برش ۳۰ هرتز پایین‌گذر، فیلتر شده‌اند متغیرهایی که در این روش اندازه‌گیری شده‌اند شامل دودسته‌اند: ۱- تغییرات مرکز فشار یا تعادل حین راه رفتن و ۲- نیروهای

1. Peak Vertical Ground Reaction Force
2. Physical Activity Readiness Questionnaire

عکس‌العمل زمین حین راه رفتن هستند. تغییرات مرکز فشار در وضعیت ایستاده نیز با روش ایستادن روی صفحه نیرو و مکث به ۱۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. زمان بروز این متغیرها بر اساس درصدی از کل زمان برخورد پا با زمین با استفاده از نرم‌افزار ۲۰۱۰ متلب (R7.10.0.499. B Matlab) تعیین گردیده است.

براساس بررسی‌های انجام شده، پروتکل ۶ هفته‌ای تمرین TRX و مصرف مکمل (کورکومین- دارونما) برای گروه‌های تمرین+کورکومین و تمرین+دارونما اجرا شد. تمرین TRX به مدت ۶ هفته، هر هفته سه جلسه به‌طور متوسط تمرینات با شدت ۵۰-۶۵٪ حداکثر ضربان قلب پیشینه انجام شد. در ابتدا هر جلسه تمرین، بیماران به مدت ۱۰ دقیقه به گرم کردن که شامل حرکات کششی کمر، لگن، باسن و ران است و ۴۰-۶۰ دقیقه به تمرین و مدت ۵ دقیقه به سرد کردن تحت نظر مربی پرداختند (۲۶). ضمن اینکه گروه تمرین+کورکومین، روزانه یک عدد کپسول ۵۰۰ میلی‌گرمی کورکومین بعد از وعده غذایی ناهار (۲۷، ۲۳) با نام تجاری کورکوما، از شرکت سازنده دینه ایران و گروه تمرین+دارونما، بجای مکمل کورکومین، قرص آرد به همین میزان مصرف کردند. هر قرص کورکوما، حاوی ۴۵۰ میلی‌گرم پودر ریزوم (ساقه) زردچوبه و ۵۰ میلی‌گرم عصاره ریزوم زردچوبه، استاندارد شده براساس ۵۰ میلی‌گرم کورکومینوئید برحسب کورکومین می‌باشد. معیارهای ورود به تحقیق اختصاصی گروه تمرین+کورکومین شامل: عدم دارا بودن سابقه زخم فعال معده، نداشتن سابقه خونریزی دستگاه گوارش، عدم حساسیت به کورکومین، عدم ابتلا به سنگ کیسه صفرا و انسداد مجرای آن و عدم مصرف: ضد منعقدکننده‌ها، هیدانتوئین، لیتیوم، استروئیدها، متوترکسات و کلشیسین یا داروهای مسکن هم‌زمان به‌عنوان آرام‌بخش، الکل بیش از حد می‌باشد (۲۳) کلیه اطلاعات فوق، توسط پرسشنامه سابقه پزشکی در جلسه پیش‌آزمون اخذ شده است. به هر آزمودنی یادآوری شد که از مصرف بیش از اندازه زردچوبه به‌عنوان ادویه در غذا و مصرف داروی دیگری از مشتقات کورکومین خودداری کنند. ضمن اینکه، محدودیت‌های غیرقابل کنترل شامل، سوابق ژنتیکی و وراثتی آزمودنی‌ها، عدم توانایی اندازه‌گیری دقیق رژیم غذایی آزمودنی‌ها بخصوص مصرف زردچوبه (کورکومین) به‌عنوان ادویه در وعده غذایی و عوامل مداخله‌گر مانند شرایط آب و هوایی، سطح علاقه و انگیزه آزمودنی‌ها، استرس و فشارهای روانی و ترشحات غدد درون‌ریز بود. گروه کنترل هیچ مداخله‌ای در مدت ۶ هفته نداشتند. پس از پایان زمان مداخله، مجدد در مرحله پس‌آزمون مجدد آزمودنی‌های نامبرده شده از آزمودنی‌ها گرفته شده است، تا نتایج اثر شش هفته تمرین TRX و مکمل کورکومین بر متغیرهای نامبرده در زنان مبتلا به کمردرد مزمن غیراختصاصی مشخص شود. کورسازی جهت جلوگیری از اثرگذاری آگاهانه یا ناخودآگاه عوامل انسانی به شیوه یک سوکور تنها شرکت‌کنندگان از نوع درمان دریافتی بی‌اطلاع بودند- انجام شد. جدول ۱ پروتکل شش هفته‌ای تمرین ۶ هفته‌ای TRX را شرح داده است. مطابق جدول ۱، نوبت یا ست اجرای هر حرکت ۳ و تعداد تکرار یا زمان نگاه‌داشتن در همان حرکت به ترتیب، در دو هفته اول، ۱۰ تکرار و یا ۳۰ ثانیه، در دو هفته دوم، ۱۵ تکرار و یا ۴۰ ثانیه و در دو هفته پایانی، ۲۰ تکرار و یا ۶۰ ثانیه می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با گزارش ANOVA یک‌طرفه (پیش‌آزمون-پس‌آزمون Δ) توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ در سطح معنی‌داری کمتر از $P \leq 0.05$ انجام شده است.

جدول ۱. پروتکل تمرین TRX

هفته	نوبت × تکرار / ثانیه	حرکات	شدت (حداکثر ضربان قلب پیشینه)
۱-۲	۳×۱۰/۳۰	کشش و تقویت عضلات ایلئو پسواس، همسترینگ	۵۰٪
۳-۴	۳×۱۵/۴۰	پل زدن به پهلوی / پل زدن در وضعیت طاق‌باز لانچ اصلاح شده کوتاه / لانچ اصلاح شده بلند	۶۰٪
۵-۶	۳×۲۰/۶۰	پلانک اصلاح شده / دراز و نشست اصلاح شده اسکوات	۶۵٪

نتایج

اطلاعات دموگرافیک ۳۶ بیمار در جدول ۲ گزارش شد، این جدول میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های قد، وزن، سن و شاخص توده بدنی آزمودنی‌ها در هر گروه را نشان می‌دهد. همچنین در ادامه جدول، تست لون جهت بررسی برابری واریانس‌ها انجام شد. با توجه به نتایج آزمون برابری واریانس وجود دارد زیرا همه مقدار سطوح معنی‌داری از سطح خطای آزمون ۰/۰۵ بزرگ‌تر هستند.

بر اساس جداول ۳ تا ۵ نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (آنوا) در مقدار (پس‌آزمون - پیش‌آزمون = Δ) نشان می‌دهد، بین تمرینات TRX و مکمل کورکومین در برخی از متغیرهای تغییرات مرکز فشار یا تعادل تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P \leq 0/05$) و همچنین نشان داد بین تمرینات TRX و مکمل کورکومین در تمام شاخص نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P \leq 0/05$). جهت تعیین حجم نمونه‌ها از نرم‌افزار G-power نسخه ۳-۹-۱ با اطمینان ۹۵ درصد، آلفای ۰/۰۵ و توان آماری ۸۰ درصد و اندازه اثر ۰/۵۷ براساس آزمون و مبتنی بر پیشینه تحقیق (بزرگ و قوی) استفاده شده است. جدول ۶ نتایج آزمون تعقیبی توکی جهت مشخص شدن اختلاف بین گروهی در میانگین‌های مورد مطالعه گزارش می‌دهد. علاوه بر این، در شکل ۱ و ۲ میزان اختلافات میانگین آزمون تعقیبی تعیین شده است.

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر شش هفته تمرین TRX و مکمل کورکومین بر نیروهای عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز فشار در حالت استاتیک و حین راه رفتن در زنان دارای اضافه‌وزن و چاق و مبتلا به کم‌درد مزمن غیراختصاصی بوده. تعادل، قدرت حفظ مرکز جرم بدن در ناحیه سطح اتکا با کمترین نوسان و بیشترین ثبات است که به‌صورت ایستا (توانایی حفظ قامت در حالت سکون با کمترین حرکت)، نیمه‌پویا (توانایی حفظ تعادل هنگامی که سطح اتکا حرکت کند) و پویا (توانایی انجام فعالیت‌های مختلف هنگام حرکت) دسته‌بندی می‌شود. حرکت نیز توانایی تولید و حفظ تعادل بین وضعیت پویا و ایستا در زنجیره حرکتی است به‌گونه‌ای که الگوهای اساسی آن با دقت و کارایی مطلوب تولید شوند. از عوامل مهم در حفظ تعادل و حرکت در بدن می‌توان به وجود تعادل عضلانی مرکزی اشاره کرد. ناحیه مرکزی شامل عضلات شکم، عضلات اطراف ستون فقرات و سרینی، دیافراگم و عضلات کف لگن است. بیست‌ونه جفت عضله شرکت‌کننده در این ناحیه، حلقه عضلانی را تشکیل می‌دهند و به ثبات ستون فقرات، لگن و حین حرکات عملکردی کمک می‌کنند. هنگامی که این سیستم به‌درستی کار می‌کند، به انتقال مؤثر نیرو در زنجیره حرکتی منجر می‌شود. بدون وجود این عضلات، ستون فقرات از لحاظ مکانیکی بی‌ثبات است. هنگامی که عضلات شکم منقبض می‌شوند، فشار داخل شکمی افزایش می‌یابد و نیام پستی کمری را وادار به تنش می‌کند. این انقباض قبل از شروع حرکت اندام‌ها رخ می‌دهند تا به اندام‌ها اجازه دهند برای حرکت و فعال‌سازی سطحی پایدار عضلات داشته باشند.

جدول ۲. اطلاعات دموگرافیک آزمودنی‌ها

گروه‌ها	تعداد	سن	قد ایستاده (سانتی‌متر)	وزن	نمایه توده بدنی
(فراوانی)	(سال)		(کیلوگرم)	(کیلوگرم/مترمربع)	
تمرین+کورکومین	۱۲	۴۲/۸۲±۶/۹۸	۱۶۳/۶۴±۴/۹۰	۷۸/۰۹±۷/۱۵	۲۹/۲۴±۳/۳۳
تمرین+ دارونما	۱۲	۴۷/۳۳±۶/۵۹	۱۶۱/۲۵±۵/۳۶	۷۷/۷۵±۸/۸۵	۲۹/۹۳±۳/۳۵
کنترل	۱۲	۴۴/۲۵±۴/۹۹	۱۶۳/۵۸±۴/۰۳	۷۷/۳۳±۷/۶۶	۲۸/۹۶±۳/۳۴
Sig.	-	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۷۶

جدول ۳. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه در خصوص مقایسه نیروهای عکس العمل زمین حین راه رفتن در سه گروه

متغیر (واحد)	اختلافات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P
پیک اول نیرو (نیوتن بر کیلوگرم)	بین گروهی	۰/۴۰	۲	۰/۲۰	۵/۷۲	*۰/۰۰۷
	درون گروهی	۱/۱۶	۳۳	۰/۰۳		
	کل	۱/۵۶	۳۵	-		
پیک دوم نیرو (نیوتن بر کیلوگرم)	بین گروهی	۰/۴۶	۲	۰/۲۳	۵/۷۶	*۰/۰۰۷
	درون گروهی	۱/۳۳	۳۳	۰/۰۴		
	کل	۱/۷۹	۳۵	-		
پیک سوم نیرو (نیوتن بر کیلوگرم)	بین گروهی	۰/۵۸	۲	۰/۲۹	۶/۱۲	*۰/۰۰۵
	درون گروهی	۱/۵۸	۳۳	۰/۰۴		
	کل	۲/۱۷	۳۵	-		
زمان رسیدن به پیک اول نیرو (میلی ثانیه)	بین گروهی	۱/۲۵	۲	۰/۶۲	۸/۹۲	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۲/۳۱	۳۳	۰/۰۷		
	کل	۳/۵۶	۳۵	-		
زمان رسیدن به پیک دوم نیرو (میلی ثانیه)	بین گروهی	۱/۹۲	۲	۰/۹۶	۱۱/۲۱	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۲/۸۲	۳۳	۰/۰۸		
	کل	۴/۷۴	۳۵	-		
زمان رسیدن به پیک سوم نیرو (میلی ثانیه)	بین گروهی	۲/۹۳	۲	۱/۴۶	۱۴/۲۹	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۳/۳۸	۳۳	۰/۱۰		
	کل	۶/۳۱	۳۵	-		
زمان کل تماس (پاشنه) با زمین (میلی ثانیه)	بین گروهی	۵/۴۸	۲	۲/۷۴	۱۰/۰۲	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۹/۰۲	۳۳	۰/۲۷		
	کل	۱۴/۵۰	۳۵	-		
نرخ توسعه نیرو (نیوتن بر کیلوگرم بر ثانیه)	بین گروهی	۱۴۰/۲۱	۲	۷۰/۱۰	۳۰۴/۷۶	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۷/۵۹	۳۳	۰/۲۳		
	کل	۱۴۷/۸۱	۳۵	-		
پیک اول نیروی قدامی خلفی (نیوتن بر کیلوگرم)	بین گروهی	۴۲۹/۰۱	۲	۲۱۴/۵۰	۲۵۴/۹۶	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۲۷/۷۶	۳۳	۰/۸۴		
	کل	۴۵۶/۷۸	۳۵	-		
پیک دوم نیروی قدامی خلفی (نیوتن بر کیلوگرم)	بین گروهی	۶۰۷/۲۶	۲	۳۰۳/۶۳	۱۲۱/۰۱	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۸۲/۸۰	۳۳	۲/۵۱		
	کل	۶۹۰/۰۶	۳۵	-		
پیک اول نیروی داخلی خارجی (نیوتن بر کیلوگرم)	بین گروهی	۶۶/۵۹	۲	۳۳/۲۹	۱۳/۲۱	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۸۳/۱۴	۳۳	۲/۵۲		
	کل	۱۴۹/۷۳	۳۵	-		
پیک دوم نیروی داخلی خارجی (نیوتن بر کیلوگرم)	بین گروهی	۲۰/۷۹	۲	۱۰/۴۰	۹/۸۴	*۰/۰۰۱
	درون گروهی	۳۴/۸۴	۳۳	۱/۰۵		
	کل	۵۵/۶۴	۳۵	-		

جدول ۴. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه در خصوص مقایسه تغییرات مرکز فشار حین راه رفتن در سه گروه

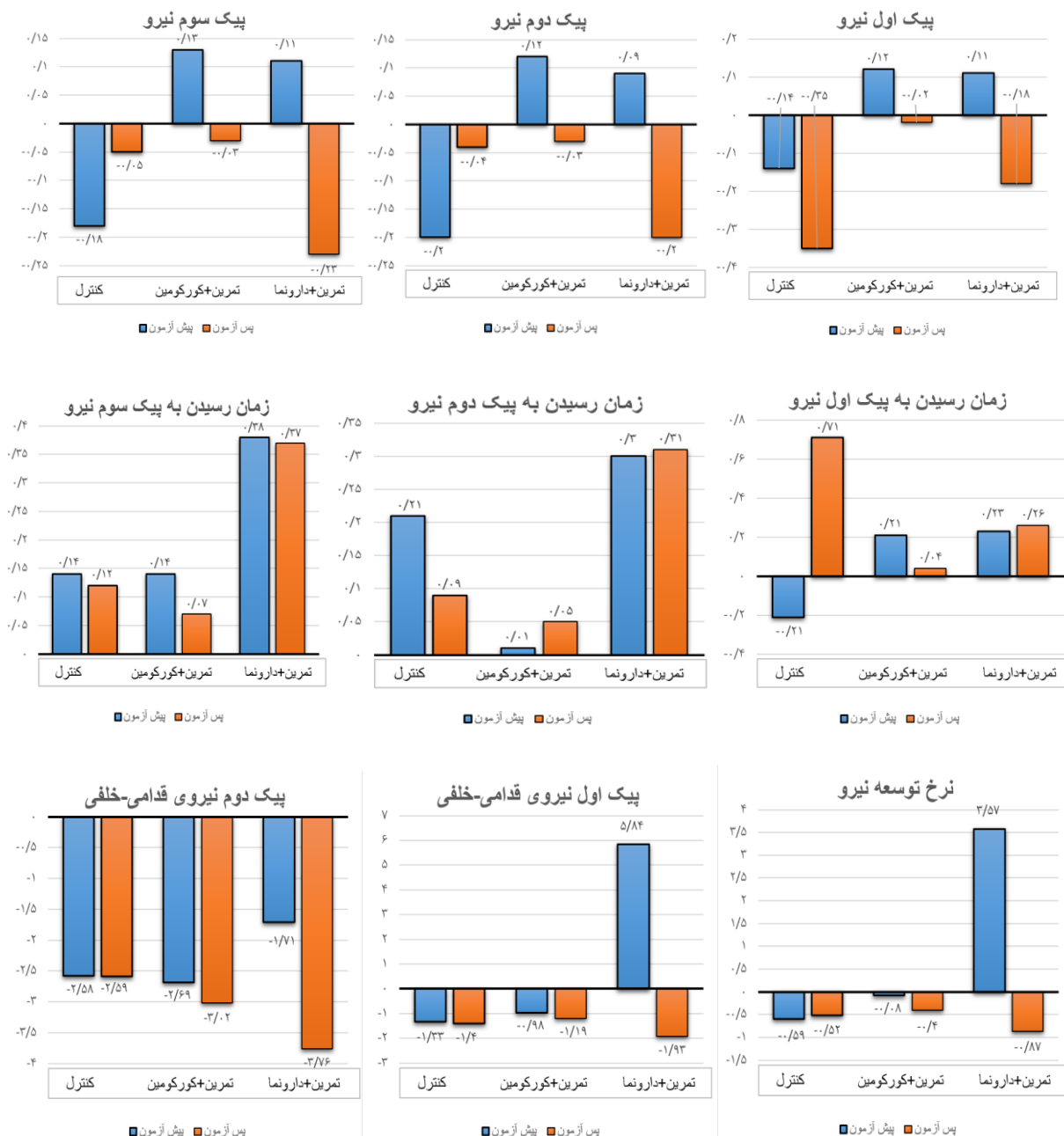
متغیر (واحد)	اختلافات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P
مسیر حرکت COP در راستای X (میلی متر)	بین گروهی	۰/۰۴	۲	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۸۶
	درون گروهی	۵/۵۶	۳۳	۰/۱۶		
	کل	۵/۶۱	۳۵	-		
مسیر حرکت COP در راستای Y (میلی متر)	بین گروهی	۰/۱۰	۲	۰/۰۵	۰/۲۹	۰/۷۴
	درون گروهی	۵/۹۴	۳۳	۰/۱۸		
	کل	۶/۰۵	۳۵	-		
سرعت COP در راستای X (میلی متر بر ثانیه)	بین گروهی	۰/۰۵	۲	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۶۷
	درون گروهی	۱/۲۴	۳۳	۰/۰۳		
	کل	۱/۳۰	۳۵	-		
سرعت COP در راستای Y (میلی متر بر ثانیه)	بین گروهی	۰/۰۷	۲	۰/۰۴	۰/۹۲	۰/۴۰
	درون گروهی	۱/۴۰	۳۳	۰/۰۴		
	کل	۱/۴۸	۳۵	-		
مسیر کلی حرکت COP (میلی متر بر ثانیه)	بین گروهی	۰/۵۸	۲	۰/۲۹	۰/۷۵	۰/۴۷
	درون گروهی	۱۲/۸۵	۳۳	۰/۳۹		
	کل	۱۳/۴۴	۳۵	-		
شاخص sway در راستای X (میلی متر)	بین گروهی	۰/۱۵	۲	۰/۰۷	۱/۱۸	۰/۳۱
	درون گروهی	۲/۱۷	۳۳	۰/۰۶		
	کل	۲/۳۲	۳۵	-		
شاخص sway در راستای Y (میلی متر)	بین گروهی	۰/۱۷	۲	۰/۰۸	۱/۴۴	۰/۲۵
	درون گروهی	۱/۹۶	۳۳	۰/۰۵		
	کل	۲/۱۳	۳۵	-		
انحراف استاندارد مسیر حرکت COP در راستای X (میلی متر)	بین گروهی	۰/۵۵	۲	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۸۵
	درون گروهی	۵/۸۴	۳۳	۰/۱۷		
	کل	۵/۹۰	۳۵	-		
انحراف استاندارد مسیر حرکت COP در راستای Y (میلی متر)	بین گروهی	۰/۱۱	۲	۰/۵۹	۰/۳۴	۰/۷۱
	درون گروهی	۵/۶۱	۳۳	۰/۱۷		
	کل	۵/۷۳	۳۵	-		
انحراف استاندارد سرعت COP در راستای X (میلی متر بر ثانیه)	بین گروهی	۰/۱۴	۲	۰/۷۰	۰/۲۲	۰/۸۰
	درون گروهی	۱۰/۳۱	۳۳	۰/۳۱		
	کل	۱۰/۴۵	۳۵	-		
انحراف استاندارد سرعت COP در راستای Y (میلی متر بر ثانیه)	بین گروهی	۰/۲۴	۲	۰/۱۲	۰/۳۴	۰/۷۰
	درون گروهی	۱۱/۴۵	۳۳	۰/۳۴		
	کل	۱۱/۶۹	۳۵	-		

جدول ۵. نتایج آنالیز واریانس یک طرفه در خصوص مقایسه تغییرات مرکز فشار در وضعیت استاتیک در سه گروه

متغیر	اختلافات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P
مسیر حرکت COP در راستای X	بین گروهی	۱۳۹/۹۳	۲	۹۶/۶۹	۱/۱۹	۰/۳۱
	درون گروهی	۱۹۳۵/۱۲	۳۳	۵۸/۶۴		
	کل	۲۰۷۵/۰۵	۳۵	-		
مسیر حرکت COP در راستای Y	بین گروهی	۲۹۶/۹۳	۲	۱۴۸/۴۶	۳/۰۶	۰/۰۶
	درون گروهی	۱۵۹۶/۹۴	۳۳	۴۸/۳۹		
	کل	۱۸۹۳/۸۷	۳۵	-		
مسیر کلی حرکت COP	بین گروهی	۲۳۹/۱۸	۲	۱۱۴/۵۹	۱/۶۱	۰/۲۱
	درون گروهی	۲۳۳۹/۴۰	۳۳	۷۰/۸۹		
	کل	۲۵۶۸/۵۸	۳۵	-		
سرعت COP در راستای X	بین گروهی	۰/۰۰۷	۲	۰/۰۴	۱/۵۷	۰/۸۵
	درون گروهی	۰/۷۵	۳۳	۰/۰۲		
	کل	۰/۷۶	۳۵	-		
سرعت COP در راستای Y	بین گروهی	۰/۱۱	۲	۰/۰۵	۲/۶۲	۰/۰۸
	درون گروهی	۰/۷۱	۳۳	۰/۰۲		
	کل	۰/۸۲	۳۵	-		
شاخص sway در راستای X	بین گروهی	۰/۲۷	۲	۰/۱۳	۰/۷۸	۰/۴۶
	درون گروهی	۵/۶۹	۳۳	۰/۱۷		
	کل	۵/۹۶	۳۵	-		
شاخص sway در راستای Y	بین گروهی	۰/۳۵	۲	۰/۱۷	۲/۵۹	۰/۰۹
	درون گروهی	۲/۲۳	۳۳	۰/۰۶		
	کل	۲/۵۹	۳۵	-		
انحراف استاندارد مسیر حرکت COP در راستای X	بین گروهی	۰/۰۸	۲	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۷۸
	درون گروهی	۵/۳۳	۳۳	۰/۱۶		
	کل	۵/۴۱	۳۵	-		
انحراف استاندارد مسیر حرکت COP در راستای Y	بین گروهی	۰/۸۹	۲	۰/۴۴	۴/۱۸	*۰/۰۲
	درون گروهی	۲/۵۱	۳۳	۰/۱۰		
	کل	۴/۴۱	۳۵	-		
انحراف استاندارد سرعت COP در راستای X	بین گروهی	۹/۴۳	۲	۴/۷۱	۱/۶۴	۰/۲۰
	درون گروهی	۹۴/۵۱	۳۳	۲/۸۶		
	کل	۱۰۳/۹۵	۳۵	-		
انحراف استاندارد سرعت COP در راستای Y	بین گروهی	۷/۴۲	۲	۳/۷۱	۳/۸۱	*۰/۰۳
	درون گروهی	۳۲/۰۹	۳۳	۰/۹۷		
	کل	۳۹/۵۲	۳۵	-		

جدول ۶: نتایج آزمون تعقیبی توکی در خصوص تعیین محل اختلاف نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن و برخی از متغیرهای تغییرات مرکز فشار در وضعیت استاتیک بین اختلاف نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون در سه گروه

متغیر	گروه	P
پیک اول نیرو	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۲۶
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۶
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	۰/۳۳
پیک دوم نیرو	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۲۹
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۵
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	۰/۲۹
پیک سوم نیرو	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۳۵
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۴
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	۰/۲
زمان رسیدن به پیک اول نیرو	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۳۹
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۳
زمان رسیدن به پیک دوم نیرو	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۴۱
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
زمان رسیدن به پیک سوم نیرو	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۴۴
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۲
نرخ توسعه نیرو	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۹۹
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
پیک اول نیروی قدامی خلفی	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۹۹
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
پیک دوم نیروی قدامی خلفی	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۹۳
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
پیک اول نیروی داخلی خارجی	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۵۱
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۳
پیک دوم نیروی داخلی خارجی	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۳۷
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۱
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۳
انحراف استاندارد مسیر حرکت COP در راستای Y	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۹۹
	کنترل * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۴
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۵
Y در راستای COP انحراف استاندارد سرعت	کنترل * تمرین + کور کومین	۰/۴۴
	کنترل * تمرین + دارونما	۰/۶۲
	تمرین + کور کومین * تمرین + دارونما	*۰/۰۰۲



شکل ۱. اختلافات میانگین هر گروه در آزمون تعقیبی در متغیرهای نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن

حفظ ثبات در این ناحیه، لحظه‌ای است و عضلات درگیر باید دائماً با تغییر پاسچر و وضعیت‌های بارگذاری سازگار شوند تا یکپارچگی ستون فقرات را تضمین و پایه باثباتی را برای حرکت اندام‌ها فراهم کنند در حقیقت ثبات مرکزی ممکن است ثبات فوقانی را برای حرکات دیستال و فعالیت اندام‌ها فراهم کند و از آنجاکه ناحیه مرکزی بدن پلی بین بالاتنه و پایین‌تنه است، در انتقال نیروهای عکس‌العمل زمین از طریق اندام تحتانی به تنه نقش ایفا می‌کند (۲۸).



شکل ۲. اختلافات میانگین هر گروه در آزمون تعقیبی در متغیرهای نیروهای عکس العمل زمین حین راه رفتن و برخی از متغیرهای تغییرات مرکز فشار در وضعیت ایستا

کورکومین حاوی گروهی از ترکیبات پلی-فنولیک به نام کورکومینوئیدهاست و در بین کورکومینوئیدها، کورکومین رایج ترین و فراوان ترین پلی فنول با خاصیت آنتی اکسیدانی و ضدالتهابی قوی است. به طور کلی در طب سنتی از زردچوبه برای درمان برخی از دردها به طور مثال در نواحی کمر، پشت و سینه استفاده می شود همچنین مصرف زردچوبه می تواند در کاهش دردهای نوروپاتی تأثیرگذار باشد. در همین راستا و در خصوص آثار ضد درد زردچوبه، روغنی و همکاران گزارش کردند که تجویز کورکومین باعث کاهش شدت درد در هر دو مرحله حاد و مزمن در موش های دیابتی می شود (۲۹). همچنین بیان شده است که مکانیسم های فیزیولوژی زردچوبه در بدن در درد پاتولوژی ناشی از آسیب های عصبی سیاتیک و نخاعی مؤثر می باشد. با توجه به اینکه نخاع قادر به یادگیری وظایف حسی حرکتی است و مداخلات غذایی می تواند بر یادگیری مراکز فوق نخاعی تأثیر بگذارد، مشاهده شده که موش هایی که با رژیم غذایی حاوی کورکومین تغذیه می شوند، در الگوی یادگیری ستون فقرات بهتر از موش هایی که از رژیم غذایی فاقد کورکومین تغذیه می شوند، عمل می کنند. بنابراین می توان نتیجه گرفت این ماده در وظایف حسی حرکتی نیز مؤثر باشد (۳۰). کورکومین ممکن است باعث افزایش تعادل سیستم عصبی مرکزی باشد (۳۱). با توجه به اینکه ورزش، فراساختار عضلات را مختل می کند، سطح سایتوکین های التهابی را افزایش می دهد و می تواند باعث تورم در اندام آسیب دیده، کاهش دامنه حرکتی و کاهش ظرفیت تولید نیروی عضلانی شود. این بررسی بر متابولیسم، فارماکوکینتیک مارکرهای مختلف مکمل های کورکومین، و تأثیر مکمل کورکومین بر درد عضلانی، فعالیت کراتین کیناز و تولید نشانگرهای التهابی تمرکز دارد. مکمل کورکومین در محدوده دوز ۵۰۰-۹۰۰ میلی گرم در روز می تواند درک ذهنی از شدت درد عضلانی را کاهش دهد و میزان عملکرد عضلات را افزایش دهد بنابراین ممکن است بر ظرفیت عملکردی نیز اثر داشته باشد (۳۲). در مورد اثر مکمل کورکومین بر معیارهای تن سنجی در بزرگسالان دارای اضافه وزن یا چاق پژوهشی وجود دارد که نشان می دهد، این اثرات از طریق تنظیم متابولیسم لیپید با افزایش مصرف انرژی و سرکوب فاکتورهای

رونویسی، آنزیم‌ها و سایتوکین‌های پیش التهابی درگیر در چربی‌زایی انجام می‌شود. به‌جز دریافت روزانه کورکومین ۱۰۰۰ میلی گرم یا کمتر در روز، دریافت کورکومین به میزان ۱۵۰۰ میلی گرم یا با اشکال مختلف مانند کورکومین فیتوزومی، نانو و آمورف بهبودهای مثبتی را در شاخص‌های آنتروپومتری نشان داد (۳۳). به‌طور کلی مصرف کورکومین از دیدگاه ریشه عصبی، در جهت کاهش درد (۲۹) همراه با تمرین توصیه شده است.

بر اساس نتیجه تحقیق حال حاضر، این مداخله تأثیر معنی‌داری در برخی از شاخص تغییرات مرکز فشار یا تعادل داشته است. برخی مطالعات با این نتیجه همسو هستند: در تحقیق سه‌هفته‌ای تمرین تعلیقی TRX که جهت سنجش تغییراتی در تعادل ایستا بسکتبالیست‌های جوان با میانگین سنی ۱۳ سال بررسی شد و تعادل ایستا که به‌عنوان حرکت مرکز فشار ارزیابی می‌شود، روی هر دو پا، قبل و بعد از دوره تمرین اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داده است، هیچ تغییر معنی‌داری بین مقادیر میانگین پارامترهای COP انتخابی مربوط به گروه آزمایشی و گروه کنترل مشاهده نشد و این دوره تمرینی تأثیر مثبتی بر تعادل ایستا نداشته است (۳۴) که با تحقیق حال حاضر همسو می‌باشد. موقعیت مرکز فشار و مقدار نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فعالیت‌های مختلف روزمره از جمله راه رفتن و... با آسیب‌های اندام تحتانی و کمر مرتبط است (۱۲). در طول ۲۰ سال گذشته تاکنون، مرکز فشار معمولاً به‌عنوان شاخصی از ثبات وضعیتی استفاده شده است. ۱۴ مقاله از ۱۶ مقاله، به این نتیجه رسیدند که در بیماران کمردرد مزمن میانگین سرعت COP و گردش کلی در مقایسه با افراد سالم بیشتر است. همچنین افزایش نوسان در جهت قدامی خلفی نیز در بیماران LBP مشاهده شده است. بیماران مبتلا به LBP نسبت به افراد سالم بی‌ثباتی وضعیتی بیشتری را نشان می‌دهند که این وضعیت با گردش مرکز فشار بیشتر و میانگین سرعت بالاتر مشخص می‌شود. درحالی‌که به نظر می‌رسد کاهش ثبات وضعیتی در مبتلایان به LBP بیشتر با درد مرتبط است که به نظریه‌ی رسد ارتباطی با محل دقیق و مدت درد ندارد و هیچ ارتباطی بین شدت درد و بزرگی گردش مرکز فشار شناسایی نشده است (۹). در مطالعه تمرین مقاومتی هشت‌هفته‌ای TRX، نوع اول تمرین در ۸ تکرار با شدت ۲۰٪ 1RM در مقایسه با نوع دوم تمرین در ۴ تکرار با شدت ۴۰٪ 1RM، بین ۳۲ مرد ورزشکار نتیجه مثبت در سرعت جابجایی مرکز فشار نشان داده نشد (۳۵) و با تحقیق حال حاضر همسو می‌باشد، اما در تحقیق یون-آشین و همکاران (۲۰۱۷)، اثرات کوتاه‌مدت دوز نوعی از کورکومین و تمرین هوازی بر درد، توانایی راه رفتن و عملکرد عضلانی بیماران مبتلا به آرتروز زانو بررسی شد، روش آزمون تعادل در تحقیق یون-آشین متفاوت از تحقیق حال حاضر بود (۳۶) که با تحقیق حال حاضر ناهم‌سو است. علت این تفاوت را در مواردی مانند تفاوت در نوع بیماری مورد بررسی، نوع تمرین، دوز مصرفی کورکومین، مدت زمان مداخله و روش سنجش تعادل جستجو کرد. از آنجایی که در تحقیق یون-آشین و همکاران، بررسی تعادل آرتروز زانو مورد بحث بوده است و عدم تعادل در این بیماران به‌صورت افزایش دامنه و سرعت نوسان تعادلی و سرعت نوسان وضعیت بدن نشان داده می‌شود (۳۷)، اما اختلال در تعادل مبتلایان کمردرد غیراختصاصی با گردش مرکز فشار بیشتر و میانگین سرعت بالاتر همچنین افزایش نوسان در جهت قدامی خلفی همراه است (۹)؛ بنابراین نتیجه اختلال تعادل در دو بیماری مختلف، متفاوت است. نوع تمرین در مطالعه شین، پیاده‌روی بوده است، درواقع پیاده‌روی به‌عنوان یک تمرین تقویتی در زنجیره باز همراه تمرین هوازی محسوب می‌شود که به سبب بهبود کنترل پاسخ، باعث افزایش تعادل می‌گردد (۳۸) و تمرین TRX در تحقیق حال حاضر با هدف قراردادن یکپارچگی حسی موجب بهبود تعادل است (۳۹)؛ بنابراین پیچیدگی تمرین مدنظر نیز می‌تواند در نتیجه این دو تحقیق اثرگذار باشد. مقدار مصرف کورکومین و تعداد هفته‌های مورد مداخله در مطالعه شین (یک کپسول ۷۰۰ میلی گرمی، ۳ بار در روز تا چهار هفته -

1. Phytosomia
2. Amorphous
3. Excursions COP

هشت هفته تمرین و مکمل)، بیشتر از تحقیق حال حاضر (یک عدد کپسول ۵۰۰ میلی گرمی هر روز - شش هفته تمرین و مکمل) می باشد که می تواند به عنوان محدودیت یا عاملی برای متفاوت بودن نتیجه در نظر گرفته شود؛ با این که این میزان از مکمل کورکومین و تعداد هفته های تمرین بر سایر متغیرهای تحقیق اثرگذار بوده است. میزان معمول و درمانی کورکومین بین ۴۰۰-۶۰۰ میلی گرم ۳ بار در روز است (۴۰). اگرچه فرمول های زیستی خوراکی کورکومین با دوز ۵۰۰ میلی گرم حتی به مدت ۳۰ روز برای انسان بی خطر بودند، اما هنوز آزمایش های کمی وجود دارد و مطالعات بیشتری مورد نیاز است همچنین در مصرف دوز بالای کورکومین برخی از عوارض جانبی مانند ناراحتی های گوارشی ممکن است رخ دهد (۴۱)؛ بنابراین جهت حفظ سلامتی آزمودنی ها و تأثیر آن بر دردهای اسکلتی-عضلانی (۲۷، ۲۳) میزان ۵۰۰ میلی گرم یک بار در روز در تحقیق حال حاضر انتخاب شده است. ضمن اینکه در تحقیق شین، روش اندازه گیری تعادل به دو روش عملکردی بررسی شد که شامل آزمون عملکرد بیمار در حالت ایستادن روی یک پا در چشم های باز و بسته و آزمون لرزش تعادل هنگام ایستادن می باشد. در روش اول مدت هایی که بیمار روی یک پا با چشم های باز و چشم های بسته می ایستاد، بر حسب ثانیه اندازه گیری می شد. آزمون لرزش تعادل در حالت ایستاده برای تجزیه و تحلیل میزان لرزش تعادل بیمار، بر حسب میلی متر، زمانی که با هر دو پا روی دیسک تعادل ایستاده بود و زمانی که روی یک پا ایستاده بود، استفاده می شد. در حالی که آزمون اندازه گیری تغییرات مرکز فشار یا تعادل در تحقیق حال حاضر تنها با یک روش حین راه رفتن و روی فورس پلیت بررسی شد این در حالی است که، روش های آزمایشگاهی (در این تحقیق سنجش COP روی فورس پلیت) از اعتبار، روایی و پایایی بالاتری نسبت به روش های عملکردی برخوردارند. اگرچه محدودیت هایی در پژوهش وجود داشت که شامل: نبود کنترل سرعت راه رفتن، کوتاه بودن زمان سنجش COP ایستا، نمونه کوچک و عدم کنترل رژیم می باشد. علاوه بر این، علی رغم تلاش برای کنترل دقیق معیارهای ورود و خروج، برخی عوامل همچون تفاوت های ژنتیکی، سبک زندگی، وضعیت تغذیه و میزان همکاری شرکت کنندگان ممکن است بر نتایج تأثیر گذاشته باشند. توصیه می شود در تحقیقات آینده، سرعت راه رفتن با گیت تایمینگ/فوتوسل یا مترونوم کنترل و در تحلیل لحاظ شود. بنابراین، اگرچه تمرین حسی حرکتی مانند TRX، در بهبود کنترل وضعیتی و قدرت عضلانی به ویژه در افراد سن بالاتر مؤثر است و در مقایسه با تمرینات مقاومتی-استقامتی در افراد بالغ، با هدف قرار دادن یکپارچگی حسی موجب بهبود هماهنگی حرکتی و کنترل تعادل است و به ثبات کلی بدن کمک می کند (۳۵) همچنین اثر کورکومین بر تغییرات تعادل طی مطالعه ای به اثبات رسیده است (۳۶)، اما به نظر می رسد با توجه به یافته های تحقیق این مداخله فقط بر برخی از شاخص های تغییرات مرکز فشار یا تعادل حین راه رفتن و وضعیت استاتیک اثربخش بوده است.

بر اساس نتیجه تحقیق حال حاضر، این مداخله تأثیر معنی داری بر شاخص نیروهای عکس العمل زمین حین راه رفتن داشته است. برخی مطالعات با این نتیجه همسو هستند: در مطالعه سنپاسیت و همکاران (۲۰۲۳)، در شیوه متفاوتی از تمرینات تعلیقی، اوج نیروی واکنش عمودی زمین PVGRF با هدف سنجش عملکرد پرش عمودی، بررسی شد. نتیجه آن بدین شکل است که: PVGRF پس از ۳ حله تمرین TRX، افزایش یافته اما تفاوت معنی داری در بین آن ها مشاهده نشده است (۲۲) که با تحقیق حال حاضر ناهمسو می باشد دلیل احتمالی این تفاوت با تحقیق حال حاضر می تواند ناشی از تفاوت در شیوه و نوع و شدت تمرین باشد. در واقع، راه رفتن یک کار دینامیکی پیچیده است که فرد باید نیروهای چند جهته مختلفی را در اطراف هر مفصل با زمین یا همان نیروهای واکنش زمین را تحمل کند. تا به امروز، دانش محدودی در مورد ویژگی های راه رفتن افراد مبتلا به LBP مزمن وجود دارد با این حال مشخص است که افراد مبتلا به کمردرد، آهسته تر راه می روند و به طور کلی گام های کوتاه تری برمی دارند که ممکن است در مقایسه با گروه های هم سن آن ها نامتقارن باشد (۴۲). به نظر می رسد افراد مبتلا به درد و سایر نارسایی های اندام تحتانی انواع استراتژی های جایگزین را در طول راه رفتن اتخاذ می کنند، برخی از آن ها نیروهای اندازه گیری شده را کاهش می دهند و برخی دیگر که این کار

را نمی‌کنند. درک ارتباط بین درد و حرکت با تنوع حرکتی ترکیب شده است که تشخیص حرکت عادی را دشوار می‌کند. همچنین توزیع درد تأثیر قابل‌توجهی بر سرعت راه رفتن و نیروهای واکنش افقی زمین دارد و این تأثیر با افزایش چالش فیزیکی، یعنی سریع راه رفتن نیز بیشتر می‌شود (۴۳). در مطالعه پنگ و همکاران (۲۰۱۹)، بررسی اثرات ۴ هفته مصرف مکمل عصاره کورکومین آب نانوحباب NCE نشان‌دهنده کاهش اوج نیروی واکنش عمودی زمین PVGRF در طول پرش بود (۲۰). که با تحقیق حال حاضر همسو می‌باشد. مطالعه گلمز و همکاران، با هدف تعیین و مقایسه میزان بار روی بندهای تعلیق TRX و نیروهای واکنش زمین در ۴ زاویه مختلف در طول فشارهای TRX انجام شد. آزمودنی‌ها در زوایای صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵ درجه در حین انجام فشارهای TRX مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج آن به این شکل است: با کاهش زاویه TRX، بار اعمال شده به تسمه‌های TRX افزایش یافته و به‌طور هم‌زمان بار اندازه‌گیری شده توسط سکوی نیرو کاهش می‌یابد. این امر در مورد تغییر مفصل آرنج از حالت خم شدن به اکستنشن و بالعکس صادق است. هنگامی که زاویه بند TRX روی صفر درجه تنظیم شد و آرنج‌های افراد در حین فشار TRX در حالت اکستنشن بود، ۵۰/۴ درصد وزن بدن آزمودنی‌ها و زمانی که آرنج‌ها در حالت خم شدن بودند، ۷۵/۳ درصد از وزن بدن توسط سنسورها ثبت شد (۱۷)، که با تحقیق حال حاضر همسو می‌باشد. از آنجایی که به‌طور کلی تمرینات توان‌بخشی، عامل مؤثری در نیروهای واکنش زمین در افراد مبتلا به کمردرد در حین راه رفتن و دویدن هستند، به‌ویژه اثربخشی این عامل در مقادیر پیک نیروی واکنش زمین در هنگام تماس پاشنه با زمین در جهت داخلی-خارجی و در جهت قدامی-خلفی و پیک نیروی واکنش زمین هنگام بلند کردن پا از زمین در جهت عمودی در این بیماران اثبات شده است (۴۴). همچنین تمرین TRX، می‌تواند با افزایش حساسیت حس عمقی، افزایش جنبش و پویایی و پایداری مجموعه لگن، هسته بدن و کتف، بازخورد نسبت به پاسخ‌ها و ادغام پاسخ‌های الگوهای حرکتی و همچنین تقویت حس ادراکی یکپارچه آوران بینایی در شاخص‌های نیروهای عکس‌العمل زمین کاهش قابل‌توجهی دارد (۴۵). همچنین کورکومین نیز با وجود خاصیت مؤثر بر اوج نیروی واکنش عمودی زمین (۴۶) و اثر احتمالی آن به‌عنوان یک ماده Ergogenic قادر به کاهش مصرف انرژی، بازگرداندن محیط تعادل پویا داخلی، بازگرداندن مکانیسم‌های بدن برای بازسازی مواد مغذی و بهینه‌سازی است (۴۷) و از آنجایی که کورکومین همچنین می‌تواند در محافظت فیزیولوژیکی از خطر آسیب سیستم اسکلتی عضلانی نقش داشته باشد (۲۰). بنابراین به‌نظر می‌رسد با توجه به یافته‌های تحقیق این مداخله بر شاخص‌های نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن اثربخش بوده است.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد تمرین هم‌زمان با مصرف کورکومین تأثیر مطلوب‌تری در بهبود فاکتورهایی از قبیل نیروهای عکس‌العمل زمین حین راه رفتن دارد. از این رو به‌نظر می‌رسد تمرین TRX و مکمل کورکومین یکی از روش‌های مؤثر به‌منظور بهبود شرایط بیماران مبتلا به کمردرد به کمردرد مزمن غیراختصاصی و دارای اضافه‌وزن و چاق باشد. از این جهت پیشنهاد می‌شود؛ برای کاهش دردهای مزمن و حفظ ارتقای سلامت عضلانی و اسکلتی و همچنین کاهش بیماری‌های التهابی از جمله چاقی و اضافه‌وزن از مکمل‌های ضدالتهابی مانند کورکومین به میزان ۵۰۰ میلی‌گرم در روز همراه با فعالیت‌های اصلاحی با شدت‌های متوسط ۵۰-۶۰٪ حداکثر ضربان قلب بیشینه می‌تواند برای این افراد مفید باشد. ضمن اینکه، محققان می‌توانند نتایج این پژوهش را پایه‌ای برای پژوهش‌های بعد قرار دهند و از روش این پژوهش از جمله شدت و حجم برنامه تمرینی و انواع حرکات آن و نحوه مصرف مکمل کورکومین و دوز مصرفی آن استفاده کنند.

۱. ارگوژنیک (برخی مواد یا داروها را انرژی می‌نامند. آنها می‌توانند با بهبود کارایی انرژی، قدرت، شرایط و استقامت تمرین، عملکرد را افزایش دهند).

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از تمامی آزمودنی‌های محترمی که در این پژوهش شرکت کردند تشکر می‌نمایند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه با کد اخلاق IR.BIRJAND.REC.1402.005 دانشگاه بیرجند تأیید شده است و همچنین می‌توانید آن را در وب‌سایت نظام ملی اخلاق در تحقیقات زیست‌پزشکی مشاهده کنید.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد قدسیه خزاعی، در گروه فیزیولوژی دانشگاه بیرجند است. هیچ‌گونه حمایت مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور مساوی در تهیه مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض

بنا بر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Turci A, Nogueira C, Nogueira-Carrer H, Chaves T. Self-administered stretching exercises are as effective as motor control exercises for people with chronic non-specific low back pain. *Journal of Physiotherapy*. 2023;69(2):93-99. [DOI:10.1016/j.jphys.2023.02.016] [PMID]
2. Dolatian M, Hasanpour A, Heshmat R, Alavi Majd H. Effect of reflexology on pain intensity of labor. *Iranian Red Crescent Medical Journal*. 2010;12(1):52-61.
3. Fong SSM, Tam YT, Macfarlane DJ, et al. Core muscle activity during TRX suspension exercises with and without kinesiology taping in adults with chronic low back pain: implications for rehabilitation. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2015;2015:910168. [DOI:10.1155/2015/910168] [PMID]
4. Matheve T, Brumagne S, Demoulin C, Timmermans A. Sensor-based postural feedback is more effective than conventional feedback to improve lumbopelvic movement control in patients with chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2018;15(1):85. [DOI:10.1186/s12984-018-0423-6] [PMID]

5. Mirtz T, Greene L. Is obesity a risk factor for low back pain? An example of using the evidence to answer a clinical question. *Journal of Chiropractic & Osteopathy*. 2005;13(1):2. [DOI:10.1186/1746-1340-13-2] [PMID]
6. Podraza JT, White SC. Effect of knee flexion angle on ground reaction forces, knee moments and muscle co-contraction during impact-like deceleration landing: implications for the non-contact mechanism of ACL injury. *The Knee*. 2010;17(4):291-295. [DOI:10.1016/j.knee.2010.02.013] [PMID]
7. McGill SM, Childs A, Liebenson C. Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1999;80(8):941-944. [DOI:10.1016/S0003-9993(99)90087-4] [PMID]
8. Giakas G, Baltzopoulos V. Optimal digital filtering requires a different cut-off frequency strategy for the determination of higher derivatives. *Journal of Biomechanics*. 1997;30(8):851-855. [DOI:10.1016/S0021-9290(97)00043-2] [PMID]
9. Ruhe A, Fejer R, Walker B. Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared with healthy controls. *European Spine Journal*. 2011;20(3):358-368. [DOI:10.1007/s00586-010-1543-2] [PMID]
10. Azarmi E, Azadi F, Mosallanezhad Z, Vahedi M. Relationship of low back pain and knee pain with dynamic balance in elderly individuals living in nursing homes. *Iranian Journal of Ageing*. 2023;18(3):460-473. [DOI:10.32598/sija.2023.774.5]
11. Ershad N, Kahrizi S, Firouzabadi S, Faghihzadeh S. Comparison of the effects of external load on lumbar lordosis in patients with low back pain and healthy individuals. *Journal of Rehabilitation*. 2007;8(3):28-34.
12. Farahpour N, Jafarnezhadgero A, Allard P, Majlesi M. Muscle activity and kinetics of lower limbs during walking in individuals with pronated feet with and without low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2018;39:35-41. [DOI:10.1016/j.jelekin.2018.01.006] [PMID]
13. Fernández-de-Las-Peñas C, et al. Best exercise options for reducing pain and disability in adults with chronic low back pain: pilates, strength, core-based, and mind-body exercise. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2022;52(8):505-521. [DOI:10.2519/jospt.2022.10671] [PMID]
14. Waller B, Lambeck J, Daly D. Therapeutic aquatic exercise in the treatment of low back pain: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*. 2009;23(1):3-14. [DOI:10.1177/0269215508097856] [PMID]
15. Sami S, Hakimi M, Ali-Mohammadi M, Karimiyani N. Comparing the effects of hydrotherapy, relaxation and McKenzie exercise on chronic low back pain in athletes. *Journal of Anesthesiology and Pain*. 2014;4(4):11-21.
16. Alimoradi N, Nourollahi H, Hosseini F. Effects of eight weeks of TRX and CRX exercise on body composition and lipid profile in overweight young women. *Journal of Physiology of Movement and Health*. 2022;2(1):29-40.
17. Gulmez I. Effects of angle variations in suspension push-up exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;31(4):1017-1023. [DOI:10.1519/JSC.0000000000001401] [PMID]
18. Tasa A, Arshadi A, Mirdar H, Maghsudi A. Effects of different levels of Withania coagulans water extract on growth performance and immunity parameters of Cyprinus carpio. *Journal of Aquatic Ecology*. 2021;10(4):105-116.
19. Huang WC, Chiu WC, Chuang HL, Tang DW, Lee ZM, Huang CC. Effect of curcumin supplementation on physiological fatigue and physical performance in mice. *Nutrients*. 2015;7(2):905-921. [DOI:10.3390/nu7020905] [PMID]

20. Peng HH, Wu CH, Kang ST, et al. Real-time monitoring of inertial cavitation effects of microbubbles using MRI: in vitro experiments. *Magnetic Resonance in Medicine*. 2017;77(1):102-111. [DOI:10.1002/mrm.26082] [PMID]
21. Doyle L, Desomayanandam P, Bhuvanendran A, et al. Safety and efficacy of turmeric (*Curcuma longa*) extract and curcumin supplements in musculoskeletal health: a systematic review and meta-analysis. *Alternative Therapies in Health and Medicine*. 2023;29(6):12-24.
22. Sanpasitt C, Apanukul S. Effects of contrast training protocols on vertical jump performance via post-activation performance enhancement. *Journal of Physical Education and Sport*. 2023;23(11):3024-3031.
23. Shep D, Khanwelkar C, Gade P, Karad S. Safety and efficacy of curcumin versus diclofenac in knee osteoarthritis: a randomized open-label parallel-arm study. *Trials*. 2019;20(1):214. [DOI:10.1186/s13063-019-3327-2] [PMID]
24. Arasto M, Zahednejad S, Arasto A, Negahban H, Gohar-Pay S. Measurement of ground reaction forces during forward and backward walking in women with flat feet. *Journal of Modern Rehabilitation*. 2011;5(1):1-7.
25. Aghamohammadi F, Jalalvand A. Effects of different walking strategies on maximum force and plantar pressure distribution. *Journal of Sport Biomechanics*. 2025;10(4):262-275. [DOI:10.61186/JSportBiomech.10.4.262]
26. Piralaee L, Barati A, Hasanzadeh M. Effects of eight weeks of TRX training on pain, quality of life and core muscle endurance in patients with chronic non-specific low back pain. *Journal of Safety and Quality Improvement from Injuries*. 2022;10(1):1-11.
27. Pourhabibi F, Rafraf M, Zayeni H, Asghari M, Ebrahimi A. Effects of curcumin supplementation on metabolic and inflammatory parameters in women with rheumatoid arthritis. *Phytotherapy Research*. 2022;36(4):1797-1806. [DOI:10.1002/ptr.7422] [PMID]
28. Nourizadeh S, Mirjani M, Naserpour H. Relationship between core stability, muscular endurance, static balance and shooting performance in military soldiers. *Journal of Sport Biomechanics*. 2019;5(1):62-71. [DOI:10.32598/biomechanics.5.1.6]
29. Roghani M, Baluchnejadmojarad T. Effects of curcumin on spatial memory and passive avoidance learning in diabetic rats. *Daneshvar Medicine*. 2020;19(6):51-60.
30. Joseph MS, Ying Z, Zhuang Y, Zhong H, Wu A, Bhatia HS, et al. Effects of diet and exercise on spinal cord sensorimotor learning. *PLoS One*. 2012;7(7):e41288. [DOI:10.1371/journal.pone.0041288] [PMID]
31. Boyao Y, Mengjiao S, Caicai B, Xiaoling L, Manxia W. Dynamic expression of autophagy-related factors and effects of curcumin therapy in autoimmune encephalomyelitis. *Journal of Neuroimmunology*. 2019;337:577067. [DOI:10.1016/j.jneuroim.2019.577067] [PMID]
32. Nanavati K, Rutherford-Markwick K, Lee S, Bishop N, Ali A. Effect of curcumin supplementation on exercise-induced muscle damage: a narrative review. *Nutrients*. 2022;14(8):3835. [DOI:10.1007/s00394-022-02943-7] [PMID]
33. Alsharif FJ, Almuhtadi YA. Effect of curcumin supplementation on anthropometric measures in overweight or obese adults. *Nutrients*. 2021;13(2):680. [DOI:10.3390/nu13020680] [PMID]
34. Boros-Balint I, et al. TRX suspension training and static balance in junior basketball players. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015;5(3):27-34.

35. Hammami R, et al. Effects of instability resistance training on physical fitness and lower limb asymmetry in prepubertal weightlifters. *Journal of Biomechanics in Sports Science and Medicine*. 2023;15(1):40-48. [DOI:10.1186/s13102-023-00652-0] [PMID]
36. Shin YA, et al. Short-term effects of Theracurmin dose and exercise type on pain and muscle function in knee osteoarthritis. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2017;13(6):684-690. [DOI:10.12965/jer.1735064.532] [PMID]
37. Kayhanfar A, Akochekian M, Saheb Al-Zamani M. Effects and durability of a home exercise program on range of motion, balance and gait in retired athletes with knee osteoarthritis. *Journal of Paramedical Sciences and Rehabilitation*. 2022;11(3):92-107.
38. Delkhoush CT, Fatemi E, Ghorbani R. Effects of aerobic walking versus strength training on balance in patients with knee osteoarthritis. *Journal of Koomesh*. 2022;24(1):147-154.
39. Varjan M, et al. Sensorimotor training versus resistance-endurance training in older adults. *Frontiers in Physiology*. 2024;15:1386537. [DOI:10.3389/fphys.2024.1386537] [PMID]
40. Gholizade S, Mozayani H, Barati A. Effects of eight weeks of TRX exercise on pain intensity and balance in girls with chronic non-specific low back pain. *Journal of Sport Biomechanics*. 2022;8(1):34-48. [DOI:10.52547/JSportBiomech.8.1.2]
41. Asher GN, Spelman K. Clinical utility of curcumin extract. *Alternative Therapies in Health and Medicine*. 2013;19(2):20-22.
42. Lee MH, Kim BK. Comparison of abdominal muscle activity after sling and Swiss-ball exercises in asymptomatic adults. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2014;9(3):333-338. [DOI:10.13066/kspm.2014.9.3.333]
43. Soleimani V, Sahebkar A, Hosseinzadeh H. Turmeric (*Curcuma longa*) and curcumin as safe and non-toxic substances. *Phytotherapy Research*. 2018;32(6):985-995. [DOI:10.1002/ptr.6054] [PMID]
44. Sheikhalizade H, Imani Brouj S, Ashrafi N, Mehralian F. Effects of NASM exercises on ground reaction forces during running in individuals with low back pain. *Journal of Advanced Sport Technology*. 2024;8(1):57-66.
45. Sannicandro I, Cofano G, Rosa A. Strength and power analysis in half-squat exercise using suspension training tools. *Journal of Physical Education and Sport*. 2015;15(3):433-440.
46. Liu L, et al. Protective effects of tea polyphenols on exhaustive exercise-induced fatigue and inflammation. *Food & Nutrition Research*. 2017;61:1333390. [DOI:10.1080/16546628.2017.1333390] [PMID]
47. Apostu M. Effects of ergogenic substances on sports performance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014;117:329-334. [DOI:10.1016/j.sbspro.2014.02.222]