Journal of Gorgan University of Medical Sciences

e-ISSN: 2008-4080 p-ISSN: 1562-4765

2025 / Vol 27 / No 1

OPEN ACCESS

Original Paper

Effect of Closed Kinetic Chain Exercises on Plantar Foot Pressure Dynamics in Women with Patellofemoral Pain Syndrome

Leila Sabouri (M.Sc)[1], Abbas Meamarbashi (Ph.D)*[2], Mohsen Barghamadi (Ph.D)[3], Zeljko Zilic (Ph.D)[4], Amir Fatollahi [5]

1 Master's Degree in Sports Biomechanics, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. 2 Professor, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. 3 Associate Professor, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. 4 Professor of Electrical and Computer Engineering, McGill University, Montreal, Canada. 5 Ph.D Candidate in Sports Biomechanics, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

Abstract

Background and Objective: Patellofemoral pain syndrome (PFPS) is among the common causes of anterior knee pain in adolescents and individuals under 60 years of age. This study was conducted to determine the effect of closed kinetic chain exercises on changes in plantar foot pressure dynamics in women with PFPS.

Methods: This quasi-experimental study was conducted on 30 female university students aged 20 to 35 divided into two groups of 15 (one group diagnosed with PFPS and a healthy control group) at Mohaghegh Ardabili University in 2023. The PFPS group had a pain history of at least two months to a maximum of one year. The experimental group performed closed kinetic chain exercises three times a week for eight weeks. Plantar foot pressure variables were measured using a pressure foot scanner (sampling rate of 300 Hz).

Results: The peak forces in the first toe during slow-speed running exhibited a statistically significant decrease in both the healthy group (64.91 ± 28.69) and the PFPS group (215.19 ± 60.28). Furthermore, the time to reach the peak ground reaction force in the PFPS group (49.65 ± 44.332) showed a statistically significant increase during the post-test at slow-speed running ($P<0.05$). The external heel force (153.97±3.62) and the fifth metatarsal bone (65.19±19.77) in the healthy group demonstrated a statistically significant reduction in the post-test compared to the PFPS group during fast-speed running ($P<0.05$). In both the healthy and PFPS groups, statistically significant decreases were observed in the post-test for center of pressure (COP) displacement variables in the mediolateral and anteroposterior directions during both slow-speed and fast-speed running ($P<0.05$). Additionally, in the healthy group, a statistically significant reduction was found in the post-test for COP displacement at the first toe (64.5±51.08) during fast-speed running ($P<0.05$).

Conclusion: Closed kinetic chain exercises lead to a statistically significant reduction in plantar foot pressure variables in women with PFPS and healthy women.

Keywords: Kinetics, Exercise Therapy, Patellofemoral Pain Syndrome

***Corresponding Author:** Abbas Meamarbashi (Ph.D), **E-mail:** a_meamarbashi@yahoo.com

Received 14 Jan 2024
Final Revised 29 Jul 2024
Accepted 3 Aug 2024
Published Online 16 Apr 2025

Cite this article as: Sabouri L, Meamarbashi A, Barghamadi M, Zilic Z, Fatollahi A. [Effect of Closed Kinetic Chain Exercises on Plantar Foot Pressure Dynamics in Women with Patellofemoral Pain Syndrome]. J Gorgan Univ Med Sci. 2025; 27(1): 25-33. [Article in Persian]

10.21859/JGorganUnivMedSci.27.1.25

© The author(s)
Owned: Golestan University of Medical Sciences **Publisher:** Deputy of Research and Technology

Journal of Gorgan University of Medical Sciences

Extended Abstract

2025 / Vol 27 / No 1

Introduction

Patellofemoral pain syndrome (PFPS) is among the common causes of anterior knee pain in adolescents and adults under 60 years of age. PFPS can arise as a result of multiple factors, including structural and kinematic issues, such as an imbalance between the vastus medialis and vastus lateralis muscles, patellar malalignment, and an excessively large Q-angle. One factor contributing to PFPS that has garnered increasing attention from researchers is abnormal femoral kinematics, which alters the mechanics of the patellofemoral joint. For instance, 30 degrees of internal femoral rotation can increase contact pressure within the patellofemoral joint. Additionally, if the activity of the vastus medialis muscle is greater than that of the vastus lateralis, or if the onset of vastus medialis muscle activity is delayed, the patellar gliding movement may become abnormal, leading to anterior knee pain. Reduced knee flexion in women with PFPS is a compensatory strategy to alleviate pain, which disrupts shock absorption mechanisms in the lower extremity and may consequently culminate in an increased vertical ground reaction force. Therefore, a direct relationship appears to exist between pain and the magnitude of the vertical ground reaction force loading.

The rationale for focusing on closed kinetic chain exercises for the improvement of PFPS lies in the fact that these exercises induce simultaneous contraction of agonist and antagonist muscles. Furthermore, these exercises are more effective in restoring the strength of the quadriceps femoris muscle compared to open kinetic chain exercises. In closed kinetic chain exercises, resistance is applied simultaneously to both proximal and distal regions, while the distal segment of the upper and lower extremities remains in a fixed position.

This study was conducted to determine the effect of closed kinetic chain exercises on changes in plantar foot pressure dynamics in women with PFPS.

Methods

This quasi-experimental study was conducted on 30 female university students aged 20 to 35 years, divided into two groups of 15: One group diagnosed with PFPS and a healthy control group.

The inclusion criteria for the PFPS group included having anterior knee joint and retropatellar pain for at least two months and a maximum of one year during activities such as ascending and descending stairs, sitting, and prolonged walksing. The inclusion criterion for the control group was the absence of pain and discomfort in the patellofemoral joint. Pain intensity in the PFPS group was deemed significant if it exceeded 3 on the Visual Analog Scale (VAS).

A foot scanner was positioned along a ten-meter walkway in the laboratory. Dynamic plantar pressure data were recorded using Rsscan software at a sampling frequency of 300 Hz.

To evaluate the effects of eight weeks of training in two groups, assessments were conducted using two running protocols at slow and fast speeds, with each test repeated three times. Running trials were repeated if balance was lost, if the subject's foot was positioned outside the designated area of the foot scanner, or if speed control was compromised. Data on plantar pressure variables were extracted during running at both slow and fast speeds. The stance phase of running was defined based on the heel-to-toe contact pattern with the ground. The mean score of the three running trials at both slow and fast speeds was used for statistical analysis. Plantar pressure variables were evaluated in three categories: Force variables, pressure at ten foot points, and center of pressure (COP) displacement in three regions. The ten foot regions included the hallux, the second to fifth toes, and the first to fifth metatarsal bones. COP displacement was assessed in the mediolateral (COPx) and anteroposterior (COPy) directions. A cutoff frequency of 20 Hz was applied to smooth the ground reaction force data. To normalize the ground reaction force data, the aforementioned values were divided by body weight (bw) and multiplied by one hundred.

Following the baseline measurement of plantar foot pressure variables, closed kinetic chain exercises were administered to two groups: Individuals with PFPS and healthy controls. The intervention lasted for eight weeks, with three sessions per week, resulting in a total of 24 sessions. The closed kinetic chain exercises encompassed the conventional squat, ball squat, wall squat, conventional lunge, isometric leg press, hip bridge, and the toe point-flex exercise (simultaneous dorsiflexion and plantarflexion of the foot with an extended instep, performed in a seated position with the lower limbs extended).

For individuals with PFPS, limitations were imposed on the execution of squats. Immediately after the eight-week exercise intervention, the measurement of plantar foot pressure variables was repeated in a post-test phase.

Results

There was no statistically significant difference in peak forces in the plantar foot pressure variables during slow-speed running between the experimental and healthy groups. A statistically significant difference was found in peak forces at the second metatarsal during fast-speed running ($P<0.041$). In the PFPS group, peak forces at the first toe significantly decreased in the post-test phase during slow-speed running ($P<0.001$). In the PFPS group, the maximum time to reach peak force significantly increased in the post-test ($P<0.027$). In the healthy group, peak forces at the first toe significantly decreased in the post-test phase during slow-speed running ($P<0.001$). A statistically significant decrease was found in peak forces in the external heel force in the healthy group during fast-speed running ($P<0.001$). Additionally, there was a significant decrease in peak forces at the fifth metatarsal bone in the healthy group during fast-speed running ($P<0.001$).

Statistically significant differences were found in the COP displacement for plantar pressure variables before and after closed kinetic chain exercises during slow-speed running between the two studied groups at the second metatarsal bone ($P<0.016$) and in the mediolateral COP displacement ($P<0.022$). A statistically significant difference was observed at the first toe during fast-speed running ($P<0.006$). In the healthy group, there was a statistically significant decrease in the COP displacement at the first toe in the post-test phase ($P<0.003$). Furthermore, the healthy group showed a statistically significant increase in the anteroposterior COP displacement in the post-test phase ($P<0.001$). There was a statistically significant decrease in the mediolateral COP displacement in the PFPS group during fast-speed running in the post-test phase ($P<0.001$). In the healthy group, a statistically significant decrease was observed in the anteroposterior and mediolateral COP displacement during fast-speed running in the post-test phase ($P<0.001$). A statistically significant decrease was found in the COP displacement at the first toe during slow-speed running in the post-test phase in the PFPS group ($P<0.002$). In the healthy group, a statistically significant decrease was observed in the COP displacement at the midfoot during slow-speed running in the post-test phase ($P<0.001$). Additionally, a statistically significant decrease was found in the anteroposterior COP displacement and the mediolateral COP displacement in both study groups during slow-speed running in the post-test phase ($P<0.001$).

Conclusion

In light of the findings of this study, the implementation of an eight-week closed kinetic chain exercise program resulted in a statistically significant reduction in plantar foot pressure variables within the group with PFPS.

Ethical Statement

The current study was approved by the Research Ethics Committee of Mohaghegh Ardabili University (IR.UMA.REC.1402.066).

Funding

This article has been extracted from Leila Sabouri master's thesis in Sport Biomechanics at the Faculty of Psychology and Educational Sciences, University of Mohaghegh Ardabili.

Conflicts of Interest

No conflicts of interest.

Acknowledgement

We would like to thank all subjects participating in this study, as well as to the esteemed authorities of the Health Center at Mohaghegh Ardabili University, for their cooperation in the execution of this research.

Closed kinetic chain exercises in individuals with PFPS, with a greater reduction and impact on the COP displacement variables in healthy women and those with PFPS, can be beneficial in mitigating the complications arising from PFPS and the occurrence of lower extremity injuries during running in both groups.

مجله دانشگاه علوم پزشکی گرگان

بهار ۱۴۰۴ / دوره ۲۷ / شماره ۱ (پی در پی ۹۳)

دارای رتبه علمی -پژوهشی از کمیسیون نشریات علوم پزشکی کشور

e-ISSN: ۲۰۰۸-۴۰۸۰ p-ISSN: ۱۵۶۲-۴۷۶۵

با دسترسی آزاد

تحقیقی

اثر تمرینات زنجیره جنبشی بسته بر تغییرات دینامیک فشار کف پای زنان مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال

لیلا صبوری [۱]، دکتر عباس معمارباشی *[۲]، دکتر محسن برغمدی [۳]، دکتر زلجکو زیلیک [۴]، امیر فتح الهی [۵]

۱ کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ۲ استاد، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ۳ دانشیار، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ۴ استاد، دانشگاه مک گیل، مونترال، کانادا. ۵ دانشجوی دکتری بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: *سندرم درد پاتلوفمورال از جمله علل شایع درد قدامی زانو در نوجوانان و افراد زیر ۶۰ سال است. این مطالعه به منظور تعیین اثر تمرینات زنجیره جنبشی بسته بر تغییرات دینامیک فشار کف پای زنان مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال انجام شد.*

روش بررسی: *این مطالعه شبه‌تجربی روی ۳۰ دانشجوی دختر در محدوده سنی ۳۵-۲۰ سال در دو گروه ۱۵ نفری مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال و سالم در دانشگاه محقق اردبیلی طی سال ۱۴۰۲ انجام شد. گروه مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال دارای سابقه درد حداقل بیش از دوماه و حداکثر یک سال بودند. گروه تجربی تمرینات زنجیره جنبشی بسته را سه جلسه در هفته به مدت هشت هفته اجرا کردند. اندازه‌گیری متغیرهای فشار کف پا با دستگاه فوت اسکنر فشاری (نمونه‌برداری ۳۰۰ هرتز) انجام شد.*

یافته‌ها: *اوج نیروها در انگشت اول در گروه سالم (۲۸/۶۹±۶۴/۹۱) و مبتلا به سندرم پاتلوفمورال (۶۰/۲۸±۲۱۵/۱۹) طی دویدن با سرعت آهسته کاهش آماری معنی‌داری داشت و زمان رسیدن به اوج نیروی عکس‌العمل زمین در گروه مبتلا به سندرم پاتلوفمورال (۴۴/۳۳۲±۴۹/۶۵) طی پس آزمون در سرعت آهسته افزایش آماری معنی‌داری پیدا کرد (P<۰/۰۵). همچنین نیروی خارجی پاشنه (۳/۶۲±۱۵۳/۹۷) و پنجمین استخوان کف پایی (۱۹/۷۷±۶۵/۱۹) در گروه سالم طی پس آزمون کاهش آماری معنی‌داری در مقایسه با گروه مبتلا به سندرم پاتلوفمورال طی دویدن با سرعت تند داشت (P<۰/۰۵). در گروه سالم و مبتلا به سندرم پاتلوفمورال طی پس آزمون متغیرهای جابجایی مرکز فشار در ناحیه داخلی-خارجی و قدامی-خلفی در سرعت آهسته و تند طی دویدن کاهش آماری معنی‌داری یافتند (P<۰/۰۵). همچنین در گروه سالم جابجایی مرکز فشار در انگشت اول در مرحله پس آزمون (۵۱/۰۸±۶۴/۵) طی دویدن با سرعت تند کاهش آماری معنی‌داری پیدا کرد (P<۰/۰۵).*

نتیجه‌گیری: *تمرینات زنجیره جنبشی بسته باعث کاهش معنی‌دار در متغیرهای فشار کف پا در زنان مبتلا به سندرم پاتلوفمورال و زنان سالم می‌گردد.*

واژه‌های کلیدی: *انرژی جنبشی ، ورزش درمانی ، سندرم درد پاتلوفمورال*

* **نویسنده مسؤول:** دکتر عباس معمارباشی ، پست الکترونیکی: a_meamarbashi@yahoo.com

نشانی: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه بیومکانیک ورزشی ، تلفن و نمابر ۰۴۵-۳۱۵۰۵۶۴۹

وصول ۱۴۰۲/۱۰/۲۴ اصلاح نهایی ۱۴۰۳/۵/۸ پذیرش ۱۴۰۳/۵/۱۳ انتشار ۱۴۰۴/۱/۲۷

مقدمه

سندرم درد پاتلوفمورال از جمله علل شایع درد قدامی زانو در نوجوانان و بزرگسالان کمتر از ۶۰ سال است.[۱] شیوع سالانه سندرم درد پاتلوفمورال در بزرگسالان ۲۳ درصد، نوجوانان ۲۹ درصد و در ورزشکاران ۹ درصد گزارش شده است.[۲] دلیل ابتلای زنان به سندرم درد پاتلوفمورال به دلیل عواملی مانند تفاوت در عرض لگن، زاویه گردن و تنه فمور و زوایای استخوان ران و استخوان ساق پا دو برابر بیشتر از مردان است.[۳] میزان ابتلا زنان ورزشکار ایرانی نسبت به همنوعان خود در قاره اروپا و آمریکا ۲۵ درصد شیوع بالاتری داشته و در زنان ورزشکار ایرانی ۱۶/۴۷ درصد گزارش شده است.[۴] درد ناشی از سندرم درد پاتلوفمورال بر اثر حرکات فلکشن و اکستنشن مکرر در حرکاتی مانند بالا و پایین رفتن از پله، دویدن و نشستن طولانی‌مدت است.[۲] سندرم درد پاتلوفمورال ممکن است در نتیجه عوامل متعددی ایجاد شود که از جمله آنها می‌توان به مشکلات ساختاری و کینماتیکی مانند عدم تعادل عضلات واستوس مدیالیس و واستوس لترالیس، ناهماهنگی کشکک و افزایش بیش از حد زاویهQ اشاره کرد.[۵] از جمله عوامل ایجاد سندرم درد پاتلوفمورال که به طور روز افزون مورد توجه محققان قرار گرفته است، حرکت غیرطبیعی

استخوان ران است که باعث تغییر مکانیک مفصل پاتلوفمورال می‌گردد. به طوری که ۳۰ درجه چرخش داخلی استخوان ران، فشار تماس مفصل پاتلوفمورال را افزایش می‌دهد.[۲] به‌علاوه اگر فعالیت عضله واستوس مدالیس از واستوس لترالیس بیشتر باشد و یا زمان شروع فعالیت عضله واستوس مدیالیس به تاخیر افتد؛ حرکت سرخوردن کشکک ممکن است غیرطبیعی شده و سبب درد قدامی زانو شود.[۶] کاهش فلکشن زانو در زنان مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال یک استراتژی جبرانی برای کاهش درد است که مکانیسم‌های جذب شوک در اندام تختانی را مختل کرده و لذا ممکن است باعث افزایش بار نیروی عمودی عکس‌العمل زمین شود. بنابراین به‌نظر می‌رسد رابطه مستقیمی بین درد و میزان بارگذاری نیروی عمودی عکس‌العمل زمین وجود دارد. به عنوان مثال هرچه درد بیشتر باشد؛ نرخ بارگذاری نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بیشتر است.[۷] نرخ بارگذاری نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در زنان مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال در مقایسه با افراد بدون درد زانو بالاتر است.[۸] افراد دارای سندرم درد پاتلوفمورال طی راه‌رفتن به‌طور قابل توجهی توزیع فشار جانبی بیشتری در تماس اولیه پا داشته و زمان رسیدن به حداکثر فشار در متاتارسال چهارم بسیار کمتر و حداکثر سرعت تغییر جهت مرکز فشار در ناحیه میانی پا به طور قابل توجهی نسبت به جلو پا کمتر است.[۹] کاهش سرعت در طول راه‌رفتن همراه با کاهش سرعت در بیماران مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال نشان داده شده است.[۱۰]

از دیر باز تمرینات زنجیره بسته جنبشی بسته به عنوان یک روش قابل اعتماد برای زانوهای دارای نقص استفاده می‌شود. از زمانی که مفهوم زنجیره کینماتیکی مطرح شد؛ زنجیره بسته جنبشی توجه روزافزونی را به‌عنوان یک تکنیک توانبخشی موثر برای بهبود عملکرد اندام تحتانی جلب کرده است. دلیل توجه به تمرینات زنجیره بسته جنبشی برای بهبود سندرم درد پاتلوفمورال این است که تمرینات مذکور باعث انقباض همزمان عضلات آگونیست و آنتاگونیست می‌شود. همچنین تمرینات زنجیره بسته جنبشی در بازگرداندن قدرت عضلات چهار سر ران موثرتر از تمرینات زنجیره باز جنبشی هستند.[۱۱] در تمرینات زنجیره بسته جنبشی مقاومت همزمان روی نواحی پروگزیمال و دیستال اعمال می‌شود. در حالی که ناحیه دیستال اندام فوقانی و تحتانی در وضعیت ثابت باقی می‌ماند. تمرینات زنجیره جنبشی بسته با انقباض همزمان عضلات باعث بهبود ثبات پویای آنها می‌شود. وقتی که انقباضات از نوع انقباضات اکسنتریک باشد؛ نیروی برشی را با فشرده‌سازی مفصل کاهش داده و در نتیجه باعث پایداری مفاصل می‌شود.[۱۲] در تمرینات زنجیره بسته جنبشی با انجام حرکات پلی‌آرتریک، ماهیچه‌ها به‌گونه‌ای منقبض می‌شوند که بر فشار کپسول مفصلی اثر گذاشته و گیرنده‌های مکانیکی را فعال می‌کنند.[۱۳]

بنابراین با توجه به موارد فوق استفاده از تمرینات زنجیره جنبشی بسته برای بررسی تغییرات فشار کف پای زنان مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال می‌تواند مکانیسم‌های نهفته در این تمرینات را روشن کند و در دراز مدت باعث کاهش و بهبود عوامل و علائم ایجاد سندرم درد پاتلوفمورال گردد. لذا این مطالعه به منظور تعیین اثر تمرینات زنجیره جنبشی بسته بر تغییرات دینامیک فشار کف پای زنان مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال انجام شد.

روش بررسی

این مطالعه شبه‌تجربی روی ۳۰ دانشجوی دختر در محدوده سنی ۲۰ تا ۳۵ سال در دو گروه ۱۵ نفری مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال و سالم در دانشگاه محقق اردبیلی طی سال ۱۴۰۲ انجام شد.

مطالعه مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه محقق اردبیلی (IR.UMA.REC.1402.066) قرار گرفت.

نمونه‌گیری از نوع هدفمند و در دسترس بود. آزمودنی‌ها قبل از ورود به مطالعه زیر نظر متخصص آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی مورد معاینه قرار گرفتند. معیارهای ورد به مطالعه در گروه مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال شامل داشتن درد حداقل بالای دو ماه و حداکثر یک سال در ناحیه قدامی مفصل زانو و پشت استخوان کشکک هنگام انجام دادن فعالیت‌هایی مانند بالا و پایین رفتن از پله، نشستن و راه رفتن طولانی مدت بودند و در گروه کنترل شامل عدم درد و ناراحتی در مفصل پاتلوفمورال بود. میزان درد با استفاده از مقیاس آنالوگ بصری (VAS) بالای عدد ۳ در نظر گرفته شد.[۱۴]

معیارهای عدم ورود به مطالعه در هر دو گروه شامل سابقه جراحی در اندام تحتانی، مشکلات عصبی عضلانی، داشتن اندام مصنوعی، داشتن زخم در کف پا ناشی از بیماری‌هایی مانند دیابت و مصرف داروهای اثرگذار بر سیستم عصبی مرکزی بودند.

دستگاه فوت اسکن در مسیر ده متری آزمودنی در محیط آزمایشگاه قرار گرفت. داده‌های حاصل از متغیرهای فشار کف پای دینامیک با استفاده از نرم‌افزار (آر، اس، اسکن) با فرکانس نمونه‌برداری ۳۰۰ هرتز ثبت شد.[۱۵]

به منظور ارزیابی اثر هشت هفته تمرین در دو گروه، ارزیابی با دو روش دویدن در دو سرعت آهسته و سریع انجام و هر آزمون سه مرحله تکرار شد. با از دست دادن تعادل، قرار گرفتن پای آزمودنی در خارج از کادر تعیین شده دستگاه فوت اسکن و کنترل سرعت، کوشش‌های دویدن تکرار شد. داده‌های حاصل از متغیرهای فشار کف پایی طی دویدن در دو سرعت آهسته و تند استخراج شد. فاز اتکای دویدن با توجه به الگوی تماس پاشنه - پنجه پا با زمین در نظر گرفته شد. میانگین سه کوشش دویدن در دو سرعت آهسته و تند برای تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای فشار

جدول ۱ : نتایج بین گروهی اوج نیروهای کف پا در وضعیت دویدن با دو سرعت تند و کند در زنان مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال و سالم

متغیرها		میانگین مجذور	F	P-value (آزمون کوواریانس)
سرعت آهسته	نیروی داخلی پاشنه	۷۹/۸۶	۱/۲۳۳	۰/۲۷۷
	نیروی خارجی پاشنه	۲۲/۹۴	۰/۰۰۷	۰/۹۳۳
	نیروی متا۱	۴۱۵/۹۷	۱/۴۱۶	۰/۲۴۵
	متا۲	۶/۸۹	۰/۰۰۷	۰/۹۳۳
	متا۳	۲۲۰/۷۶	۱/۳۳۳	۰/۱۳۹
	متا۴	۳۱/۵۹	۲/۵۰۲	۰/۱۲۶
	متا۵	۱۲۰/۲۹	۰/۱۵۴	۰/۶۹۸
	میانه پا	۱۱۸/۱۴	۰/۵۰۶	۰/۴۸۳
	انگشت اول	۱۱۰/۸۸	۱/۷۰۸	۰/۲۰۳
	انگشتان۲ تا ۵	۴۴/۴۱	۰/۱۴۶	۰/۷۰۶
	نیروی عکس‌العمل	۱۸۵/۰۱	۲/۰۷	۰/۱۶۲
	نیروی عکس‌العمل	۴۴/۶۴	۱/۳۱	۰/۲۶۲
	حداکثر زمان رسیدن به نیروی عکس‌العمل زمین	۱۰۱/۶۷	۰/۸۴۹	۰/۳۶۵
سرعت تند	نیروی داخلی پاشنه	۹۳/۴۶	۱/۵۲	۰/۲۲۸
	نیروی خارجی پاشنه	۲۰/۲۲	۰/۳۳۰	۰/۵۷۱
	نیروی متا۱	۸۹/۶۹	۰/۱۶۶	۰/۶۸۷
	متا۲	۵۰/۷۹	۴/۶۱	۰/۰۴۱ *
	متا۳	۱۱/۳۵	۰/۸۹۳	۰/۳۵۳
	متا۴	۶۷/۲۷	۰/۰۸۳	۰/۷۷۵
	متا۵	۱۵/۱۹	۲/۲۶	۰/۱۴۴
	میانه پا	۲۶/۴۴	۰/۰۰۹	۰/۹۲۶
	انگشت اول	۷۶/۷۶	۰/۴۳۱	۰/۵۱۷
	انگشتان۲ تا ۵	۲۹۱/۰۵	۱/۲۰۶	۰/۲۸۲
	نیروی عکس‌العمل	۱۵/۵۴	۰/۱۶۳	۰/۶۹۰
	حداکثر زمان رسیدن به نیروی عکس‌العمل زمین	۱۳/۱۴	۲/۶۲	۰/۱۱۷
	زمان رسیدن به نیروی عکس‌العمل زمین	۲۷/۳۶	۰/۱۲۰	۰/۷۳۲

کف پا در سه زمینه متغیرهای نیرو، فشار در ده نقطه پا و جابجایی مرکز فشار در سه ناحیه مورد ارزیابی قرار گرفت. نواحی ده گانه پا شامل انگشت شست، انگشان دوم تا پنجم، استخوان‌های کف پایی اول تا پنجم بود. جابجایی مرکز فشار در دو ناحیه داخلی – خارجی (COPx) و قدامی – خلفی (COPy) بودند. از برش فرکانسی ۲۰ هرتز برای هموار کردن داده‌های نیروی عکس‌العمل زمین استفاده گردید. برای استانداردسازی داده‌های نیروی عکس‌العمل زمین مقادیر فوق را تقسیم بر وزن بدن کرده و در عدد صد ضرب کردیم.[۱۶]

بعد از اندازه‌گیری متغیرهای فشار کف پا در مرحله پیش‌آزمون تمرینات زنجیره بسته جنبشی در دو گروه مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال و سالم به مدت هشت هفته و سه جلسه در هفته انجام گردید.[۱۷] تعداد کل جلسات ۲۴ جلسه بود. تمرینات زنجیره جنبشی بسته شامل تمرین اسکوات معمولی، اسکوات با توپ، اسکوات با دیوار، لانچ معمولی، تمرین ایزومتریک پا، پل باسن و تمرین پنجه پوینت فلکس (حرکت دورسی و پلنتار فلکشن همزمان پا با روی پای کشیده در حالت نشسته با پاهای دراز شده روی زمین) بودند.[۱۸]

برای افراد دارای سندرم درد پاتلوفمورال محدودیت در اجرای اسکوات‌ها گذاشته شد. به این صورت که در هفته‌های ابتدایی انجام حرکت اسکوات از زاویه بالای ۴۵ درجه برای اجرای این حرکت استفاده شد و درنهایت از هفته چهارم به بعد با زاویه زانوی ۴۵ درجه افراد مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال این حرکات را انجام دادند. اجرای هر حرکت ده ثانیه به طول انجامید و زمان استراحت بین ست‌ها ۱۰–۵ ثانیه بود. برای شروع اجرای تمرینات در هر دو گروه در هفته اول و دوم از سه ست با ده تکرار استفاده شد. همچنان که قدرت بدنی آزمودنی‌ها طی انجام تمرینات در هر هفته افزایش می‌یافت؛ به تعداد ست‌ها و تکرارهای تمرینات اضافه شد. به صورتی که هفته اول و دوم شامل سه ست ده تایی از هر حرکت، هفته سوم و چهارم شامل سه ست پانزده تایی از هر حرکت، هفته پنجم و ششم سه ست بیست تایی و هفته هفتم و هشتم تعداد ست‌ها به سه ست با بیست و پنج تکرار رسید. قبل از اجرای تمرینات نمونه‌ها حرکات گرم کردن را به مدت پانزده دقیقه انجام دادند. بعد از هشت هفته انجام تمرینات بلافاصله اندازه‌گیری متغیرهای فشار کف پا در مرحله پس‌آزمون تکرار شد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-23 تجزیه و تحلیل شدند. نرمال بودن متغیرهای دموگرافیک، آنتروپومتریک و بیومکانیک نمونه‌ها در هر گروه با استفاده از آزمون شاپیروویلک تایید شد. مقایسه نتایج بین گروهی از آزمون کوواریانس و مقایسه نتایج درون گروهی با استفاده از آزمون تی زوجی انجام گردید. سطح معنی‌داری آزمون‌ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

سن گروه تجربی ۴/۰۵±۲۴/۱۳ سال و گروه سالم ۴/۹۴±۲۴/۸۶ سال، وزن گروه تجربی ۴/۷۹±۶۲/۱۱ کیلوگرم و گروه سالم ۷/۴۸±۵۴/۴۰ کیلوگرم و قد گروه تجربی ۵/۳۵±۱۶۳/۰۷ سانتی‌متر

جدول ۲ : نتایج بین گروهی جابجایی مرکز فشار کف پا در وضعیت دویدن با دو سرعت تند و کند در زنان مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال و سالم

	متغیرها	میانگین مجذور	F	P-value (آزمون کوواریانس)
سرعت آهسته	فشار داخلی پاشنه	۱۲/۴۱	۱/۰۰۷	۰/۳۲۵
	فشار خارجی پاشنه	۷۰/۸۶	۰/۳۱۳	۰/۵۸۱
	فشار متا۱	۴۷/۹۹	۰/۰۱۱	۰/۹۱۷
	متا۲	۵۲/۳۵	۲/۵۰	۰/۱۲۶
	متا۳	۲۳/۰۹	۰/۹۵۰	۰/۳۳۹
	متا۴	۱۶/۸۳	۶/۶۶	۰/۰۱۶ *
	متا۵	۴۱/۳۰	۰/۱۵۵	۰/۶۹۷
	میانه پا	۲۰/۰۱	۰/۳۲۰	۰/۵۷۶
	انگشت اول	۱۰/۵۹	۲/۲۱۶	۰/۱۴۹
	انگشتان۲تا ۵	۷۰/۹۵	۰/۵۴۹	۰/۴۶۵
	مرکز فشار در ناحیه قدامی-خلفی	۶/۹۴	۰/۰۰۷	۰/۹۳۳
	مرکز فشار در ناحیه داخلی-خارجی	۲۰/۳۲	۵/۹۳	۰/۰۲۲ *
سرعت تند	فشار داخلی پاشنه	۵۷/۳۴	۰/۲۶۷	۰/۶۱۰
	فشار خارجی پاشنه	۵/۷۶	۰/۰۲۹	۰/۸۶۶
	فشار متا۱	۱۴/۹۸	۰/۰۹۵	۰/۷۶۰
	متا۲	۴/۰۶	۰/۰۵۱	۰/۸۲۳
	متا۳	۲۴/۲۶	۰/۳۱۸	۰/۵۷۸
	متا۴	۸۷/۷۳	۱/۳۸	۰/۲۵۱
	متا۵	۳۷/۲۳	۳/۳۷	۰/۰۷۸
	میانه پا	۱۰/۲۳	۴/۰۷	۰/۰۵۴
	انگشت اول	۱۳/۵۰	۸/۹۹	۰/۰۰۶ *
	انگشتان۲تا ۵	۳/۱۰	۰/۱۹۹	۰/۶۵۹
	مرکز فشار در ناحیه داخلی-خارجی	۲۹/۰۶	۳/۶۴	۰/۰۶۷
	مرکز فشار در ناحیه داخلی-خارجی	۲۴/۱۵	۱/۳۰۰	۰/۲۶۵

و گروه سالم ۴/۵۳±۱۶۲/۵ سانتی‌متر بودند که این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود.

با توجه به جدول یک، تفاوت آماری معنی‌داری در اوج نیروها در متغیرهای فشار کف پا طی دویدن با سرعت آهسته بین گروه تجربی با گروه سالم یافت نشد. در اوج نیروها در دومین استخوان کف پایی طی دویدن با سرعت تند تفاوت آماری معنی‌داری یافت شد (P<۰/۰۴۱). تفاوت آماری معنی داری در بقیه متغیرهای فشار کف پا طی دویدن با سرعت تند یافت نشد. در گروه سندرم درد پاتلوفمورال اوج نیروها در اولین انگشت پا در مرحله پس آزمون طی دویدن با سرعت آهسته کاهش آماری معنی‌داری داشت (P<۰/۰۰۱). در گروه سندرم درد پاتلوفمورال حداکثر زمان رسیدن به اوج در پس آزمون افزایش آماری معنی‌داری داشت (P<۰/۰۲۷). در گروه سالم اوج نیروها در اولین انگشت پا در مرحله پس آزمون طی دویدن با سرعت آهسته کاهش آماری معنی‌داری یافت شد (P<۰/۰۰۱). کاهش آماری معنی‌داری در اوج نیروها در نیروی خارجی پاشنه در گروه سالم طی دویدن با سرعت تند یافت شد (P<۰/۰۰۱). همچنین کاهش معنی‌داری در اوج نیروها در پنجمین استخوان کف پایی گروه سالم طی دویدن با سرعت تند وجود داشت (P<۰/۰۰۱). اختلاف آماری معنی‌داری در اوج نیروهای گروه سندرم درد پاتلوفمورال طی دویدن با سرعت تند یافت نشد.

براساس جدول ۲، تفاوت آماری معنی‌داری در جابجایی مرکز فشار در متغیرهای فشار کف پا قبل و بعد از تمرینات زنجیره بسته جنبشی طی دویدن با سرعت آهسته بین دو گروه مورد مطالعه در دومین استخوان کف پایی (P<۰/۰۱۶) و جابجایی مرکز فشار در ناحیه داخلی – خارجی (P<۰/۰۲۲) یافت شد. در جابجایی مرکز فشار بقیه متغیرها طی دویدن با سرعت آهسته تفاوت آماری معنی‌داری یافت نشد. تفاوت آماری معنی‌داری در اولین انگشت پا طی دویدن با سرعت تند مشاهده شد (P<۰/۰۰۶). بقیه متغیرها در جابجایی مرکز فشار تفاوت آماری معنی‌داری را طی دویدن با سرعت تند نشان ندادند. در جابجایی مرکز فشار اولین انگشت پا در گروه سالم در مرحله پس آزمون کاهش آماری معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۰۳). همچنین جابجایی مرکز فشار در ناحیه قدامی-خلفی در گروه سالم در مرحله پس آزمون افزایش آماری معنی‌داری داشت (P<۰/۰۰۱). در جابجایی مرکز فشار در ناحیه داخلی – خارجی در گروه سندرم درد پاتلوفمورال در مرحله پس آزمون طی دویدن با سرعت تند کاهش آماری معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۰۱). در ناحیه قدامی – خلفی و ناحیه داخلی – خارجی گروه سالم در پس آزمون طی دویدن با سرعت تند کاهش آماری معنی‌داری یافت شد (P<۰/۰۰۱). در جابجایی مرکز فشار پا در اولین انگشت پا طی دویدن با سرعت آهسته در مرحله پس آزمون در گروه مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال کاهش آماری معنی‌داری یافت شد (P<۰/۰۰۲). در جابجایی مرکز فشار میانه پا گروه سالم در مرحله پس آزمون طی دویدن با سرعت آهسته کاهش آماری معنی‌داری یافت شد (P<۰/۰۰۱). در جابجایی مرکز فشار ناحیه قدامی – خلفی و جابجایی مرکز فشار در ناحیه داخلی – خارجی در دو گروه مورد مطالعه در مرحله پس آزمون طی دویدن با سرعت آهسته کاهش آماری معنی‌داری یافت شد (P<۰/۰۰۱).

بحث

با توجه به نتایج این مطالعه، انجام هشت هفته تمرینات زنجیره جنبشی بسته، باعث کاهش معنی‌داری در متغیرهای فشار کف پا گروه مبتلا به سندرم پاتلوفمورال گردید.

براساس ارزیابی ما، مطالعاتی که به‌طور دقیق متغیرهای فشار کف پا را در درازمدت روی افراد سالم و مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال بررسی کرده باشند؛ یافت نشد. بنابراین مطالعاتی با پروتکل تمرینی در راستای تحقیق مورد نظر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

در مطالعه انجام شده Gwynne مبنی بر استفاده از تمرینات اسکوات روی افراد دارای سندرم درد پاتلوفمورال، شاخص جابجایی مرکز فشار در نتیجه تمرینات اسکوات در افراد دارای سندرم درد پاتلوفمورال بیشتر از افراد سالم بود و همچین جابجایی مرکز فشار در ناحیه قدامی- خلفی در افراد سالم طی تمرینات اسکوات افزایش آماری معنی‌داری داشت. بارگذاری جانبی بیشتر پا و افزایش جابجایی مرکز فشار در طول اسکوات تک پا توسط افراد مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال می‌تواند باعث کاهش تعادل پویا در این گروه از بیماران شود.[۱۹] نتایج مطالعه Gwynne[۱۹] به دلیل اثر اسکوات در افزایش جابجایی مرکز فشار در ناحیه قدامی - خلفی با مطالعه حاضر همسو بود.

استفاده از تمرینات اصلاحی شامل تمرینات NASM و تمرینات زنجیره جنبشی بسته در هشت هفته روی بیماران هایپرکایفوزیس و کایفوز می‌تواند تفاوت آماری معنی‌داری در انحراف استاندارد نوسانات وضعیتی در جهت قدامی - خلفی و انحراف استاندارد نوسانات وضعیتی در جهت داخلی - جانبی داشته باشد.[۱۷] از آنجایی که درد کشککک رانی یک سندرم است؛ از علل ایجاد آن ممکن است ناهنجاری‌های اندام تحتانی و فوقانی باشند و بعضی از آزمودنی‌های مطالعه حاضر افراد دارای ناهنجاری‌های اندام فوقانی و تحتانی بودند که می‌تواند علت همسویی مطالعه صبوری و همکاران[۱۷] با مطالعه حاضر باشد.

در مطالعه‌ای جابجایی مرکز فشار داخلی - خارجی در افراد دارای سندرم درد پاتلوفمورال طی تست پرش و فرود از پله بیشتر از افراد سالم بود. با توجه به این موضوع درد قدامی زانو می‌تواند با سیگنال‌های حسی عمقی در سطوح بالاتر کنترل حرکتی تداخل داشته باشد و در نتیجه کنترل وضعیتی در طول فعالیت‌های عملکردی مختل شود.[۲۰] همچنین جابجایی مرکز فشار و نیروی واکنش زمین در افراد دارای سندرم درد پاتلوفمورال در طول تمرینات پله جابجایی مرکز فشار بیشتر و نیروی واکنش زمین کمتری نسبت به افراد سالم دارند. به‌نظر می‌رسد کنترل وضعیتی ضعیف در صفحه حرکتی میانی - جانبی (سطح فرونتال) به دلیل درد قدامی زانو باشد که باعث بی‌ثباتی در حین انجام فعالیت‌هایی مانند راه رفتن، بالا و پایین رفتن از پله‌ها می‌شود و همچنین بر عملکرد اندام تحتانی در حین فعالیت‌های حرکتی اثر داشته باشد.[۲۱] تحقیقات فوق از این نظر که تست پرش و فرود از پله جزو فعالیت‌های زنجیره بسته جنبشی محسوب می‌شوند و مکانسیم این تمرینات را داراست؛ می‌تواند دلیل همسویی با مطالعه حاضر باشد. با توجه به مشکلاتی که در اثر سندرم درد پاتلوفمورل بر مکانیک اندام تحتانی ایجاد می‌شود؛ لذا تحقیقات مذکور اگر دارای پروتکل تمرینی با هدف تقویت عضلات مفصل پاتلوفمورال در درازمدت بودند؛ می‌توانستند اثر این عوامل را کاهش داده و نتایج مشابه بیشتری با مطالعه حاضر داشته باشند. در مطالعه‌ای تمرینات چندمفصلی روی افراد سالم باعث افزایش قابل توجه جابجایی مرکز فشار در این افراد گردید.[۲۲] از مزیت تمرینات زنجیره بسته جنبشی درگیر کردن مفصل متعدد به‌طور همزمان است که می‌تواند به نوعی دلیل همسویی مطالعات مورد اشاره با مطالعه حاضر باشد.

محققان متغیرهای فشار کف پا را روی افراد دارای سندرم درد پاتلوفمورال طی حرکت لانج بررسی کردند و در ناحیه میانی پا فشار کف پایی لانج رو به جلو با ابداکشن هیپ بیشتر از فشار کف پایی لانج با موقعیت هیپ خنثی بود.[۲۳] در مطالعه‌ای متغیرهای فشار کف پای افراد سالم طی پدال دوچرخه سواری بررسی شد و نوع پدال اثر معنی‌داری بر فشار کف پا در نواحی متاتارسال اول، متاتارسال دوم، متاتارسال سوم و متاتارسال پنجم، نواحی انگشت پا، قسمت جانبی میانه پا و پاشنه مرکزی داشت.[۲۴] در مطالعات فوق به دلیل استفاده از تمرینات یکسان با مطالعه حاضر و همچنین مطالعه روی اثر متقابل مفصل زانو بر متغیرهای فشار کف پا می‌توان نتایج این تحقیقات را با تحقیق حاضر همسو قرار داد.

در مطالعه‌ای از تمرینات حسی حرکتی که شامل تمرینات لانج با وزنه و اسکوات و سایر روش‌ها بودند؛ طی دوازده هفته بعد از انجام تمرینات مذکور نتیجه گرفتند که این تمرینات باعث کاهش سرعت نوسان قدامی — خلفی و نوسان میانی - جانبی شده است. به‌نظر می‌رسد که تمرینات حسی - حرکتی و همچنین تمرینات اسکوات و لانج استفاده شده در پروتکل باعث بهبود هم‌انقباضی عضلات گردیده و در نتیجه این امر موجب کاهش نوسانات مرکز فشار در افراد دارای سندرم درد پاتلوفمورال می‌گردد.[۲۵] با توجه به این مورد می‌توان نتایج مطالعه یلقانی و همکاران[۲۵] را با مطالعه حاضر همسو دانست. به‌علاوه استفاده از تمرینات مذکور مانند اسکوات و لانج در قالب تمرینات حسی - حرکتی باعث تعادل توزیع فشار در جلو و عقب (استخوان‌های کف پایی و پاشنه و میانه پا) پای راست و چپ در زنان سالم میانسال می‌گردد. علاوه بر این تمرینات مذکور بعد از هشت هفته باعث تقارن توزیع فشار کف پا بین اندام می‌گردد. این تمرینات با تنظیم استراتژی‌های تعادل و افزایش تکانه‌های گیرنده‌های مکانیکی باعث یکپارچگی حسی حرکتی و تسهیل

فعالیت عضلات شده و در نتیجه نوسان وضعیتی کاهش یافته و توزیع فشار کف پا متقارن می‌شود.[۲۶] لذا نتایج مطالعه یلفانی و همکاران[۲۶] به‌دلیل فواید و مزیت مشترک در تمرینات استفاده شده با مطالعه حاضر در نتایج نمونه آماری افراد سالم همسو بود.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم یافتن مطالعات در زمینه ارزیابی اثر تمرینات زنجیره بسته جنبشی در دراز مدت روی متغیرهای فشار کف پا در افراد سالم و مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال طی دویدن اشاره کرد. همچنین می‌توان به عدم بررسی نتایج درون گروهی در مرحله پیش آزمون و پس آزمون و عدم استفاده از الکترومایوگرافی سطحی برای اندازه‌گیری فعالیت عضلات اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تمرینات زنجیره جنبشی بسته در افراد مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال با کاهش و تاثیرگذاری بیشتری در متغیرهای جابجایی مرکز فشار در زنان سالم و مبتلا به سندرم درد پاتلوفمورال می‌تواند در کاهش عوارض ناشی از سندرم درد پاتلوفمورال و بروز آسیب به پا طی دویدن در هر دو گروه مفید واقع گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه خانم لیلا صبوری برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته بیومکانیک ورزشی از دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی دانشگاه دانشگاه محقق اردبیلی بود. بدین‌وسیله از تمام آزمودنی‌های شرکت کننده در این مطالعه و نیز از مسؤولین محترم مرکز سلامت دانشگاه محقق اردبیلی به خاطر همکاری در اجرای مطالعه نهایت سپاس خود را اعلام می‌داریم. بین نویسندگان تضاد منافع وجود ندارد.

References

1. Christopher SM, Donnelly G, Brockwell E, Bo K, Davenport MH, De Vivo M, et al. Clinical and exercise professional opinion of return-to-running readiness after childbirth: an international Delphi study and consensus statement. Br J Sports Med. 2024 Mar;58(6):299-312. doi: 10.1136/bjsports-2023-107489.
2. Xie P, István B, Liang M. The Relationship between Patellofemoral Pain Syndrome and Hip Biomechanics: A Systematic Review with Meta-Analysis. Healthcare (Basel). 2022 Dec;11(1):99. doi: 10.3390/healthcare11010099.
3. Yalfani, A., Raisi, Z. [Comparison of lower extremity muscles strength, Q angle,knee varus and valgus in women with and without patellofemoral pain syndrome]. Contemporary Studies On Sport Management. 2013;2(4):127-37. [Article in Persian]
4. Golpayegani M, Fayazi Z, Hosseini Y. [The Effect of Strengthing Core Stabilization Training and the Knee Strengthening Training on Improving Pain in Older Women Athletes with Patellofemoral Pain Syndrome]. J Arak Uni Med Sci. 2021;24(5):662-73. doi: 10.32598/jams.24.5.6275.1. [Article in Persian]
5. Yoon S, Son H. Effects of McConnell and Kinesio Tapings on Pain and Gait Parameters during Stair Ambulation in Patients with Patellofemoral Pain Syndrome. Medicina (Kaunas). 2022 Sep;58(9):1219. doi: 10.3390/medicina58091219.
6. Kakar RS, Greenberger HB, McKeon PO. Efficacy of Kinesio Taping and McConnell Taping Techniques in the Management of Anterior Knee Pain. J Sport Rehabil. 2020 Jan;29(1):79-86. doi: 10.1123/jsr.2017-0369.
7. de Oliveira Silva D, Briani R, Pazzinatto M, Ferrari D, Aragão F, de Azevedo F. Vertical Ground Reaction Forces are Associated with Pain and Self-Reported Functional Status in Recreational Athletes with Patellofemoral Pain. J Appl Biomech. 2015 Dec;31(6):409-14. doi: 10.1123/jab.2015-0048.
8. Briani RV, Pazzinatto MF, Waiteman MC, de Oliveira Silva D, de Azevedo FM. Association between increase in vertical ground reaction force loading rate and pain level in women with patellofemoral pain after a patellofemoral joint loading protocol. Knee. 2018 Jun;25(3):398-405. doi: 10.1016/j.knee.2018.03.009.
9. Thijs Y, Van Tiggelen D, Roosen P, De Clercq D, Witvrouw E. A prospective study on gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain. Clin J Sport Med. 2007 Nov;17(6):437-45. doi: 10.1097/JSM.0b013e31815ac44f.
10. Arazpour M, Bahramian F, Abutorabi A, Nourbakhsh ST, Alidousti A, Aslani H. The Effect of Patellofemoral Pain Syndrome on Gait Parameters: A Literature Review. Arch Bone Jt Surg. 2016 Oct;4(4):298-306.
11. Sakurai A, Harato K, Morishige Y, Kobayashi S, Niki Y, Nagura T. The effects of toe direction on three-dimensional knee kinematics during closed kinetic chain exercise in patients with anterior cruciate ligament deficient knee. AP-SMART. 2019 Oct;18:1-5. doi: 10.1016/j.asmart.2019.07.002.
12. Cho SH, Bae CH, Gak HB. Effects of closed kinetic chain exercises on proprioception and functional scores of the knee after anterior cruciate ligament reconstruction. J Phys Ther Sci. 2013 Oct;25(10):1239-41. doi: 10.1589/jpts.25.1239.
13. An J, Son YW, Lee BH. Effect of Combined Kinematic Chain Exercise on Physical Function, Balance Ability, and Gait in Patients with Total Knee Arthroplasty: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. Int J Environ Res Public Health. 2023 Feb;20(4):3524. doi: 10.3390/ijerph20043524.
14. Mohammad Jabbar K, Gandomi F. The Effects of National Academy of Sports Medicine and Sahrmann Training on Foot Pressure Distribution in Flexed Posture Students. IRJ. 2021;19(1):99-110. doi: 10.32598/irj.19.1.1319.1.
15. Barghamadi M, Abdollahpour Darvishani M, Jafarnezhadgero AA, Dehghani M [Comparison of Plantar Pressure Variables during Walking in Male and Female]. J Anesth Pain. 2019;10(3):81-90. [Article in Persian]
16. Barghamadi M, Yadegar A, Abdollahpour Darvishani M. [Comparison of Foot Pressure Variables in Blind and Healthy Participants with Open and Closed Eyes While Walking]. JSSU. 2020; 28(8):2922-33. doi: 10.18502/ssu.v28i8.4450. [Article in Persian]
17. Saburi L, Meamarbashi A, Barghamadi M, Fatollahi A. [The effect of closed kinetic chain exercises on reducing pain in women with patellofemoral syndrome]. Journal of Sport Physiology Special Groups (RSPH). 2024; 1(3). doi: 10.22098/rsph.2024.14290.1022. [Article in Persian]
18. Misbah M, Ishrat F, Afeera T, Muhammad IF, Muhammad NJ, Ahmad HS. Comparison between the Effect of Closed Kinetic Chain and Open Kinetic Chain exercises in the strengthening of Vastus Medialis Obliqus in subjects with Patello-Femoral Pain Syndrome - a randomized control trial. PJMHS. 2022;16(06):185-87. doi: 10.53350/pjmhs22166185.

19. Gwynne CR. Alterations in Center of Pressure During Single-Limb Loading in Individuals with Patellofemoral Pain. J Am Podiatr Med Assoc. 2020 Mar;110(2):Article_5. doi: 10.7547/18-070.

20. Naserpour M, Goharpey S, Saki A, Mohammadi Z. Dynamic postural control during step down task in patients with patellofemoral pain syndrome. J Phys Ther Sci. 2018 Oct;30(10):1289-92. doi: 10.1589/jpts.30.1289.

21. Saad MC, Felício LR, Masullo Cde L, Liporaci RF, Bevilaqua-Grossi D. Analysis of the center of pressure displacement, ground reaction force and muscular activity during step exercises. J Electromyogr Kinesiol. 2011 Oct;21(5):712-18. doi: 10.1016/j.jelekin.2011.07.014.

22. Rivas J. Effects of multi-joint and single-joint exercises on muscle performance, ligament laxity and static balance in recreationally-trained subjects. Masters Thesis. California State University, Northridge. 2021.

23. Zhou X, Kim T. The Effects of a Forward Lunge with Hip Adduction on Muscle Activity and Plantar Pressure in Healthy Subjects. J Musculoskelet Sci Technol 2023; 7(1):25-33. doi: 10.29273/jmst.2023.7.1.25.

24. Davis A, Pemberton T, Ghosh S, Maffulli N, Padhiar N. Plantar pressure of clipless and toe-clipped pedals in cyclists - A pilot study. Muscles Ligaments Tendons J. 2011 Oct;1(1):20-24.

25. Yalfani A, Ahmadi M, Gandomi F. [The effect of twelve weeks of sensorimotor exercises on distribution plantar pressure variables and symmetry index in patients with patellofemoral pain syndrome: a randomized double-blind clinical trial]. Stud Med Sci. 2020;31(6):445-58. [Article in Persian]

26. Yalfani A, Lotfi F, Ahmadi M, Asgarpoor A. The Effect of Sensorimotor Training on the Plantar Pressure Distribution Symmetry in Healthy Elderly: A Field Trial Study. PTJ. 2022;12(4):249-60. doi: 10.32598/ptj.12.4.442.3.