

Research paper

Effects of Core Stability and Neuromuscular Training Methods on Knee Pain, Knee Function, and Center of Pressure Oscillations in Individuals With Patellofemoral Pain Syndrome: A Clinical Trial



Sina Saeed Askari¹ , Mehran Madihian² , *Hassan Sadeghi² , Ali Shahhosseini³

1. Department of Sports Injury and Corrective Exercises, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
2. Department of Biomechanics and Sports Injury, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
3. Department of Sport Coaching, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.



Citation Saeed Askari S, Madihian M, Sadeghi H, Shahhosseini A. [Effects of Core Stability and Neuromuscular Training Methods on Knee Pain, Knee Function, and Center of Pressure Oscillations in Individuals With Patellofemoral Pain Syndrome: A Clinical Trial (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(4):652-669. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3364>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3364>

ABSTRACT

Background and Aims Patellofemoral pain syndrome (PFPS) is one of the most common causes of anterior knee pain in young active people and athletes. This study aimed to compare the effectiveness of six weeks of core stability training (CST) and neuromuscular training (NMT) on knee pain, center of pressure (COP) oscillations, and knee function in individuals with PFPS.

Methods This is a randomized controlled clinical trial. A total of 45 participants with PFPS were randomly assigned to CST, NMT, or control groups. The interventions were performed at three sessions per week for six weeks. Pain (using the visual analog scale), static balance (COP oscillations measured by a force plate), and knee function (bilateral squat and step-down tests) were assessed before and after the intervention. Data were analyzed using the paired t-test and ANCOVA in SPSS software, version 21.

Results Both CST and NMT groups showed significant reductions in pain intensity and COP oscillations, and significant improvements in two knee function tests after interventions ($P < 0.001$), while the control group showed no significant changes after interventions. The NMT group showed more reduction in pain intensity ($P = 0.001$) and COP oscillations ($P = 0.001$) and a greater increase in bilateral squat ($P = 0.001$) and step-down ($P = 0.001$) test scores than the CST after interventions.

Conclusion Both CST and NMT methods can be effective in reducing pain and improving static balance and knee function in individuals with PFPS, where the NMT method is more effective. It is recommended that NMT be integrated into standard rehabilitation protocols for these patients to achieve optimal outcomes.

Keywords Patellofemoral pain syndrome (PFPS), Neuromuscular training, Core stability training (CST), Postural control, Functional performance, Knee pain

Received: 31 May 2020

Accepted: 19 Sep 2020

Available Online: 23 Sep 2025

* Corresponding Author:

Hassan Sadeghi, Assistant Professor.

Address: Department of Biomechanics and Sports Injury, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 22228001

E-Mail: hassan.sadeghi@khu.ac.ir



Copyright © 2025 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

Anterior knee pain can be a frustrating experience, especially for young people and athletes who are active. One of the most common causes of this discomfort is patellofemoral pain syndrome (PFPS), a condition that not only affects physical performance but also daily activities such as sitting, climbing stairs, or squatting. While many traditional rehabilitation programs have focused on strengthening the quadriceps alone, research in recent years has shown that addressing the proximal muscles—those around the hip and trunk—can make a significant difference. Specifically, core stability training (CST) and neuromuscular training (NMT) have emerged as promising interventions. This study aims to compare the effects of CST and NMT on pain, balance (center of pressure [COP]), and functional movement in individuals with PFPS.

Methods

This is a randomized controlled clinical trial involving 45 participants diagnosed with PFPS aged 18–40. These individuals were randomly assigned to three groups: CST (n=15), NMT (n=15), and control (n=15). All participants met specific inclusion criteria. They experienced anterior

knee pain for at least four weeks, tested positive for at least three PFPS-related signs, and had no significant structural, neurological, or systemic conditions. The CST group engaged in exercises designed to enhance control and strength in the core muscles (e.g. back bridge, quadriceps raise, side step up and down, unilateral bridge), while the NMT group trained using balance drills, proprioceptive tasks, and hip stabilization exercises. Both intervention groups trained three times per week for six weeks. The control group received no formal intervention. The Pain (using the visual analog scale [VAS]), static balance (COP oscillations, measured using a force plate), and knee function (bilateral squat and step-down tests) were assessed before and after the intervention. The Data were analyzed using the paired t-test (for within-group comparisons) and ANCOVA, adjusting for the pre-test score (for between-group comparisons).

Results

After the end of the six-week intervention, participants in both CST and NMT groups reported significantly less pain, greater balance, and improved functional movement compared to the control group ($P < 0.001$). Participants in the NMT group experienced greater reductions in pain and COP oscillations (improved postural control), and better performance in functional movement tests, including bilateral squat and step-down tests (Table 1).

Table 1. Comparison of mean scores for the study variables within groups

Variables	Group	Mean±SD		P
		Pre-test	Post-test	
COP oscillations	NMT	248.63±74.25	184.96±45.10	0.001
	CST	242.62±37.56	219.04±36.36	0.001
	Control	250.50±42.61	254±42.49	0.082
VAS	NMT	5.35±0.21	3.23±0.44	0.001
	CST	5.30±0.33	4.03±0.34	0.001
	Control	5.27±0.35	5.11±0.33	0.071
Bilateral squat	NMT	9.60 ±1.99	13.73±2.12	0.001
	CST	9.93±1.58	11.67±1.95	0.001
	Control	9.33± 1.54	8.93±1.91	0.054
Step-down test	NMT	5.67±1.67	9.73±2.15	0.001
	CST	6.13±1.25	11.20±2.54	0.001
	Control	5.93±1.16	5.73±1.22	0.271

Conclusion

This study provides strong evidence that both CST and NMT methods can be effective in managing PFPS, where the NMT method is more effective. By addressing not just strength, but also proprioception, balance, and dynamic control, NMT provides a more holistic approach to rehabilitation. It helps PFPS individuals relearn how to move efficiently, reduce compensatory patterns, and ultimately return to their activities with less pain and more confidence. From a clinical perspective, these findings suggest that NMT should be integrated into PFPS rehabilitation programs, particularly for those who struggle with dynamic postural control or have recurrent pain. Physical therapists, coaches, and sports medicine professionals should consider prioritizing neuromuscular approaches, especially when traditional protocols fall short. We also encourage further research to explore how long these benefits persist and whether combining CST with NMT can yield even greater results over time.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of [Kharazmi University](#), Tehran, Iran (Code: IR.KHU.REC.1403.144) and was registered by the [Iranian Registry of Clinical Trials](#) (Code: IRCT20180627040251N10). All ethical principles were observed in the study, such as the informed consent of the participants, the confidentiality of their information, and their right to leave the study.

Funding

This study is part of the research project of Sina Saeed Askari, funded by [Kharazmi University](#), Tehran, Iran.

Authors' contributions

Conceptualization, methodology, project management: Sina Saeed Askari and, Hassan Sadeghi; Validation: Hassan Sadeghi; Data analysis: Sina Saeed Askari and, Mehran Madihian; Investigation, resources, and visualization: Sina Saeed Askari and, Mehran Madihian, and Hassan Sadeghi; Initial draft preparation, editing & review: All authors; Supervision: Hassan Sadeghi and, Ali Shahhosseini.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all the participants for their time and cooperation, and also the Vice-Chancellor for Research of [Kharazmi University](#) for their financial support.



مقاله پژوهشی

اثر ۶ هفته تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات عضلانی بر درد، عملکرد زانو و نوسانات مرکز فشار در افراد دارای سندرم درد کشکی رانی: یک کارآزمایی بالینی

سینا سعید عسکری^۱، مهران مدیحیان^۲، حسن صادقی^۲، علی شاه حسینی^۳

۱. گروه آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۲. گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳. گروه آموزشی مربیگری ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online



Citation Saeed Askari S, Madhian M, Sadeghi H, Shahhosseini A. [Effects of Core Stability and Neuromuscular Training Methods on Knee Pain, Knee Function, and Center of Pressure Oscillations in Individuals With Patellofemoral Pain Syndrome: A Clinical Trial (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(4):652-669. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3364>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3364>

چکیده

مقدمه و اهداف: سندرم درد کشکی رانی یکی از شایع ترین علل درد قدام زانو در جوانان و ورزشکاران است که با ضعف عضلات مرکزی، اختلالات کنترل پاسچر و ناهنجاری های بیومکانیکی اندام تحتانی همراه است. هدف این مطالعه، بررسی و مقایسه اثربخشی ۶ هفته تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات عضلانی بر شدت درد، نوسانات مرکز فشار و عملکرد حرکتی در افراد مبتلا به سندرم درد کشکی رانی بود.

مواد و روش ها: این پژوهش از نوع کارآزمایی بالینی تصادفی شده با ۳ گروه موازی (۲ گروه آزمایش و ۱ گروه کنترل) بود. ۴۵ شرکت کننده دارای سندرم درد کشکی رانی به صورت تصادفی در ۳ گروه تمرینات ثبات مرکزی، تمرینات عضلانی و کنترل قرار گرفتند. شرکت کنندگان ۶ هفته و ۳ جلسه در هفته تمرین کردند؛ گروه اول تمرینات ثبات مرکزی و گروه دوم تمرینات عضلانی را انجام دادند. گروه کنترل هیچ گونه مداخله ای دریافت نکرد. شدت درد با استفاده از مقیاس دیداری سنجش درد، تعادل ایستا از طریق ارزیابی نوسانات مرکز فشار با دستگاه فورس پلیت و عملکرد زانو با استفاده از آزمون های اسکوات و پایین آمدن از پله، قبل و بعد از ۶ هفته تمرین (در مراحل پیش آزمون و پس آزمون) اندازه گیری شدند. برای تحلیل داده ها از آزمون تی زوجی، تحلیل کوواریانس و نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده شد. سطح معناداری در تمامی آزمون ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته ها: نتایج نشان داد هر دو گروه تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات عضلانی نسبت به گروه کنترل کاهش معناداری در شدت درد، نوسانات مرکز فشار و بهبود عملکرد حرکتی (اسکوات و گام به پایین) نشان دادند (برای همه متغیرها: $P < 0/001$). باین حال گروه تمرینات عضلانی در همه مؤلفه ها بهبود بیشتری داشت. به طور خاص، در کاهش شدت درد ($P = 0/001$)، کاهش نوسانات مرکز فشار ($P = 0/001$) و افزایش امتیاز عملکردی اسکوات ($P = 0/001$) و گام به پایین از پله ($P = 0/001$)، عملکرد گروه تمرینات عضلانی به طور معناداری بهتر از تمرینات ثبات مرکزی بود.

نتیجه گیری: تمرینات عضلانی اثربخشی بالاتری نسبت به تمرینات ثبات مرکزی در بهبود درد، تعادل ایستا و عملکرد زانو در بیماران مبتلا به سندرم درد کشکی رانی داشتند. توصیه می شود این نوع تمرینات به عنوان بخشی از پروتکل توانبخشی استاندارد برای این بیماران به کار گرفته شود.

کلیدواژه ها: سندرم درد کشکی رانی، تمرینات عضلانی، تمرینات ثبات مرکزی، کنترل پاسچر، عملکرد حرکتی، درد زانو

تاریخ دریافت: ۱۱ خرداد ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: ۲۹ شهریور ۱۳۹۹

تاریخ انتشار: ۰۱ مهر ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر حسن صادقی

نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی.

تلفن: ۰۱۱۲۲۲۲۸۰۰ (۲۱) ۹۸+

رایانامه: hassan.sadeghi@khu.ac.ir



Copyright © 2025 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

سندرم درد پاتلوفمورال^۱ یکی از شایع‌ترین اختلالات ارتوپدی به‌ویژه در میان ورزشکاران، نوجوانان و بزرگسالان فعال است که شیوع بیشتری در زنان (۶۲ درصد) نسبت به مردان (۳۸ درصد) دارد [۱]. این سندرم که معمولاً با درد در ناحیه قدامی یا پشت کشکک بروز می‌کند، در میان آسیب‌های مرتبط با دویدن نیز بیشترین فراوانی را دارد و در یک مطالعه، ۱۷ درصد از کل آسیب‌ها را شامل شده است [۱، ۲].

عوامل بسیاری را می‌توان در به وجود آمدن این عارضه مؤثر دانست که از میان آن‌ها می‌توان به اختلال در مسیر حرکتی کشکک، کاهش انعطاف‌پذیری عضلات چهارسر، همسترینگ، نوار ایلیوتیبیال و گاستروکنمیوس، ضعف عضلانی، شلی مفصلی، انحراف یا شیب غیرطبیعی پاتلا و افزایش زاویه چهارسر ران اشاره کرد [۲]. پژوهش‌ها مجموعه‌ای از عوامل خطرزای قابل‌اصلاح را در ایجاد و تداوم درد کشککی‌رانی شناسایی کرده‌اند؛ از جمله مهم‌ترین این عوامل می‌توان به ضعف عضلات چهارسر ران (به‌ویژه بخش داخلی آن)، سفتی عضلات پشت ران (همسترینگ) و عضله سوئز خاصره، سفتی عضلات گاستروکنمیوس و نوار ایلیوتیبیال، اختلال عملکرد عضلات مفصل ران (مانند ضعف عضلات دورکننده و چرخاننده خارجی ران) و پرونیشن بیش‌ازحد پا اشاره کرد [۴].

علاوه‌براین شلی عمومی رباط‌ها یا هایپر‌موبیلیتی مفصل، اختلاف طول اندام‌های تحتانی و ناهماهنگی یا تحرک بیش‌ازحد کشکک نیز از دیگر عوامل مستعدکننده در سندرم درد پاتلوفمورال محسوب می‌شوند [۴]. ضعف یا عدم تعادل در هریک از این ساختارها می‌تواند بیومکانیک مفصل کشککی‌رانی را مختل کرده و فرد را مستعد درد جلوی زانو و ناپایداری حین فعالیت کند [۴]. وجود درد مزمن و نقص‌های ذکرشده در سیستم عضلانی‌اسکلتی، تأثیر قابل‌توجهی بر الگوی راه رفتن و تعادل بیماران مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی دارد [۵]. این بیماران معمولاً با سرعت کمتری راه می‌روند، تعداد گام‌هایشان در دقیقه (کادنس) کاهش می‌یابد و گام‌های کوتاه‌تری نسبت به افراد سالم برمی‌دارند که نشان‌دهنده احتیاط در تحمل وزن بر اندام دردناک است [۵].

همچنین دامنه خم شدن زانو طی راه رفتن در این افراد کاهش یافته و در مراحل اولیه و انتهایی استقرار، گشتاور بازکنندگی زانو کمتر تولید می‌شود که این وضعیت می‌تواند به بی‌ثباتی نسبی زانو حین راه رفتن منجر شود. بااین‌حال هرچند مطالعات متعددی تلاش کرده‌اند تا وضعیت تعادل را در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی بررسی کنند، نتایج پژوهش‌ها در این زمینه متناقض و ناسازگار بوده است. برخی پژوهش‌ها گزارش کرده‌اند زنان مبتلا

به سندرم درد کشککی‌رانی هنگام بالا رفتن از پله نوسان بیشتری در مرکز فشار^۲ دارند که می‌تواند نشانه‌ای از اختلال در کنترل تعادل باشد. درحالی‌که برخی دیگر از مطالعات کاهش جابه‌جایی مرکز فشار در این بیماران را نشان داده‌اند که ممکن است بیانگر راهبردهای جبرانی یا تغییر در الگوهای حرکتی برای کاهش فشار بر مفصل باشد. این تفاوت‌های قابل‌توجه در یافته‌های مطالعاتی موجب شده است اجماع علمی قاطعی درمورد وجود یا شدت اختلال تعادل در مبتلایان به سندرم درد کشککی‌رانی حاصل نشود [۶].

طبق مطالعات انجام‌شده، زانو یکی از شایع‌ترین مفاصل آسیب‌دیده در اثر ناپایداری مرکز بدن و ضعف عضلات هیپ است [۷]. در بیماران مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی، ضعف در عضلات مرکزی، ازجمله عضلات شکمی عمقی (به‌ویژه عرضی شکمی)، عضلات گلوئوتال (میانی و بزرگ)، عضلات خم‌کننده ران و عضلات پاراورتبرال مشاهده می‌شود [۸، ۹]. این ضعف عضلانی منجر به کاهش کنترل پاسچرال، افزایش جابه‌جایی مرکز فشار و اختلال در تعادل پویا می‌شود [۹]. یافته‌های این پژوهش‌ها نشان می‌دهد گنجانیدن تمرینات تقویت عضلات مرکزی، به‌ویژه تمرینات هدفمند بر عضلات شکم، پشت و مفصل ران، در کنار برنامه‌های متداول فیزیوتراپی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود کنترل وضعیت بدن و تعادل پویا ایفا کند [۸، ۱۰].

مکانیسم‌های این بهبود شامل تغییر در سیستم‌های حسی حرکتی با بهبود عملکرد عضلات تثبیت‌کننده مرکزی، کاهش احساس درد، افزایش فعالیت عضله پهن میانی مورب^۳ به‌عنوان تثبیت‌کننده کشکک و بهبود عملکرد بیومکانیکی اندام تحتانی است [۱۱، ۷]. به‌طور خاص، تمرینات پایدارسازی مرکزی باعث فعال‌سازی هدفمند عضلات عرضی شکمی و مورب داخلی شده و این امر به بهبود کنترل دینامیک تنه و انتقال بهتر نیرو به اندام‌های تحتانی می‌انجامد [۱۱]. طبق یافته‌های دیگر تمرینات عصبی-عضلانی که شامل تقویت عضلات، تمرینات تعادلی و تمرینات حس عمقی هستند، به‌عنوان بخشی از رویکردهای رایج فیزیوتراپی برای بهبود عملکرد زانو و کاهش درد در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی مطرح شده‌اند [۱۲]. در سال‌های اخیر، تمرینات ثبات مرکزی به‌عنوان راهکاری مؤثر در بهبود عملکرد عضلات تنه، کاهش درد و بهبود تعادل دینامیک در این بیماران معرفی شده‌اند [۷، ۶]. از سوی دیگر، تمرینات عصبی-عضلانی که تمرکز آن‌ها بر بهبود حس عمقی، هماهنگی عضلانی و کنترل وضعیتی است نیز در مطالعات مختلف نتایج مثبتی بر عملکرد زانو و کاهش درد در بیماران با سندرم درد کشککی‌رانی نشان داده‌اند [۸، ۱۲].

2. Center of Pressure (COP)
3. Vastus Medialis Oblique

1. Patellofemoral Pain Syndrome (PFPS)

خم شده، مثبت بودن تست‌های بالینی مانند تست کلارک، سابقه درد بیشتر از ۴ هفته، نداشتن آرتروز شدید زانو (براساس قضاوت بالینی و در موارد مشکوک با تصویربرداری)، شاخص توده بدنی کمتر از ۳۰ کیلوگرم بر مترمربع، نداشتن سابقه اختلالات دیگر در مفصل زانو، لگن یا ستون فقرات، بیماری‌های روماتولوژیک یا جراحی و آسیب قبلی زانو. معیارهای خروج از مطالعه: تشدید درد که نیازمند درمان اضافی باشد یا بروز تروما یا جراحی حاد در اندام تحتانی یا تنه در طول دوره مداخله.

پروتکل تمرینی

گروه ۱

تمرینات ثبات مرکزی (CST) [۱۳]

تمرینات ثبات مرکزی نتایج امیدبخشی در مدیریت و کاهش سندرم درد کشککی‌رانی نشان داده‌اند. مطالعات مختلف اثربخشی تمرینات عملکردی ثبات را در کاهش سطح درد، بهبود عملکرد و تقویت بیومکانیک اندام تحتانی در بیماران مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی مورد تأکید قرار داده‌اند [۱]. همچنین پژوهش‌ها اهمیت ترکیب تمرینات ثبات مرکزی با تکنیک‌های توان‌بخشی مرسوم را در کاهش درد این بیماران تأیید کرده‌اند [۲]. به‌طور کلی گنجانیدن تمرینات ثبات مرکزی در برنامه درمانی بیماران مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی می‌تواند به بهبود نتایج درمانی و کیفیت زندگی آنان کمک کند.

تمرینات ثبات مرکزی با هدف بهبود پایداری و هماهنگی کمر، لگن، ران‌ها و زانوها انجام شدند و تمرکز آن‌ها بر تقویت عضلات عرضی شکم، مولتی‌فیدوس کمری، راست شکمی، مایل خارجی، گلوئوس میدیوس، گلوئوس ماکسیموس و مایل داخلی بود [۱۱]. تمرینات و سطح دشواری آن‌ها براساس شرایط هر فرد تنظیم شد این تمرینات به مدت ۳ جلسه ۶۰ دقیقه‌ای در هفته، به مدت ۶ هفته انجام شد. در **جدول شماره ۱**، تمرینات مورد استفاده در برنامه مداخله‌ای گروه تمرینات ثبات مرکزی ارائه شده است. نمونه‌ای از تمرین اولیه در ادامه آورده شده است.

جمع کردن شکم^۴: جمع کردن ناحیه زیر ناف بدون حرکت دادن قسمت فوقانی پشت و ستون فقرات. این انقباض حین تنفس طبیعی حفظ شده و از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا این تمرین را پیش از آغاز و حین انجام تمام تمرینات کمری لگنی اجرا کنند.

تمرینات در سه سطح دشواری طبقه‌بندی شدند. تمرینات این برنامه با ۲ ست ۱۰ تکراری ایزوتونیک و ۲ ست ۸ تکراری ایزومتریک با نگر داشت ۵ ثانیه‌ای آغاز شد. تمرینات یک‌طرفه برای هر دو سمت بدن اجرا می‌شد. در تمامی تمرینات، اجتناب

با وجود این شواهد، اغلب پژوهش‌ها تنها به بررسی جداگانه یکی از این ۲ نوع تمرین پرداخته‌اند و تأثیر ترکیبی یا مقایسه‌ای آن‌ها کمتر بررسی شده است [۹]. به‌ویژه بررسی اثرات هم‌افزایی احتمالی تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات عضبی‌عضلانی بر شاخص‌های عملکردی پیشرفته، مانند نوسانات مرکز فشار در شرایط عملکردی واقعی همچون تعادل دینامیک هنوز جای کار دارد [۳]. از این‌رو انجام پژوهش‌هایی با طراحی مداخله‌ای دقیق به‌منظور ارزیابی اثربخشی این مداخلات ترکیبی در بهبود درد و عملکرد بیماران مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر ۶ هفته تمرینات ترکیبی ثبات مرکزی و تمرینات عضبی‌عضلانی بر شدت درد و نوسانات مرکز فشار در افراد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی طراحی شده است تا از طریق طراحی مداخله‌ای دقیق به روشن‌تر شدن نقش این تمرینات در بهبود الگوهای حرکتی و کاهش علائم بالینی کمک کند.

مواد و روش‌ها

شرکت‌کنندگان و طرح مطالعه

مطالعه حاضر از نوع کارآزمایی بالینی تصادفی با طرح تجربی است که شامل ۲ گروه آزمایش و یک گروه کنترل است. در این پژوهش، برای هر سه گروه پیش‌آزمون و پس‌آزمون انجام شد و متغیر مداخله (پروتکل تمرینی) تنها برای ۲ گروه آزمایش اعمال شد.

جامعه آماری این پژوهش شامل ۴۵ زن و مرد مبتلا به سندرم درد کشککی‌رانی با دامنه سنی ۱۸ تا ۴۰ سال بود که در ۴ هفته گذشته تجربه درد داشتند. حجم نمونه به‌صورت هدفمند و باتوجه به معیارهای ورود و مرور متون، با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور نسخه ۳/۱/۷ تعیین شد. محاسبات با در نظر گرفتن توان آماری ۸۰ درصد (۱-β)، سطح معنی‌داری ۰/۰۵ (α) و اندازه اثر ۰/۵۰ برای ۳ گروه، به تخصیص اولیه ۳۹ آزمودنی (۱۳ نفر در هر گروه) منجر شد. برای پیشگیری از ریزش احتمالی شرکت‌کنندگان به میزان تقریبی ۱۵ درصد به دلایلی نظیر بیماری، غیبت از جلسات تمرینی یا انصراف داوطلبانه، تعداد نمونه در هر گروه به ۱۵ نفر افزایش یافت. تخصیص افراد به ۳ گروه با روش تصادفی ساده و به‌صورت انفرادی و با کمک برنامه اینترنتی (randomizer.org) انجام شد. یک عضو تیم پژوهشی که در فرایند انتخاب نمونه‌ها دخالتی نداشت، توالی تصادفی تخصیص را با استفاده از برنامه رایانه‌ای تعیین کرد.

معیارهای ورود به مطالعه

سن بین ۱۸ تا ۴۰ سال، وجود حداقل سه علامت یا نشانه از قبیل درد اطراف یا پشت کشکک هنگام بالا یا پایین رفتن از پله‌ها، دویدن، انجام اسکات و نشستن طولانی‌مدت با زانوهای

4. Abdominal pull-in

روش‌های اندازه‌گیری

تعیین نوسانات مرکز فشار

کنترل وضعیت ایستایی با استفاده از سکوی نیرو (Fana-varan Paya، شرکت فردوسی، شماره ۲۲/۱، مشهد، ایران، دارای استاندارد ISO ۱۳۴۸۵، سال ۲۰۲۴) ارزیابی شد این دستگاه با بهره‌گیری از سنسورهای فشار با رزولوشن فضایی بالا (۱ سنسور در هر ۰/۷ سانتی‌متر مربع) و سرعت نمونه‌برداری بالا (تا ۲۰۰ هرتز)، داده‌های دقیقی از الگوی فشار کف پا ارائه می‌دهد. همچنین از روایی و پایایی بالایی در اندازه‌گیری فشار کف پا برخوردار است و به‌عنوان یک ابزار معتبر در ارزیابی‌های بیومکانیکی، کلینیکی و پژوهشی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۵]. نیروهای عکس‌العمل زمین در ۳ بُعد با فرکانس ۵۰ هرتز ثبت شدند و نوسانات مرکز فشار با استفاده از نرم‌افزار محاسبه شد. مبدأ مسیر مرکز فشار، نقطه ابتدایی مرکز فشار در هر آزمون بود. شاخص‌های مربوط به کنترل وضعیت، شامل مساحت نوسانات مرکز فشار و سرعت بودند.

مساحت بیانگر اندازه توزیع جابه‌جایی‌های مرکز فشار در طول آزمون و سرعت نشان‌دهنده میانگین سرعت حرکت مرکز فشار در آزمون است. شرکت‌کنندگان ۳ آزمون ایستادن روی یک پا (روی اندام راست و چپ) را در وضعیت ایستاده و آرام اجرا کردند.

دست‌ها روی سینه قرار داشت و چشم‌ها باز بودند، درحالی‌که شرکت‌کنندگان به هدف دیداری ثابتی روی دیوار، به فاصله ۱ متر از سکو نگاه می‌کردند. از آن‌ها خواسته شد تا حد امکان بی‌حرکت بایستند. هر آزمون ۱۰ ثانیه به طول انجامید. در صورت تماس پای غیرتکیه‌گاهی با زمین، آزمون تکرار می‌شد. درنهایت میانگین نتایج ۳ آزمون به‌عنوان نتیجه نهایی هر شرکت‌کننده ثبت شد [۱۶].

اندازه‌گیری عملکرد زانو

شرکت‌کنندگان آزمون پایین آمدن از پله ۵ و اسکات دوطرفه ۶ را به‌صورت تصادفی انجام دادند. پایایی این آزمون‌ها اثبات شده است [۱۷].

در آزمون پایین آمدن از پله، که یک آزمون یک‌طرفه است، شرکت‌کننده روی سکویی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر قرار گرفته، پاشنه پای خود را به سمت زمین پایین می‌آورد و سپس به وضعیت کاملاً کشیده بازمی‌گردد. تعداد تکرارها در مدت ۳۰ ثانیه ثبت می‌شود.

از تقلب الزامی بود. برای کنترل اجرای صحیح و جلوگیری از حرکات جبرانی یا تقلبی، مربی مجرب در هر جلسه حضور فعال داشت و بر اجرای تمرینات با استفاده از ارزیابی کیفیت تمرینات نظارت می‌کرد. همچنین از بازخورد دیداری (استفاده از آینه) برای اصلاح وضعیت بدنی در برخی تمرینات بهره گرفته شد. زمان استراحت بین انقباضات ایزومتریک ۵ ثانیه، بین ست‌های ایزوتونیک ۳۰ ثانیه و بین تمرینات ۱ دقیقه در نظر گرفته شد. تعداد تکرارها و مدت‌زمان تمرینات به‌صورت هفتگی و فردمحور، هر هفته ۲۰ درصد یا یک ست افزایش می‌یافت. پیشرفت در تمرینات ایزوتونیک زمانی حاصل می‌شد که شرکت‌کننده بدون جبران حرکتی، ۲ ست ۱۲ تکراری را کامل انجام دهد. پیشرفت در تمرینات ایزومتریک نیز زمانی در نظر گرفته می‌شد که شرکت‌کننده بدون جبران حرکتی، ۲ ست ۸ تکراری با نگه داشتن ۸ ثانیه‌ای را به پایان برساند (تصویر شماره ۱).

گروه دوم

تمرینات عصبی-عضلانی (NMT) [۱۴]

تمرینات عصبی-عضلانی به مدت ۶ هفته و در قالب ۳ جلسه ۶۰ دقیقه‌ای در هفته انجام شد. این تمرینات که بر مبنای اصول بیومکانیکی و عصبی-عضلانی طراحی شده بودند، با هدف بهبود کنترل حس حرکتی و دستیابی به ثبات عملکردی جبرانی اجرا شدند. کنترل حس حرکتی به توانایی ایجاد حرکات هدفمند از طریق هماهنگی عضلات اشاره دارد و ثبات عملکردی نیز به توانایی حفظ پایداری بدن در حین فعالیت‌های فیزیکی گفته می‌شود. هر جلسه تمرینی شامل ۳ بخش گرم کردن، تمرین اصلی و سرد کردن بود. در بخش گرم کردن، شرکت‌کنندگان ۱۰ دقیقه با دوچرخه ثابت رکاب می‌زدند. تمرین اصلی در ۴ ایستگاه طراحی شده بود که به ترتیب شامل تمرینات ثبات مرکزی، اصلاح جهت‌گیری وضعیتی مفاصل، تقویت عضلات اندام تحتانی و تمرینات عملکردی، مانند برخاستن از صندلی یا بالا رفتن از پله می‌شد. هر تمرین در ۲ تا ۳ نوبت ۱۰ تا ۱۵ تکراری انجام می‌شد و بین هر ست زمان استراحت کوتاهی در نظر گرفته شده بود. برای هر تمرین، ۳ سطح دشواری پیش‌بینی شده بود که متناسب با توانایی شرکت‌کننده به‌تدریج افزایش می‌یافت. این افزایش سختی با تغییر در دامنه و سرعت حرکت، استفاده از سطوح ناپایدار یا اعمال بار تمرینی بیشتر صورت می‌گرفت. تمرینات روی هر دو پا انجام می‌شد، اما تمرکز اصلی روی اندام مبتلا بود. برای بهبود کنترل حرکتی و آگاهی از وضعیت بدن، برخی تمرینات در مقابل آینه اجرا شدند تا شرکت‌کنندگان از بازخورد بینایی بهره‌مند شوند (تصویر شماره ۲).

گروه سوم، گروه کنترل

در طی این مطالعه گروه کنترل تمرین خاصی نداشته و مداخله‌ای دریافت نکرد.

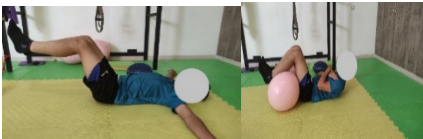
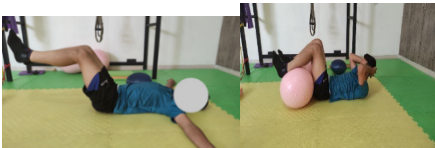
تصویر ۱. تمرینات ثبات مرکزی [۱۳]

	پل پشتی^۱ (ایزوتونیک و ایزومتریک): به پشت دراز بکشید. درحالی که کف پاها روی زمین قرار دارد، زانوها در زاویه ۹۰ درجه خم شده‌اند و دست‌ها در کنار بدن و روی زمین (کف دست‌ها رو به پایین) باسن خود را بالا بیاورید تا ران‌ها و ستون فقرات در یک راستا قرار گیرند.	۱
	بالا بردن در حالت چهار دست و پا^۲ (ایزوتونیک و ایزومتریک): در حالتی که مفاصل ران و زانو در زاویه ۹۰ درجه خم شده‌اند و بازوها و ران‌ها عمود بر زمین قرار دارند، بدن (شامل ران، ستون فقرات و سر) را در یک راستا نگه دارید. سپس، ضمن حفظ وضعیت خنثی در مفصل ران، یکی از بازوها را در حالت خم شده تا سطح موازی با زمین بالا ببرید.	۲
	گام روی پله از جانب: در کنار یک پله با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر بایستید. به‌صورت جانبی (از پهلو) و با پای نزدیک‌تر به پله، روی آن قدم بگذارید و سپس پایین بیایید.	۳
	پل تک پا^۴ (ایزوتونیک و ایزومتریک): در وضعیت پل پشت، درحالی که باسن بالا نگه داشته شده و ستون فقرات در وضعیت خنثی قرار دارد، یکی از زانوها را با بلند کردن کف پا از زمین، به‌صورت مستقیم به سمت بالا بیاورید.	۴
	بالا بردن در حالت چهار دست و پا^۲ (ایزوتونیک و ایزومتریک): در وضعیت چهار دست و پا، یکی از پاها را تا جایی بالا بیاورید که با سطح زمین موازی شود.	۵
	گام روی پله از جانب: تمرین شماره ۳ از سطح اول را تکرار کنید با این تفاوت که از پله‌ای با ارتفاع ۶ اینچ (۱۵ سانتی‌متر) استفاده شود.	۶
	پل تک پای پویا: در وضعیت پل یک‌طرفه، درحالی که زانوی پای بالآمده صاف باقی می‌ماند، ران همان پا را به جلو و عقب (باز و خم) حرکت دهید.	۷
	بالا بردن دست و پا^۲ (ایزوتونیک و ایزومتریک): در وضعیت پایه چهارپا، یک پا را تا جایی بالا ببرید که با سطح زمین موازی شود و هم‌زمان بازوی مقابل را در حالت خم شده بالا بیاورید.	۸
	گام روی پله از جانب: تمرین شماره ۳ از سطح دوم را تکرار کنید با این تفاوت که بر روی سطحی ناپایدار (مانند مت یا بالشتک) قرار گرفته روی زمین و پله انجام شود.	۹
	پل از بغل (ایزوتونیک و ایزومتریک): به پهلو دراز بکشید، به‌طوری که آرنج زیر شانه قرار داشته باشد و بازو عمود بر زمین باشد. سپس لگن را بالا بیاورید تا در راستای ستون فقرات قرار گیرد.	۱۰

طب توانبخشی

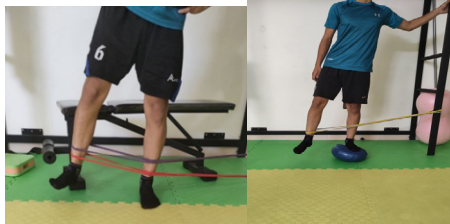
1. Back Bridge, 2. Quadriceps Raise, 3. Side Step Up and Down, 4. Unilateral Bridge

تصویر ۲. برنامه تمرینات عصبی عضلانی [۱۴]

ایستگاه تمرینی	تصویر
این ایستگاه شامل تمریناتی است که بر ثبات مرکزی و عملکرد وضعیتی تمرکز دارند. تمرینات سطح ۱: A. بالا آوردن ران با زانو خم و اهرم کوتاه، با اعمال بار روی هر دو پا B. دراز و نشست با زانو خم، هر دو پا روی توپ، بازوها در کنار بدن (اهرم کوتاه)	
تمرینات سطح ۲: A. بالا آوردن ران با زانوی نیمه‌خم و اهرم بلند، با اعمال فشار روی هر دو پا B. دراز و نشست با زانوی خم، هر دو پا روی توپ، بازوها ضربدری روی سینه (اهرم متوسط)	
تمرینات سطح ۳: A. بالا آوردن ران مانند قبل، با اعمال فشار متناوب روی پای آسیب‌دیده و پای سالم B. دراز و نشست با زانوی خم، هر دو پا روی توپ، بازوها پشت گردن (اهرم بلند)	
این ایستگاه شامل تمریناتی است که بر قرارگیری صحیح مفاصل نسبت به یکدیگر (همراستایی وضعیتی) تأکید دارند، به این معنا که مفاصل هیپ، زانو و پا در یک راستا قرار دارند. تمرینات سطح ۱: A. تمرین لغزشی جلو - عقب: در حالت ایستاده، تحمل وزن روی یک پا و قرارگیری پای دیگر روی سطح لغزنده. با قرار دادن «پای لغزنده» در عقب - به سمت جلو بلغزانید، درحالی که زانوی پای تحمل‌کننده وزن را خم و صاف می‌کنید و همراستایی مفاصل را حفظ می‌کنید. B. تمرین به پهلو: در حالت ایستاده، تحمل وزن روی یک پا و قرارگیری پای دیگر روی سطح لغزنده. با حرکت «پای لغزنده» به طرفین - به طرفین بلغزانید، درحالی که زانوی پای تحمل‌کننده وزن را خم و صاف می‌کنید و همراستایی مفاصل را حفظ می‌کنید.	
تمرینات سطح ۲: A. تمرین جلو - عقب: ایستادن بر روی سطح ناپایدار مشابه تمرین قبل (مثلاً بالشتک فوم یا تشک ضخیم). B. تمرین به پهلو: ایستادن بر روی سطح ناپایدار مشابه تمرین قبل.	
تمرینات سطح ۳: A. لایج به جلو: در حالت ایستاده، یک گام بلند به جلو برداشته و سپس بازگردید. در صورت نیاز از دست‌ها برای حفظ تعادل استفاده شود. B. لایج جانبی: در حالت ایستاده، یک گام بلند به طرفین برداشته و سپس بازگردید. در صورت نیاز از دست‌ها برای حفظ تعادل استفاده شود.	

ثبات مرکزی / عملکرد وضعیتی

اجهت‌گیری وضعیتی

تصویر	ایستگاه تمرینی
	این ایستگاه شامل تمریناتی در زنجیره حرکتی باز و بسته است که با هدف تقویت عضلات ران و زانو طراحی شده‌اند. تمرینات سطح ۱: A. دور / نزدیک کردن ران: ایستادن روی یک پا، باند کشی به پای دیگر بسته شده باشد. باند را به سمت خارج (عضلات دور کننده ران) و داخل (عضلات نزدیک کننده ران) بکشید. اطمینان حاصل شود که حتی در حالت استراحت نیز باند دارای کشش باشد. تمرکز بر عضلات دور کننده ران پای ایستاده و حفظ موقعیت صحیح مفاصل اندام تحتانی نسبت به یکدیگر و نسبت به تنه باشد؛ به طوری که هیچ جابه‌جایی جانبی در ناحیه لگن - ران رخ ندهد. B. باز کننده‌ها / خم کننده‌های زانو: در وضعیت نشسته، باند کشی به یک پا بسته شود. باند را به سمت جلو (باز کننده زانو) و عقب (خم کننده زانو) بکشید. اطمینان حاصل شود که حتی در حالت استراحت نیز باند دارای کشش باشد.
	تمرینات سطح ۲: A. دور کننده‌ها / نزدیک کننده‌های ران: مشابه تمرینات بالا، با استفاده از باند کشی با مقاومت بیشتر. B. باز کننده‌ها / خم کننده‌های زانو: مشابه تمرینات بالا، با استفاده از باند کشی با مقاومت بیشتر.
	تمرینات سطح ۳: A. دور کننده‌ها / نزدیک کننده‌های ران: مشابه تمرینات بالا، با ایستادن روی سطح ناپایدار (مانند پد فومی یا مت ضخیم). B. باز کننده‌ها / خم کننده‌های زانو: مشابه تمرینات بالا، با باند کشی و مقاومت افزایشی.
	این ایستگاه شامل تمریناتی است که مشابه فعالیت‌های روزمره زندگی هستند. تمرینات سطح ۱: A. برخاستن از صندلی: شروع از وضعیت نشسته، پاها موازی، وزن روی هر دو پا، با حمایت جزئی دست‌ها برای حفظ تعادل. B. بالا رفتن از پله: بالا رفتن (فعال سازی عضلات نزدیک کننده) و پایین آمدن (فعال سازی عضلات دور کننده) از یک پله کوتاه، با یا بدون حمایت جزئی دست برای حفظ تعادل.
	تمرینات سطح ۲: A. برخاستن از صندلی: شروع از وضعیت نشسته، پاها موازی، برخاستن بدون استفاده از دست‌ها. B. بالا رفتن از پله: بالا و پایین رفتن از یک پله با ارتفاع متوسط، با یا بدون هالتر.
	تمرینات سطح ۳: A. برخاستن از صندلی: شروع از وضعیت نشسته، یک پا جلوتر از دیگری، با یا بدون حمایت جزئی دست برای تعادل. B. بالا رفتن از پله: بالا و پایین رفتن از یک راه‌پله بلند، با یا بدون هالتر.
	سرد کردن: این بخش شامل تمرینات راه رفتن به جلو و عقب (حدود ۱۰ متر در هر جهت) در مقابل آینه، تمرینات حرکتی برای اندام تحتانی و تمرینات کششی عضلات اندام تحتانی بود که مجموعاً حدود ۱۰ دقیقه به طول انجامید.

قدرت عضلات اندام تحتانی

تمرینات عملکردی

یافته‌ها

داده‌های توصیفی

به‌منظور بررسی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان، آمار توصیفی برای متغیرهای جنسیت، سن، وزن و قد در ۳ گروه تمرینات عصبی-عضلانی، تمرینات ثبات مرکزی و گروه کنترل محاسبه شد (جدول شماره ۱).

نوسانات مرکز فشار

نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد بین گروه‌ها در متغیر مرکز فشار در پس‌آزمون تفاوت معناداری وجود دارد ($P < 0.001$).

نتایج تی زوجی به‌منظور ارزیابی تغییرات درون‌گروهی (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

در گروه تمرینات عصبی-عضلانی، کاهش میانگین نمرات از نظر آماری معنی‌دار بود ($P = 0.001$). در گروه تمرینات ثبات مرکزی نیز کاهش میانگین نمرات از نظر آماری معنی‌دار بود، اما میزان کاهش در این گروه نسبت به گروه تمرینات عصبی-عضلانی کمتر بود ($P = 0.001$). اما در گروه کنترل تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P = 0.082$).

درد زانو

نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد بین گروه‌ها در متغیر درد در پس‌آزمون تفاوت معناداری وجود دارد ($P < 0.001$) (جدول شماره ۳).

نتایج تی زوجی به‌منظور ارزیابی تغییرات درون‌گروهی (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

در گروه تمرینات عصبی-عضلانی، کاهش میانگین نمرات درد از نظر آماری معنی‌دار بود ($P = 0.001$). در گروه تمرینات ثبات مرکزی نیز کاهش میانگین نمرات درد به‌طور آماری معنی‌دار بود، اما میزان کاهش در این گروه نسبت به گروه تمرینات عصبی-عضلانی کمتر بود ($P = 0.001$). در گروه کنترل، تغییرات میانگین نمرات درد از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P = 0.071$).

در آزمون اسکات دوطرفه، شرکت‌کنندگان درحالی‌که زانوهایشان کاملاً کشیده و پاهایشان به عرض هیپ باز هستند، می‌ایستند. سپس زانوهای را تا ۹۰ درجه خم کرده و مجدداً به وضعیت ایستاده بازمی‌گردند. هر چرخه شامل ایستادن، خم کردن زانو تا ۹۰ درجه و بازگشت به وضعیت اولیه است. تعداد چرخه‌ها در ۳۰ ثانیه، امتیاز این آزمون را تشکیل می‌دهد.

اندازه‌گیری درد

برای اندازه‌گیری شدت درد شرکت‌کنندگان از مقیاس دیداری آنالوگ استفاده شد؛ ابزاری روان‌سنجی که به‌طور گسترده برای سنجش شدت درد کاربرد دارد. شرکت‌کنندگان شدت درد خود را بر روی یک خط افقی ۱۰ واحدی مشخص کردند؛ نقطه شروع نشان‌دهنده «بدون درد» (نمره صفر با تصویر چهره خندان) و نقطه انتهایی نشان‌دهنده «درد بسیار شدید» (نمره ۱۰ با چهره ناراحت و دردناک) است. روایی و پایایی این ابزار بسیار بالا گزارش شده است ($ICC = 0.91$) [۱۸].

روش آماری

برای تحلیل داده‌های خام از آمار توصیفی و برای بررسی فرضیه‌های پژوهش از آمار استنباطی استفاده شد. به‌منظور توصیف داده‌ها، از میانگین و انحراف‌معیار برای هر گروه و در هر زمان استفاده شد تا توزیع و تغییرات متغیرهای درد، نوسانات مرکز فشار و عملکرد زانو نشان داده شود. برای تحلیل داده‌ها، از ترکیبی از تحلیل کوواریانس^۷ و آزمون تی زوجی استفاده شد. به‌منظور بررسی تفاوت بین گروه‌ها در پس‌آزمون، تحلیل کوواریانس با کنترل اثر مقادیر پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر هم‌پراش^۸ به کار رفت. برای تحلیل تغییرات درون‌گروهی (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) در هر گروه، از آزمون تی زوجی استفاده شد. در صورت معنادار بودن نتایج و از آزمون تعقیبی بونفرونی^۹ برای مقایسه‌های دوبه‌دو استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۱ و در سطح معناداری $P = 0.05$ تحلیل شدند.

7. ANCOVA
8. Covariate
9. Bonferroni

جدول ۱. میانگین و انحراف‌معیار متغیرها در گروه‌های مختلف

متغیر	گروه	تمرینات عصبی-عضلانی (NMT)	تمرینات ثبات مرکزی (CST)	میانگین ± انحراف‌معیار	کنترل
سن (سال)		۲۳/۸۰ ± ۴/۸۲	۲۳/۵۳ ± ۴/۰۳	۲۲/۵۳ ± ۳/۵۲	
وزن (کیلوگرم)		۶۷/۲۶ ± ۱۳/۶۷	۶۷/۰۰ ± ۱۱/۷۸	۷۱/۰۰ ± ۱۰/۰۸	
قد (سانتی‌متر)		۱۶۷/۳۳ ± ۱۰/۸۷	۱۷۰/۰۶ ± ۷/۴۷	۱۷۲/۱۳ ± ۶/۶۵	

جدول ۲. نتایج آزمون تی زوجی برای مقایسه درون گروهی پیش آزمون و پس آزمون

متغیر	گروه	میانگین $\pm$ انحراف معیار		مقدار احتمال
		پیش آزمون	پس آزمون	
نوسانات مرکز فشار	تمرینات عصبی عضلانی	۲۴۸/۶۳ $\pm$ ۷۴/۲۵	۱۸۴/۹۶ $\pm$ ۴۵/۱۰	۰/۰۰۱
	تمرینات ثبات مرکزی	۲۴۲/۶۲ $\pm$ ۳۷/۵۶	۲۱۹/۰۴ $\pm$ ۳۶/۳۶	۰/۰۰۱
	کنترل	۲۵۰/۵۰ $\pm$ ۴۲/۶۱	۲۵۴/۰۰ $\pm$ ۴۲/۴۹	۰/۰۸۲
شدت درد (مقیاس دیداری VAS)	تمرینات عصبی عضلانی	۵/۲۵ $\pm$ ۰/۲۱	۳/۲۳ $\pm$ ۰/۴۴	۰/۰۰۱
	تمرینات ثبات مرکزی	۵/۳۰ $\pm$ ۰/۳۳	۴/۰۳ $\pm$ ۰/۳۴	۰/۰۰۱
	کنترل	۵/۲۷ $\pm$ ۰/۳۵	۵/۱۱ $\pm$ ۰/۳۳	۰/۰۷۱
عملکرد اسکوات	تمرینات عصبی عضلانی	۹/۶۰ $\pm$ ۱/۹۹	۱۳/۷۳ $\pm$ ۲/۱۲	۰/۰۰۱
	تمرینات ثبات مرکزی	۹/۹۳ $\pm$ ۱/۵۸	۱۱/۶۷ $\pm$ ۱/۹۵	۰/۰۰۱
	کنترل	۹/۳۳ $\pm$ ۱/۵۴	۸/۹۲ $\pm$ ۱/۹۱	۰/۰۵۴
عملکرد گام به پایین از پله	تمرینات عصبی عضلانی	۵/۶۷ $\pm$ ۱/۷۶	۹/۷۳ $\pm$ ۲/۱۵	۰/۰۰۱
	تمرینات ثبات مرکزی	۶/۱۳ $\pm$ ۱/۲۵	۱۱/۲۰ $\pm$ ۲/۵۴	۰/۰۰۱
	کنترل	۵/۹۳ $\pm$ ۱/۱۶	۵/۷۳ $\pm$ ۱/۲۲	۰/۲۷۱

طب توانبخشی

نمرات اسکوات

تحلیل کوواریانس نشان داد بین گروه‌ها در متغیر نمرات اسکوات در پس آزمون تفاوت معناداری وجود دارد ($P < ۰/۰۰۱$) (جدول شماره ۳).

نمرات گام به پایین از پله

تحلیل کوواریانس نشان داد بین گروه‌ها در متغیر عملکرد گام به پایین از پله در پس آزمون تفاوت معناداری وجود دارد ($P < ۰/۰۰۱$) (جدول شماره ۳).

نتایج تی زوجی به منظور ارزیابی تغییرات درون گروهی (پیش آزمون و پس آزمون) در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

نتایج تی زوجی به منظور ارزیابی تغییرات درون گروهی (پیش آزمون و پس آزمون) در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

در گروه تمرینات عصبی عضلانی، افزایش میانگین نمرات اسکوات از نظر آماری معنی دار بود ($P = ۰/۰۰۱$). در گروه تمرینات ثبات مرکزی نیز افزایش میانگین نمرات اسکوات به طور آماری معنی دار بود، اما میزان افزایش در این گروه نسبت به گروه تمرینات عصبی عضلانی کمتر بود ($P = ۰/۰۰۱$). در گروه کنترل، تغییرات میانگین نمرات اسکوات از نظر آماری معنی دار نبود ($P = ۰/۰۵۴$).

در گروه تمرینات عصبی عضلانی، افزایش میانگین نمرات گام به پایین از پله از نظر آماری معنی دار بود ($P = ۰/۰۰۱$). در گروه تمرینات ثبات مرکزی نیز افزایش میانگین نمرات گام به پایین از پله به طور آماری معنی دار بود، اما میزان افزایش در این گروه نسبت به گروه تمرینات عصبی عضلانی کمتر بود ($P = ۰/۰۰۱$). در گروه کنترل، تغییرات میانگین نمرات گام به پایین از پله از نظر آماری معنی دار نبود ($P = ۰/۲۷۱$).

جدول ۳. نتایج تحلیل کوواریانس برای مقایسه بین گروهی در پس آزمون (با کنترل اثر پیش آزمون)

متغیر	مقدار (F)	سطح معنی داری (P)	اندازه اثر (η^2)
نوسانات مرکز فشار	۵۲/۶۳	۰/۰۰۱	۰/۸۲۰
شدت درد (مقیاس دیداری VAS)	۱۱۸/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۸۵۲
عملکرد اسکوات	۱۱۲/۶۰	۰/۰۰۱	۰/۸۴۶
عملکرد گام به پایین از پله	۴۴/۸۲	۰/۰۰۱	۰/۶۸۶

طب توانبخشی

بحث

همچنین این یافته با نتایج فروغی و همکاران [۹] هم‌راستا است که گزارش کردند تمرینات کنترل وضعیتی مرکزی موجب بهبود تعادل ایستا در زنان مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی می‌شود [۹]. علاوه بر آن، مشاهده شد که نمرات درد در گروه NMT به‌طور معنی‌داری بیش از CST کاهش یافتند که مؤید اثربخشی این تمرینات در کاهش بارهای غیرطبیعی بر مفصل پتلوفمورال و اصلاح فعالیت عضلات پروگزیمال در طول حرکات عملکردی است. مکانیسم احتمالی این بهبود را می‌توان در اصلاح الگوی حرکتی زنجیره بسته و کاهش والگوس دینامیک زانو در طول فعالیت‌های روزمره جست‌وجو کرد. نمرات عملکردی (اسکوات و گام به پایین از پله) نیز در هر دو گروه آزمایش بهبود یافت، اما بیشترین میزان پیشرفت مربوط به گروه NMT بود. این موضوع نشان می‌دهد تمرینات عصبی‌عضلانی که به‌صورت هدفمند روی تقویت عضلات کلیدی هیپ، زانو و مچ پا همراه با تمرینات تعادلی و حس عمقی متمرکزند، عملکرد حرکتی واقعی فرد را بهتر بهبود می‌بخشند؛ چراکه ترکیبی از قدرت، کنترل و هماهنگی را در فعالیت‌های عملکردی روزمره ارتقا می‌دهند. از دیگر مطالعاتی که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌راستا بود، نتایج مطالعه سیلوا و همکاران بود که در آن، تمرینات عصبی‌عضلانی به‌عنوان مداخله‌ای مؤثر در کاهش درد و بهبود عملکرد زانو در زنان مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی معرفی شده است. در این مطالعه، تمرینات NMT نسبت به روش‌های دیگر، مانند تقویت عضلات تنه و اندام تحتانی، تأثیرات مطلوب‌تری بر کاهش درد و بهبود عملکرد زانو نشان دادند [۲۰].

در تبیین بیشتر یافته‌های این مطالعه، شواهد متعددی بر اثربخشی تمرینات هدفمند تقویتی ناحیه هیپ، تمرینات ثبات مرکزی و آموزش‌های عصبی‌عضلانی در بهبود علائم بیماران مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی تأکید دارند. با این حال تفاوت اثربخشی بین ۲ نوع تمرین می‌تواند به ماهیت متفاوت آن‌ها در فعال‌سازی ساختارهای عصبی‌عضلانی بازگردد. تمرینات عصبی‌عضلانی با بهره‌گیری از تمرینات تعادلی، تمرینات حس عمقی، اصلاح هم‌راستایی مفاصل و تقویت عملکرد یکپارچه عضلات پروگزیمال اندام تحتانی، موجب بهبود هماهنگی عصبی‌عضلانی، افزایش ثبات دینامیک و کاهش والگوس دینامیک زانو در فعالیت‌های عملکردی می‌شوند. در مقابل، تمرینات ثبات مرکزی بیشتر بر تقویت عضلات تنه متمرکز بوده و اگرچه می‌توانند به بهبود ثبات عمومی کمک کنند، اما کمتر درگیر اصلاح راهبردهای حرکتی اندام تحتانی و تطابقات حس حرکتی خاص در زانو می‌شوند. این موضوع می‌تواند دلیل برتری مشاهده‌شده در گروه NMT در شاخص‌هایی نظیر نوسانات مرکز فشار و عملکرد اسکوات و گام به پایین باشد، چراکه این تمرینات تطابقات عصبی و الگوهای حرکتی مؤثرتر و اختصاصی‌تری را در زمینه فعالیت‌های روزمره و تعادل فراهم می‌کنند. پژوهش جلا و همکاران نشان داد تمرینات ترکیبی شامل تقویت عضلات دورکننده و چرخاننده

هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر ۶ هفته تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات عصبی‌عضلانی بر شدت درد، نوسانات مرکز فشار و عملکرد زانو در افراد مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی (سندرم درد کشکی‌رانی) بود. نتایج این پژوهش نشان داد هر ۲ نوع تمرین تأثیر معناداری بر کاهش درد، بهبود تعادل ایستا و افزایش عملکرد حرکتی دارند، اما تمرینات عصبی‌عضلانی اثربخشی بیشتری نسبت به تمرینات ثبات مرکزی داشتند، که می‌توان آن را به چند عامل کلیدی نسبت داد. نخست، تمرینات عصبی‌عضلانی معمولاً چندبعدی هستند و هم‌زمان بر بهبود حس عمقی، هماهنگی عضلانی، قدرت، الگوی حرکتی و تعادل تمرکز دارند؛ درحالی‌که تمرینات ثبات مرکزی بیشتر به بهبود کنترل تنه محدود می‌شوند. دوم، تمرینات NMT مستقیماً الگوهای حرکتی معیوب مرتبط با سندرم درد کشکی‌رانی مانند والگوس دینامیک زانو و ضعف عضلات دورکننده و چرخاننده خارجی مفصل ران را هدف قرار می‌دهند که اثرات بالینی ملموس‌تری در کاهش درد و افزایش عملکرد دارند.

مطالعات متعدد نقش کلیدی ضعف عضلات مرکزی و اختلال در کنترل عصبی‌عضلانی را در ایجاد و پایداری سندرم درد کشکی‌رانی تأیید کرده‌اند. به‌ویژه، نتایج مطالعه خلید و همکاران نیز نشان داد تمرینات عصبی‌عضلانی مرکزی نسبت به درمان‌های محافظه‌کارانه صرف، بهبود بیشتری در شدت درد و عملکرد حرکتی ایجاد می‌کنند [۱۸]. همچنین مطالعه بهوتو و همکاران نشان داد تمرینات قدرتی هدفمند (خصوصاً تقویت عضلات دورکننده و چرخاننده خارجی ران) نسبت به تمرینات عصبی‌عضلانی تأثیر بیشتری در ارتقای عملکرد و کاهش درد بیماران سندرم درد کشکی‌رانی دارد. گرچه هر دو نسبت به گروه کنترل مؤثرتر بودند [۱۹].

در پژوهش حاضر، کاهش نوسانات مرکز فشار در گروه NMT قابل‌توجه بود که این موضوع می‌تواند به توانایی تمرینات عصبی‌عضلانی در بهبود عملکرد سامانه‌های حسی حرکتی بازخوردی نسبت داده شود. این تمرینات مانند یک «نقشه‌برداری عصبی مجدد» عمل می‌کنند که به مغز کمک می‌کند تا کنترل بهتری بر حرکات و تعادل داشته باشد؛ درحالی‌که تمرینات ثبات مرکزی بیشتر به تقویت عضلات مرکزی بدن پرداخته و تأثیرات غیرمستقیمی بر تعادل دارند. این یافته‌ها با نتایج مطالعه هو و همکاران هم‌راستا هستند که در آن تمرینات عصبی‌عضلانی شامل تقویت عضلات چهارسر ران و گلوئیتال، تمرینات تعادلی و آموزش حس عمقی مفصل زانو به‌عنوان مداخله‌ای مؤثر در کاهش درد و بهبود عملکرد زانو در دوندگان مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی معرفی شده است. در این مطالعه، تمرینات NMT نسبت به روش‌های دیگر مانند تیپینگ و آموزش سلامت، تأثیرات مطلوب‌تری بر کاهش درد و بهبود عملکرد زانو نشان دادند [۱۲].

خارجی هیپ همراه با کشش چرخاننده‌های داخلی، در بهبود درد و عملکرد زانو در زنان مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی مؤثرتر از تمرینات رایج بودند [۲۱].

به همین ترتیب، تادش و همکاران نیز دریافتند اضافه کردن تمرینات ثبات مرکزی به برنامه‌های تقویتی معمول باعث بهبود معنادار درد و عملکرد شد و مشخص شد ضعف در عضلات مرکزی نقش مهمی در پایداری زنجیره حرکتی اندام تحتانی ایفا می‌کند [۲۲]. بررسی بیومکانیکی پاورز نیز نشان داد چرخش داخلی بیش‌ازحد ران می‌تواند با افزایش والگوس دینامیک زانو و بدتر شدن الگوی حرکتی مرتبط باشد که این یافته‌ها بر اهمیت تمرکز بر اصلاح عملکرد مفصل هیپ تأکید دارند [۲۳]. همچنین سوزا و همکاران نشان دادند در زنان مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی، میزان چرخش داخلی ران طی حرکات تحمل وزن نسبت به افراد سالم بیشتر بوده است که می‌تواند منجر به بدشکلی‌های عملکردی در مفصل پاتلوفمورال شود [۲۴]. افزون‌برآن، میرا و برومیت در یک مرور سیستماتیک، بیان کردند مداخلات عصبی-عضلانی، ازجمله تمرینات کنترل پاسچر، آموزش حس عمقی و تمرینات تعادلی، اثر مثبتی بر درد و عملکرد حرکتی بیماران مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی دارند [۲۵]. درنهایت سیلوا و همکاران نیز تمرینات عصبی-عضلانی را مؤثرتر از تمرینات تقویتی تنه و اندام تحتانی در کاهش درد و بهبود عملکرد زانو معرفی کردند [۲۶].

علاوه بر این یافته‌ها، یکی دیگر از نتایج قابل توجه مطالعه حاضر، بهبود تعادل ایستا در اثر تمرینات NMT بیش از CST بود که کاهش نوسانات مرکز فشار را در پی داشت. این نتیجه دارای اهمیت کاربردی ویژه‌ای در طراحی برنامه‌های توانبخشی برای ورزشکاران و بیماران مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی است، زیرا تعادل ایستا نقش کلیدی در پیشگیری از افتادن، بهبود کنترل پاسچر و بازگشت ایمن به فعالیت‌های ورزشی دارد [۴]. یافته‌های مشابهی نیز در مطالعات بالینی گزارش شده‌اند؛ به‌عنوان نمونه، بولگلا و همکاران بیان کردند ضعف در عضلات هیپ و تنه می‌تواند الگوهای حرکتی ناکارآمدی ایجاد کند که منجر به کاهش ثبات پاسچرال در بیماران سندرم درد کشکی‌رانی شود [۲۷]. بنابراین استفاده از تمرینات عصبی-عضلانی در مراکز فیزیوتراپی، کلینیک‌های طب ورزشی و حتی در برنامه‌های بازتوانی خانگی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر در ارتقای تعادل، کاهش خطر آسیب مجدد و بهبود عملکرد حرکتی این بیماران مورد استفاده قرار گیرد [۲۲، ۲۸].

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد هر ۲ نوع تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات عصبی-عضلانی می‌توانند موجب کاهش درد، بهبود تعادل ایستا و ارتقای عملکرد حرکتی در افراد مبتلا به سندرم

درد کشکی‌رانی (سندرم درد کشکی‌رانی) شوند، اما تمرینات عصبی-عضلانی اثربخشی بیشتری در کلیه شاخص‌های عملکردی از خود نشان دادند. این یافته‌ها بر اهمیت گنجاندن مداخلات چندبعدی، شامل تمرینات تعادلی، حس عمقی و تقویت عضلات پروگزیمال در طراحی پروتکل‌های درمانی این بیماران تأکید دارد. بنابراین توصیه می‌شود در توانبخشی افراد مبتلا به سندرم درد کشکی‌رانی، تمرینات عصبی-عضلانی به‌عنوان یکی از ارکان اصلی مداخله درمانی مدنظر قرار گیرد تا علاوه بر کاهش علائم، عملکرد روزمره و کیفیت زندگی آنان نیز بهبود یابد.

ازجمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به اندازه نمونه نسبتاً محدود اشاره کرد که ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج را به جمعیت‌های بزرگ‌تر کاهش دهد. همچنین عدم ارزیابی مستقیم قدرت عضلات و حس عمقی باعث شد تا نتوان به‌طور دقیق سازوکارهای زیربنایی بهبود عملکرد را تبیین کرد. علاوه‌براین کنترل نکردن عوامل روان‌شناختی، مانند ترس از حرکت یا اضطراب مرتبط با درد می‌تواند بر پاسخ‌های عملکردی و شدت درد اثرگذار باشد و در تحلیل نهایی مداخله‌ها نقش مداخله‌گر ایفا کند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، اثرات طولانی‌مدت تمرینات عصبی-عضلانی و ثبات مرکزی با استفاده از پیگیری‌های چندماهه مورد بررسی قرار گیرد تا پایداری نتایج درمانی ارزیابی شود. همچنین، سنجش کمی قدرت عضلات کمر بند لگنی و بررسی دقیق حس عمقی اندام تحتانی به‌عنوان متغیرهای میانجی، می‌تواند به درک بهتر مکانیسم‌های اثرگذار این مداخلات کمک کند. علاوه‌براین پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده به مقایسه اثربخشی ترکیب تمرینات قدرتی هدفمند عضلات ران (به‌ویژه عضلات دورکننده و چرخاننده خارجی مفصل ران) با تمرینات عصبی-عضلانی بپردازند تا مشخص شود کدام رویکرد یا ترکیب تمرینی بیشترین اثر را در بهبود درد، عملکرد حرکتی و کنترل پاسچر در مبتلایان به سندرم درد کشکی‌رانی دارد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه خوارزمی با کد (IR.KHU.REC.1403.144) تأیید شده و در سامانه ثبت کارآزمایی‌های بالینی ایران با کد (IRCT20180627040251N10) ثبت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی به شماره (۱۳۷۵۳/د) سینا سعید عسکری در گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی دانشگاه خوارزمی است و تحت حمایت مالی دانشگاه خوارزمی می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌سازی، روش‌شناسی و مدیریت پروژه: سینا سعید
عسکری و حسن صادقی؛ اعتبارسنجی: حسن صادقی؛ تحلیل:
سعیدعسکری و مهران مدیحیان؛ تحقیق و بررسی، منابع
و بصری‌سازی: سینا سعیدعسکری، حسن صادقی و مهران
مدیحیان؛ نگارش پیش‌نویس، ویراستاری و نهایی‌سازی نوشته
و تأیید نسخه نهایی: همه نویسندگان؛ نظارت: حسن صادقی و
علی شاه حسینی..

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از معاونت آموزشی و پژوهشی **دانشگاه خوارزمی** به دلیل
حمایت‌های علمی و فراهم‌سازی بستر مناسب جهت انجام این
مطالعه سپاس‌گزاری می‌شود.

References

- [1] Prins MR, Van der Wurff P. Females with patellofemoral pain syndrome have weak hip muscles: A systematic review. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2009; 55(1):9-15. [DOI:10.1016/S0004-9514(09)70055-8] [PMID]
- [2] Kim H, Song CH. Comparison of the VMO/VL EMG ratio and onset timing of VMO relative to VL in subjects with and without patellofemoral pain syndrome. *Journal of Physical Therapy Science*. 2012; 24(12):1315-7. [DOI:10.1589/jpts.24.1315]
- [3] Meira EP, Brumitt J. Influence of the hip on patients with patellofemoral pain syndrome: A systematic review. *Sports Health*. 2011; 3(5):455-65. [DOI:10.1177/1941738111415006] [PMID]
- [4] Halabchi F, Mazaheri R, Seif-Barghi T. Patellofemoral pain syndrome and modifiable intrinsic risk factors; how to assess and address? *Asian Journal of Sports Medicine*. 2013; 4(2):85-100. [DOI:10.5812/asjms.34488] [PMID]
- [5] Arazpour M, Bahrmanian F, Abutorabi A, Nourbakhsh ST, Alidousti A, Aslani H. The effect of patellofemoral pain syndrome on gait parameters: A literature review. *Archives of Bone and Joint Surgery*. 2016; 4(4):298-306. [PMID]
- [6] Chevidikunnan MF, Al Saif A, Gaowgzeh RA, Mamdouh KA. Effectiveness of core muscle strengthening for improving pain and dynamic balance among female patients with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Physical Therapy Science*. 2016; 28(5):1518-23. [DOI:10.1589/jpts.28.1518] [PMID]
- [7] Zavvar F, Cheshomi S, Vizvari E. [The effect of 8 weeks of core stability with improving knee proprioception training on balance, pain and functional disability in women with chronic knee pain (Persian)]. *Research in Sport Medicine and Technology*. 2022; 12(23):111-22. [Link]
- [8] Motealleh A, Mohamadi M, Moghadam MB, Nejati N, Arjang N, Ebrahimi N. Effects of core neuromuscular training on pain, balance, and functional performance in women with patellofemoral pain syndrome: A clinical trial. *Journal of Chiropractic Medicine*. 2019; 18(1):9-18. [DOI:10.1016/j.jcm.2018.07.006] [PMID]
- [9] Foroughi F, Sobhani S, Yoosefinejad AK, Motealleh A. Added value of isolated core postural control training on knee pain and function in women with patellofemoral pain syndrome: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2019; 100(2):220-9. [DOI:10.1016/j.apmr.2018.08.180] [PMID]
- [10] Zuk EF, Kim G, Rodriguez J, Hallaway B, Kuczo A, Deluca S, et al. The utilization of core exercises in patients with patellofemoral pain: A critically appraised topic. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2021; 30(7):1094-7. [DOI:10.1123/jsr.2020-0350] [PMID]
- [11] Bjerkefors A, Ekblom MM, Josefsson K, Thorstensson A. Deep and superficial abdominal muscle activation during trunk stabilization exercises with and without instruction to hollow. *Manual Therapy*. 2010; 15(5):502-7. [DOI:10.1016/j.math.2010.05.006] [PMID]
- [12] Hu H, Zheng Y, Liu X, Gong D, Chen C, Wang Y, et al. Effects of neuromuscular training on pain intensity and self-reported functionality for patellofemoral pain syndrome in runners: Study protocol for a randomized controlled clinical trial. *Trials*. 2019; 20(1):409. [DOI:10.1186/s13063-019-3503-4] [PMID]
- [13] Hernandez D, Dimaro M, Navarro E, Dorado J, Accoce M, Salzberg S, et al. Efficacy of core exercises in patients with osteoarthritis of the knee: A randomized controlled clinical trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2019; 23(4):881-7. [DOI:10.1016/j.jbmt.2019.06.002] [PMID]
- [14] Ageberg E, Link A, Roos EM. Feasibility of neuromuscular training in patients with severe hip or knee OA: The individualized goal-based NEMEX-TJR training program. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2010; 11:126. [DOI:10.1186/1471-2474-11-126] [PMID]
- [15] Norouzi E, Bagheri M, Bani MA, Tafti N. Comparison of the effect of custom-made medial arch support insole with and without medial sole wedge on the degree of pain and hallux valgus by digital imaging immediately and after six weeks of use. *Archives of Pharmacy Practice*. 2020; 11(1-2020):79-84. [Link]
- [16] Hertel J, Gay MR, Denegar CR. Differences in postural control during single-leg stance among healthy individuals with different foot types. *Journal of Athletic Training*. 2002; 37(2):129-32. [PMID]
- [17] Loudon JK, Wiesner D, Goist-Foley HL, Asjes C, Loudon KL. Intra-rater reliability of functional performance tests for subjects with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Athletic Training*. 2002; 37(3):256-61. [PMID]
- [18] Khalid A, Javed N, Fatima N. Comparative effects of core neuromuscular training versus conservative physical therapy to reduce pain and improve functional performance in patients with patellofemoral pain syndrome: Effects of core neuromuscular training versus conservative physical therapy. *THE THERAPIST (Journal of Therapies & Rehabilitation Sciences)*. 2024; 5(1):41-5. [DOI:10.54393/tt.v5i01.190]
- [19] Bhutto MA, Nazir AU, Katta RK, Rani M, Talha M, Sheikh N. Effect of strengthening versus neuromuscular training on pain and functionality in individuals with patellofemoral pain syndrome. *Allied Medical Research Journal*. 2024; 2(2):140-8. [DOI:10.59564/amrj/02.02/016]
- [20] Silva NC, Silva MC, Guimarães MG, Nascimento MBO, Felício LR. Effects of neuromuscular training and strengthening of trunk and lower limbs muscles in women with Patellofemoral Pain: A protocol of randomized controlled clinical trial, blind-ed. *Trials*. 2019; 20(1):586. [DOI:10.1186/s13063-019-3650-7] [PMID]
- [21] Jellad A, Kalai A, Guedria M, Jguirim M, Elmhadi S, Salah S, et al. Combined hip abductor and external rotator strengthening and hip internal rotator stretching improves pain and function in patients with patellofemoral pain syndrome: A randomized controlled trial with crossover design. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2021; 9(4):2325967121989729. [DOI:10.1177/2325967121989729] [PMID]
- [22] Tazesh B, Mansournia MA, Halabchi F. Additional effects of core stability exercises on pain and function of patients with patellofemoral pain: A randomized controlled trial. *Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation*. 2021. [DOI:10.1177/2210491721989075]

- [23] Powers CM. The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: A biomechanical perspective. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2010; 40(2):42-51. [DOI:10.2519/jospt.2010.3337] [PMID]
- [24] Souza RB, Draper CE, Fredericson M, Powers CM. Femur rotation and patellofemoral joint kinematics: A weight-bearing magnetic resonance imaging analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2010; 40(5):277-85. [DOI:10.2519/jospt.2010.3215] [PMID]
- [25] Earl JE, Hoch AZ. A proximal strengthening program improves pain, function, and biomechanics in women with patellofemoral pain syndrome. *The American Journal of Sports Medicine*. 2011; 39(1):154-63. [DOI:10.1177/0363546510379967] [PMID]
- [26] Topuz S, Kirdi E, Yalcin AI, Ulger O, Keklice H, Sener G. Effects of arm swing on spatiotemporal characteristics of gait in unilateral transhumeral amputees. *Gait & Posture*. 2019; 68:95-100. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2018.11.010] [PMID]
- [27] Bolgia LA, Malone TR, Umberger BR, Uhl TL. Hip strength and hip and knee kinematics during stair descent in females with and without patellofemoral pain syndrome. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2008; 38(1):12-8. [DOI:10.2519/jospt.2008.2462] [PMID]
- [28] Barbado D, Barbado LC, Elvira JLL, Dieën JHV, Vera-Garcia FJ. Sports-related testing protocols are required to reveal trunk stability adaptations in high-level athletes. *Gait & Posture*. 2016; 49:90-6. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2016.06.027] [PMID]

This Page Intentionally Left Blank