

Research Paper

The Effect of Neuromuscular Training on Moments and Knee Angles During Single-Leg Landing and Kinesiophobia in Individuals With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction



Hossein Tajdini Kakavandi¹ , *Mehdi Khaleghi Tazji¹ , Amir Lataftkar¹

1. Department of Biomechanics and Sports Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.



Citation Tajdini Kakavandi H, Khaleghi Tazji M, Lataftkar A. [The Effect of Neuromuscular Training on Moments and Knee Angles During Single-leg Landing and Kinesiophobia in Individuals With ACL Reconstruction (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(5):774-787. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.5.3372>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.5.3372>

ABSTRACT

Background and Aims Anterior cruciate ligament (ACL) tears compromise knee stability and function despite surgical reconstruction and rehabilitation and predispose patients to long-term osteoarthritis, reduced activity levels, and persistent neuromuscular deficits. Incorporating targeted neuromuscular training into post-ACL reconstruction programs may optimize sensorimotor control, correct aberrant biomechanics, and thereby enhance performance and reduce the risk of reinjury. Therefore, this study aimed to investigate the effect of neuromuscular training on moments and knee angles during single-leg landing and kinesiophobia in individuals with ACL reconstruction.

Methods In this study, 30 people with ACL reconstruction participated and were randomly divided into two groups: Control and experimental. Only the experimental group received the neuromuscular training program. Kinesiophobia was assessed with the Tampa Scale for Kinesiophobia, which has 17 items pertaining to the fear of movement and reinjury. Kinetic and kinematic data were measured using a force plate and motion analysis. The neuromuscular training program consisted of nine different exercises in 16 sessions (two sessions per week for eight weeks, each session lasting approximately one hour) that focused on increasing and coordinating dynamic flexion of lower limb joints, increasing trunk stability, and optimizing landing mechanics. A repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used to examine the effect of training.

Results The results showed that neuromuscular training had a significant effect on knee flexion angle, knee flexion torque, knee abduction angle, knee abduction torque, knee internal rotation angle, knee internal rotation torque, ground reaction force during single-leg landing, and kinesiophobia in participants with ACL reconstruction ($P < 0.05$).

Conclusion Neuromuscular training improves landing biomechanics and kinesiophobia in patients after ACL reconstruction. Neuromuscular training reduces the risk factors for ACL re-injury and should be emphasized during and after traditional postoperative rehabilitation.

Keywords Neuromuscular training, Anterior cruciate ligament (ACL), Kinematics, Ground reaction force, Kinesiophobia

Received: 25 May 2025

Accepted: 06 Aug 2025

Available Online: 22 Nov 2025

* Corresponding Author:

Mahdi Khaleghi Tazji, Associate Professor.

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

Tel: +98 (935) 5348850

E-Mail: Khaleghi.m@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 cruciate ligament (ACL) tears are a common knee injury that usually requires surgical reconstruction and extensive rehabilitation to restore knee stability and function. Despite surgical reconstruction and physical rehabilitation, ACL injury significantly increases the risk of developing osteoarthritis in the tibiofemoral and patellofemoral joints, long-term reduced physical activity, and decreased efficiency, which can affect both knee function and quality of life 10-20 years after ACL reconstruction. Recent reports suggest that unresolved neuroplastic changes following injury, reconstruction, and rehabilitation may limit performance and return to sports. Neuroplasticity after an ACL injury is likely due to a combination of altered sensory feedback from the injury, as well as compensation for behavioral motor control, the loss of ligament mechanoreceptors, and the physiological consequences associated with inflammation and fluid accumulation in the joint, which may alter information input to the central nervous system. Neuromuscular training is designed to enhance neuromuscular coordination, increase joint stability, and improve motor control. These exercises can help improve important biomechanical factors, such as balance, range of motion, and correct movement patterns, while reducing stress on the joints. Since movement biomechanics play a crucial role in the success of rehabilitation, the use of neuromuscular training as an innovative method in rehabilitation programs following ACL surgery can lead to improved efficiency in enhancing performance and preventing future injuries. Therefore, this study aimed to investigate the effect of neuromuscular training on moments and knee

angles in single-leg landing and kinesiophobia in individuals with ACL reconstructions.

Methods

Thirty subjects participated in this quasi-experimental study. Fifty-five reflective markers of appropriate diameters were placed on landmarks on both sides of the lower and upper limbs using the Helen Hayes [30] method. The participants performed three successful single-leg landing tests from a 30 cm plyometric box onto an embedded force plate. A test was considered successful when the athlete landed on the force plate with one leg and then performed a vertical jump with maximum effort. Kinematic data were collected at a sampling rate of 240 Hz, and separate ground reaction force data were collected at a sampling rate of 1200 Hz. A standard method was used to calculate kinematic variables, which were coded in MATLAB software, version 2022b. Inverse dynamics was used to calculate kinetic variables. The neuromuscular training program consisted of nine different exercises in 16 sessions (two sessions per week, approximately one hour per session, for eight weeks) that focused on increasing and coordinating dynamic flexion of lower limb joints, increasing trunk stability, and optimizing landing mechanics (unilateral and bilateral). Each exercise consisted of two levels of increasing difficulty, and progression from one stage to the next was determined based on individual performance. The decision to progress the athlete was based on the athlete's ability to perform proper form for at least three sets of 10 repetitions (achieving at least 80% of the total repetitions). A repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used in a 2×2 factorial design (group×stage) with repeated measures in the second factor.

Table 1. Results of repeated-measures analysis of variance test to examine the effect of exercises

Variables	Mean Square	F	P*	Effect Size
Knee flexion angle	32.35	8.80	0.008	0.22
Knee flexion moment	0.57	28.11	0.000	0.50
Knee abduction angle	3.54	6.39	0.017	0.18
Knee abduction moment	0.009	10.95	0.003	0.28
Knee internal rotation angle	9.62	30.02	0.000	0.51
Knee internal rotation moment	0.005	11.37	0.002	0.30
Ground reaction force	29.97	47.59	0.000	0.63
Kinesiophobia	968.01	377.85	0.000	0.93

Results

The results of the repeated measures analysis of variance test showed that neuromuscular training had a significant effect on knee flexion angle, knee flexion torque, knee abduction angle, knee abduction torque, knee internal rotation angle, knee internal rotation torque, ground reaction force, and kinesiophobia in participants with ACL reconstruction ($P < 0.05$) (Table 1).

Conclusion

Neuromuscular training improves landing biomechanics and kinesiophobia in patients after ACL reconstruction. Neuromuscular training reduces the risk factors for ACL re-injury and should be emphasized during and after traditional postoperative rehabilitation. The results observed with neuromuscular training are most likely due to more specific neuromuscular adaptations or greater muscle regrowth resulting from this training modality.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of the Research Ethics Committee of the [Sport Science Research Institute](#), with reference number IR.SSRI.REC.1400.065. All ethical principles were considered in this study. The participants were informed about the purpose of the research and its implementation stages. They were also assured of the confidentiality of their information and were free to leave the study at any time. If desired, the research results would be made available to them.

Funding

This article was extracted from the dissertation of Hossein Tajdini Kakavandi at the Faculty of Physical Education and Sport Sciences, [Kharazmi University](#). This research did not receive any grants from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

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

Conflict of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all the participants and the staff of the Motion Analysis Laboratory for their cooperation in this study.



مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر گشتاور و زوایای زانو در حرکت فرود تک پا و کینزوفوبیا در افراد دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی

حسین تاجدینی کاکاوندی^۱، مهدی خالقی تازجی^۱، امیر لطافتکار^۱

۱. گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online



Citation Tajdini Kakavandi H, Khaleghi Tazji M, Lataftkar A. [The Effect of Neuromuscular Training on Moments and Knee Angles During Single-leg Landing and Kinesiophobia in Individuals With ACL Reconstruction (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(5):774-787. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.5.3372>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.5.3372>

چکیده

مقدمه و اهداف: پارگی رباط صلیبی قدامی (ACL) نه تنها با وجود جراحی بازسازی و توان بخشی، ثبات و عملکرد زانو را مختل می کند، بلکه بیماران را در طولانی مدت به آرتروز، کاهش سطح فعالیت و اختلالات پایدار عصبی-عضلانی مستعد می سازد. گنجاندن تمرینات هدفمند نوروموسکولار در برنامه های توان بخشی پس از جراحی ACL می تواند کنترل حس حرکتی را بهینه کرده، بیومکانیک ناصحیح را اصلاح و از این طریق عملکرد را بهبود و خطر آسیب مجدد را کاهش دهد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق تأثیر تمرینات نوروماسکولار بر گشتاور و زوایای زانو در حرکت فرود تک پا و کینزوفوبیا در افراد دارای بازسازی ACL بود.

مواد و روش ها: در این پژوهش ۳۰ نفر دارای بازسازی ACL شرکت کردند که به صورت تصادفی به دو گروه کنترل و آزمایش تقسیم شدند و فقط گروه آزمایش برنامه تمرینات عصبی-عضلانی را دریافت کردند. کینزوفوبیا با مقیاس تامپا برای کینزوفوبیا (TSK) ارزیابی شد که دارای ۱۷ مورد مربوط به ترس از حرکت و آسیب مجدد است. داده های کینتیک و کینماتیک با استفاده از فورس پلیت و آنالیز حرکتی در حرکت فرود تک پا اندازه گیری شدند. برنامه تمرینات عصبی-عضلانی شامل ۹ تمرین مختلف در ۱۶ جلسه (به مدت ۸ هفته، هر هفته ۲ جلسه و هر جلسه حدود ۱ ساعت) بود. برای بررسی تأثیر تمرین از آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری تکراری استفاده شد.

یافته ها: نتایج نشان داد تمرینات عصبی-عضلانی تأثیر معنی داری بر بهبود زاویه فلکشن زانو، گشتاور فلکشن زانو، زاویه ابداکشن زانو، گشتاور ابداکشن زانو، زاویه چرخش داخلی زانو، گشتاور چرخش داخلی زانو، نیروی عکس العمل زمین در حرکت فرود تک پا و کینزوفوبیا در افراد دارای بازسازی ACL داشت ($P < 0.05$).

نتیجه گیری: تمرینات عصبی-عضلانی بیومکانیک فرود و کینزوفوبیا را در بیماران پس از بازسازی ACL بهبود بخشید. تمرینات نوروماسکولار به طور مفید عوامل خطر آسیب ACL مجدد را کاهش می دهد و باید در طول و بعد از توان بخشی سنتی پس از عمل بر آن تأکید شود.

کلیدواژه ها: تمرینات عصبی-عضلانی، رباط صلیبی قدامی، کینماتیک زانو، نیروی عکس العمل زمین، کینزوفوبیا

تاریخ دریافت: ۰۴ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۵ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۰۱ آذر ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر مهدی خالقی تازجی

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

تلفن: ۵۳۴۸۸۵۰ (۹۳۵) ۹۸+

رایانامه: Khaleghi.m@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

پارگی لیگامان صلیبی قدامی^۱ (ACL) یک آسیب متداول در زانو است که معمولاً برای بازگرداندن ثبات و عملکرد زانو به بازسازی از طریق جراحی و توانبخشی گسترده نیاز دارد. با وجود بازسازی جراحی و توانبخشی بدنی، آسیب ACL به شدت خطر توسعه استئوآرتریت مفصل تییبوفمورال و پاتلوفمورال را افزایش می‌دهد و کارایی را کاهش می‌دهد که هم می‌تواند بر عملکرد زانو و هم کیفیت زندگی ۱۰ تا ۲۰ سال پس از بازسازی ACL تأثیر بگذارد [۱]. آسیب غضروف مفصلی در ۵۰ تا ۹۰ درصد ورزشکاران در ۱۰ تا ۲۰ سال پس از بازسازی ACL گزارش شده است [۲]. در ورزشکاران جوان (کمتر از ۲۵ سال) که به ورزش‌های رقابتی شامل فعالیت‌های جامپینگ و کاتینگ باز می‌گردند، احتمال آسیب مجدد ACL ۲۳ درصد گزارش شده است [۳].

مطالعات مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در پارگی مجدد ACL را فلکشن مفصل زانو در حرکت فرود، گشتاور زانو در حرکت فرود و دامنه حرکتی زانو در صفحه فرونتال در ورزشکاران بیان کرده‌اند که این خطرات هم در پای آسیب‌دیده و هم در پای سالم رخ می‌دهد [۴]. بررسی سیستماتیک روی الگوهای حرکت زانو حین راه رفتن نشان می‌دهد عملکرد نرمال زانو ممکن است هرگز بازیابی نشود [۵]. استراتژی‌های بارگیری غیرنرمال اندام نیز در طیف وسیعی از فعالیت‌های عملکردی از جمله در هنگام حرکات اسکات، دویدن و فرود مشاهده شده است [۶].

نقایص در بیومکانیک اندام تحتانی و کنترل عصبی-عضلانی پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی (ACLR) به طور گسترده‌ای در میان این ورزشکاران گزارش شده است. یک مرور نظام‌مند اخیر درباره الگوهای حرکتی زانو در حین راه رفتن نشان داد کینماتیک مفصلی به طور متوسط تا ۶ سال پس از بازسازی ACL به وضعیت طبیعی بازمی‌گردد، اما سایر شاخص‌های حرکتی در صفحه ساجیتال همچنان پایین‌تر از جمعیت کنترل باقی می‌ماند [۵]. نکته قابل توجه این است که این نقایص حرکتی باقی‌مانده در زمان بازگشت ورزشکاران به فعالیت نیز وجود دارند و به طور مستقیم با افزایش خطر آسیب مجدد به ACL در ارتباط هستند [۷].

یک مطالعه آینده‌نگر که ورزشکاران دارای بازسازی ACL را درست پیش از بازگشت به ورزش مورد ارزیابی قرار داد، چندین نقص عصبی-عضلانی در ناحیه لگن و زانو را شناسایی کرد که با حساسیت و ویژگی بالا قادر به پیش‌بینی آسیب دوم ACL بودند [۴]. این نقایص عملکردی گسترده در این جمعیت نشان می‌دهند بازتوانی صرف برای بازگرداندن ورزشکار به سطح سلامت قبل از آسیب ممکن است کافی نباشد. این موضوع اهمیت تکمیل برنامه‌های بازتوانی پس از عمل با تمریناتی برای رفع نقایص

حرکتی باقی‌مانده پیش از بازگشت به ورزش را برجسته می‌سازد [۸]. درمان‌های فیزیوتراپی رایج برای افراد دارای بازسازی ACL شامل دستورالعمل‌ها، استفاده از بریس، سرمدارمانی، تمرینات افزایش دامنه حرکتی مفصل، تقویت عضلات، بازآموزی الگوی راه رفتن و تمرینات عصبی-عضلانی است [۹، ۱۰]. تمرینات عصبی-عضلانی بخش مهمی از توانبخشی امروزی پس از بازسازی ACL محسوب می‌شوند [۸]. مطالعات نشان داده‌اند این تمرینات می‌توانند باعث بهبود قدرت عضلانی، اصلاح بیومکانیک غیرطبیعی و ارتقای کنترل عصبی-عضلانی اندام تحتانی شوند و در نتیجه، خطر آسیب مجدد در بیماران دارای بازسازی ACL را کاهش دهند [۱۱].

از دیگر عوامل مهم در توانبخشی که در مطالعات از آن غافل می‌شوند، بررسی فاکتورهای کینزوفوبیا (ترس از حرکت/آسیب مجدد) است. اهمیت این فاکتورها پس از بازسازی ACL به طور فزاینده‌ای در مقالات شناخته شده است [۱۲، ۱۳]. علاوه بر این، پیشنهاد شده است مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر بازگشت به ورزش پس از بازسازی ACL، فاکتورهای روانشناسی مانند کینزوفوبیا است [۱۵]. شواهد محدودی عوامل زمینه‌ای در حوزه روانشناسی مانند ترس مرتبط با آسیب مورد بررسی قرار داده‌اند که می‌تواند فعالیت بدنی و بازگشت به ورزش را تحت تأثیر قرار دهند [۱۶]. بررسی اخیر در مورد عوامل زمینه‌ای مؤثر بر بازگشت به ورزش پس از بازسازی ACL مشخص کرد کاهش ترس از حرکت و آسیب مجدد باعث بازگشت به سطح ورزشی پیش از آسیب‌دیدگی بعد از بازسازی ACL می‌شود [۱۳].

سونسون و همکاران دریافتند انگیزه بالاتر در طول دوره توانبخشی با بازگشت به فعالیت ورزشی رابطه مثبتی دارد [۱۶]. مهم‌تر اینکه، ورزشکاری که ترس از آسیب را گزارش کرده است می‌تواند به طور بالقوه ریکواری عملکردی را محدود کند، اما توانبخشی بعد از جراحی می‌تواند این ترس را در طول زمان کاهش دهد [۱۷]. باوجوداین، این عوامل معمولاً در طول توانبخشی و تصمیم‌گیری بازگشت به ورزش پس از بازسازی ACL به طور نظام‌مند ارزیابی نمی‌شود [۱۸]. تحقیقات قبلی مشخص کرده است افراد آسیب‌دیده ACL معمولاً ترس مداوم از آسیب مجدد را تجربه می‌کنند که تا حدی به دلیل عدم اعتماد به زانوی آسیب‌دیده خود است. ترس از آسیب مجدد در زانوی آسیب‌دیده و عدم اعتماد به نفس می‌تواند بر کینزوفوبیا و کارآمدی زانو تأثیر بگذارد [۱۹].

عوامل خطر بیومکانیکی برای پارگی مجدد ACL شامل کاهش گشتاور چرخش خارجی ران، افزایش والگوس زانو، عدم تقارن بیشتر گشتاور اکستانسور زانو، و نقص در ثبات پاسچر در حرکت فرود عنوان شده است [۴]. کاهش گشتاور چرخش خارجی ران و افزایش والگوس زانو در حرکت فرود می‌تواند فشار غیرطبیعی بر مفصل وارد کرده و احتمال پارگی مجدد ACL را افزایش دهد.

1. Anterior Cruciate Ligament (ACL)

عدم تقارن گشتاور بازکننده‌های زانو نیز با اختلال در تولید نیرو و کنترل فرود همراه است که در صورت ضعف حس عمقی زانو، هماهنگی ران-مچ پا را مختل می‌سازد و اندام تحتانی را در معرض خطر بیشتری قرار می‌دهد [۲۰]. مطالعات نشان داده‌اند تنها ۶۵ درصد از ورزشکاران پس از بازسازی ACL به سطح فعالیت پیشین و تنها ۵۵ درصد به سطح ورزش رقابتی بازمی‌گردند [۲۱] و والگوس دینامیک زانو در فرود تا ۶ برابر فشار مفصلی را افزایش می‌دهد [۲۲].

شواهد موجود نشان می‌دهد برنامه‌های تمرینی عصبی-عضلانی می‌توانند کمبودهای عملکردی در ورزشکاران را برطرف کنند [۲۳]. مطالعات پیشین که تمرینات عصبی-عضلانی را در جمعیت‌های آسیب‌پذیر نسبت به صدمات زانو اجرا کرده‌اند، عوامل بالقوه خطر بیومکانیکی را تعدیل کرده و بروز آسیب ACL را کاهش داده‌اند [۲۴، ۲۵].

علاوه بر این، یک مطالعه مروری نظام‌مند و فراتحلیل درباره اثربخشی برنامه‌های پیشگیری از آسیب ACL، شواهد قوی در حمایت از این برنامه‌ها ارائه کرده است [۲۵]. تخمین‌های ترکیبی این مطالعه مروری نشان داد خطر آسیب برای ورزشکاران زن ۵۲ درصد و برای ورزشکاران مرد ۸۵ درصد کاهش یافته است [۲۵]. این فواید تمرینات عصبی-عضلانی ممکن است به ورزشکاران پس از بازسازی ACL کمک کند تا به‌طور ایمن و مؤثر به ورزش بازگردند. به‌طور ایدئال، این برنامه تمرینی باید در مرحله انتهایی توان‌بخشی یا درست پیش از بازگشت ورزشکاران به میادین ورزشی اجرا شود. باین‌حال، در ابتدا مهم است که اثر تمرینات عصبی-عضلانی بر بیومکانیک زانو در گروهی از ورزشکاران دارای بازسازی ACL پیش از بازگشت به ورزش شناخته شود [۲۶]. با وجود اینکه تمرینات عصبی-عضلانی در پروتکل‌های بازتوانی ACLR جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند، شواهد نشان می‌دهد اثر دقیق این مداخلات بر پارامترهای بیومکانیکی منتخب (نظیر زوایا و گشتاورهای مفصل زانو و نیروی عمودی عکس‌العمل زمین) و ابعاد روانی (ترس از حرکت) هنوز به‌طور جامع بررسی نشده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق تأثیر تمرینات نوروماسکولار بر عوامل منتخب روان‌شناختی و بیومکانیکی در افراد دارای بازسازی ACL بود.

مواد و روش

آزمودنی‌ها

جامعه آماری مطالعه حاضر را ورزشکاران دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی با اتوگرافت همسترینگ، ساکن شهر تهران و مراجعه‌کننده به کلینیک فیزیوتراپی نور که حدوداً ۱۵۰ نفر می‌باشند، تشکیل دادند. از درون جامعه آماری باتوجه به اطلاعات

مربوط به پژوهش‌های پیشین و با کمک نرم‌افزار جی‌پاور^۲ با ورودی اطمینان ۹۵، توان آزمون ۸۰ درصد و اندازه اثر (۰/۵۴) تعداد آزمودنی‌ها ۱۵ نفر برای هر گروه تعیین شد. نمونه‌گیری در این مطالعه به‌صورت نمونه در دسترس و به‌صورت هدفمند انجام شد. باتوجه به سطح قابل قبول توان آزمون و وجود مقالات مرجع با تعداد آزمودنی مشابه [۲۲] تصمیم نتایج به جامعه موردبررسی را ممکن و محتمل می‌سازد. تمامی شرکت‌کنندگان با نظر پزشک و براساس معیارهای ورود به تحقیق گزینش شدند.

معیارهای ورود به تحقیق شامل موارد زیر بودند: دامنه سنی ۱۸ تا ۳۰ سال، حداقل ۳ جلسه تمرین در هفته به‌مدت ۱ ساعت قبل از بروز آسیب ACL، گذشت حداقل ۶ ماه از عمل جراحی، دامنه حرکتی بدون درد زانو [۲۶]. عدم وجود التهاب مفصل زانو و انجام ۵ تست هاپ تک‌پا^۳ برای رسیدن به حداکثر ارتفاع بدون درد و از دست دادن تعادل.

معیارهای خروج از مطالعه شامل موارد زیر بودند: سابقه آسیب یا جراحی قبلی در زانوی آسیب‌دیده، آسیب مفصلی که ممکن است روند توان‌بخشی را تحت تأثیر قرار دهد، سابقه اختلالات عصبی مرکزی یا محیطی، عدم رضایت در حین پروتکل و ابتلا هم‌زمان به هرگونه بیماری قلبی، ریوی یا متابولیکی [۲۷]. معاینات بالینی توسط فیزیوتراپیست آشنا به روند تحقیق انجام شد.

روش اجرایی

پس از ارائه کامل توضیحات پیرامون اهداف تحقیق و شرح دقیق مراحل اجرایی، روند کار به آزمودنی‌ها توضیح داده شد و فرم رضایت‌نامه کتبی مطابق با دستورالعمل‌های اخلاق پژوهش اخذ گردید. برای همگن‌سازی گروه و اطمینان از انطباق ویژگی‌های جمعیت‌شناختی، از هر شرکت‌کننده خواسته شد فرم جمع‌آوری اطلاعات شخصی و پزشکی را تکمیل نماید. این فرم شامل سؤالاتی در مورد سن، قد، وزن، سطح فعالیت بدنی، سابقه آسیب‌دیدگی یا جراحی قبلی و وضعیت سلامت عمومی بود. پس از تأیید انطباق هر فرد با معیارهای ورود زمان‌بندی تست‌ها در ساعات مشخص روز (حداکثر یک بازه صبح و یک بازه بعدازظهر) باتوجه به دسترسی و راحتی آزمودنی‌ها هماهنگ شد. همه آزمودنی‌ها موظف شدند حداقل ۲۴ ساعت قبل از حضور، از انجام فعالیت بدنی سنگین پرهیز کنند و شب قبل خواب کافی داشته باشند تا نتایج اندازه‌گیری‌ها تا حد امکان تحت تأثیر عوامل بیرونی قرار نگیرد. در روز آزمایش و قبل از انجام تست فرود تک‌پا، شرکت‌کنندگان ابتدا به‌مدت ۱۰ دقیقه گرم کردن عمومی انجام دادند. گرم کردن عمومی شامل دویدن نرم، حرکات کششی و پرش و فرود بودند.

2. G*Power
3. single-Leg Hop (SLH)



طب توانبخشی

تصویر ۱. اجرای حرکت فرود تک پا و ثبت داده‌های کینماتیکی و کینتیکی

نرم‌افزار اختصاصی برای کاهش نویز و تحلیل داده‌های کینماتیک و کینتیک به کار گرفته شد. شکاف‌های موقعیت نشانگر که تا ۲۵ فریم متوالی در وظیفه پرش-فرود وجود داشت، با استفاده از تابع اسپلاین مکعبی در نرم‌افزار متلب^۸ پر شدند. پس از برچسب‌گذاری صحیح همه مارکرها و پر کردن شکاف‌ها، داده‌های موقعیت مارکرها و نیروی واکنش زمین به Visual3D (شرکت C-Motion، جرمان‌تاون، مریلند) ارسال شد. در آنجا، ابتدا مدل‌های ایستای اختصاصی متناسب با اندازه‌های هر شرکت‌کننده ایجاد شدند. سپس داده‌های موقعیت مارکرها و نیروی واکنش زمین به ترتیب با فیلتر پایین‌گذر دوجمله‌ای باترورث با فرکانس قطع ۱۲ هرتز و ۵۰ هرتز فیلتر شدند [۲۹].

مرکزهای مفصل لگن با استفاده از فرمول‌های معتبر انسان‌شناختی محاسبه شدند و در پردازش، بر مبنای موقعیت نسبی این مراکز نسبت به مارک‌های لگن، مارکر مجازی مبتنی بر مرکز مفصل ایجاد شد. برای تمام داده‌ها نرمال‌سازی زمانی به صورت ۱۰۰ درصد فاز استانس صورت گرفت. برای محاسبه متغیرهای کینماتیک (زوایای مفصل زانو) از توالی کاردان-اولر^۹ (X-Y-Z) در دستگاه‌های مختصات محلی استفاده گردید و برای محاسبه متغیرهای کینتیک (گشتاورهای مفصل زانو)، روش دینامیک معکوس استفاده شد. لحظه زمان تماس اولیه پاشنه پا زمانی تعریف شد که مؤلفه عمودی نیروی واکنش زمین از ۱۰ نیوتن فراتر رود [۲۹]. تمامی محاسبات کینماتیک و کینتیک با استفاده از کد نویسی در نرم‌افزار متلب و ویژوال تری دی^{۱۰} انجام گردید. همه متغیرها در پیش‌آزمون و سپس پس‌آزمون اندازه‌گیری شدند.

علاوه بر این، برای تضمین حفظ محرمانگی داده‌ها، کلیه فرم‌های جمع‌آوری اطلاعات به صورت کدگذاری شده در پوشه‌های مجزا نگهداری گردید و دسترسی به آن‌ها تنها برای اعضای تیم پژوهش میسر بود. داده‌های پیکرشناسی آزمودنی شامل وزن، قد و شاخص توده بدنی ثبت شد. قد با استفاده از قدسنج دیواری با دقت ۰/۵ سانتی‌متر و وزن با ترازو دیجیتال با دقت ۰/۱ کیلوگرم اندازه‌گیری شد. کلیه آزمودنی‌ها بدون کفش و با لباس سبک مورد ارزیابی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری متغیرها

کینزیوفوبیا با مقیاس تامپا برای کینزیوفوبیا (TSK^۴) ارزیابی شد که دارای ۱۷ مورد مربوط به ترس از حرکت است. در یک مطالعه، پشتیبانی روان‌سنجی نسخه فارسی مقیاس تامپا برای کینزیوفوبیا (TSK-17) بررسی شد و همسانی درونی آن مطلوب گزارش گردید (آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷۴) که با نسخه انگلیسی (آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷۵) قابل مقایسه بود. این پرسش‌نامه شامل ۱۷ مورد است که هر یک بر مبنای طیف لیکرت ۴ از «کاملاً مخالفم» (۱) تا «کاملاً موافقم» (۴) امتیازدهی می‌شود و مجموع نمرات در دامنه ۱۷ تا ۶۸ قرار می‌گیرد؛ نمرات بالاتر نشان‌دهنده ترس از حرکت بیشتر است. با توجه به این یافته‌ها، TSK-17 ابزاری معتبر و قابل اعتماد برای ارزیابی کینزیوفوبیا در مراحل بعدی توان‌بخشی پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی به شمار می‌آید [۲۸].

برای اندازه‌گیری داده‌های کینماتیکی توسط دوربین آنالیز حرکتی (کوالیسیس^۵، گوتنبرگ، سوئد) در حرکت فرود، تعداد ۵۵ مارکر انعکاسی بر روی لندمارک‌های دو سمت اندام تحتانی و فوقانی (مجمعه، مهره C۷، مهره T۱۰، جناغ سینه، زائده خنجر، نشانگرهای خار خارهای قدامی-فوقانی^۶ (ASIS) و خار خارهای خلفی-فوقانی^۷ (PSIS)، شانه، بازو، ساعد، مچ دست، ران، زانو، مچ پا، کلاسترهای ران چپ و راست، کلاسترهای ساق چپ و راست) به روش هلن‌هایز نصب شدند [۲۹]. ورزشکاران ۳ تست پرش فرود تک پا موفق از یک جعبه پلاستیکی ۳۰ سانتی‌متری بر روی صفحه نیروی جاسازی شده (نوع ۹۲۸۵، کیستلر، وینترتور، سوئیس) انجام دادند. قبل از اجرای این تکلیف، به ورزشکاران آموزش‌های شفاهی در مورد نحوه انجام تست داده شد، و به آن‌ها اجازه داده شد حداقل ۲ یا ۳ آزمون تمرینی برای آشنایی انجام دهند. یک آزمایش زمانی موفقیت‌آمیز بود که ورزشکار با تک پا بر روی صفحه نیروی فرود داشته باشد و به دنبال آن یک پرش عمودی با حداکثر تلاش انجام دهد. فرکانس نمونه‌برداری دوربین آنالیز حرکت ۲۴۰ هرتز و فورس پلیت ۱۲۰۰ هرتز بود (تصویر شماره ۱).

4. Tampa Scale for Kinesophobia (TSK)
5. Qualisys
6. Anterior Superior Iliac Spine (ASIS)
7. Posterior Superior Iliac Spine (PSIS)

8. MATLAB
9. Cardan Euler
10. Visual 3D

جدول ۱. برنامه تمرینات عصبی-عضلاتی

نام حرکت	تسک	ست
پرش تک پای رو به جلو	فاز ۱: پرش و نگهداشتن	تکرار ۳×۱۰
	فاز ۲: پرش-پرش-نگهداشتن	تکرار ۳×۱۰
پرش تک پای رو به کنار روی استپ	فاز ۱: پرش تک پا روی بوسو بال ^۱	تکرار ۳×۱۰
	فاز ۲: پرش تک پا روی بوسو بال و سپس پرش مجدد و حفظ تعادل	تکرار ۳×۱۰
پریدن به کنار	فاز ۱: پریدن به کنار جفت پا	تکرار ۳×۱۰
	فاز ۲: پریدن به کنار تک پا	تکرار ۳×۱۰
خم شدن جانبی تنه	فاز ۱: خم شدن جانبی روی بوسو بال	تکرار ۳×۱۰
	فاز ۲: خم شدن جانبی روی سوئیس بال	تکرار ۳×۱۰
حفظ ثبات تنه	فاز ۱: پلانک شکم روی بوسو بال همراه با اکستنشن لگن و فلکشن	تکرار ۳×۱۰
	فاز ۲: پلانک شکم	تکرار ۳×۱۰
لانژ	فاز ۱: راه رفتن لانژ ^۲	متر ۳×۱۰
	فاز ۲: راه رفتن لانژ همراه با دمبل	متر ۳×۱۰
حفظ تعادل و ثبات تنه با زانوی خم	فاز ۱: حفظ تعادل با زانوی خم روی بوسو بال	ثابته ۳×۱۰
	فاز ۲: حفظ تعادل با زانوی خم روی سوئیس بال	ثابته ۳×۱۰
ددلیفت رومانیایی	فاز ۱: ددلیفت ^۳ تک پا روی استپ	تکرار ۳×۱۰
	فاز ۲: ددلیفت تک پا روی بوسو بال همراه با وزنه	تکرار ۳×۱۰
پرش لانژ	فاز ۱: یک پرش لانژ و حفظ تعادل	تکرار ۳×۱۰
	فاز ۲: پرش مکرر به صورت لانژ	ثابته ۳×

طب توانبخش

1. Bosu Ball
2. Lunge
3. Dead lift

نحوه اعمال برنامه تمرینی

روش تجزیه و تحلیل

برنامه تمرینات عصبی-عضلاتی شامل ۹ تمرین مختلف در ۱۶ جلسه به مدت ۸ هفته، هر هفته ۲ جلسه و هر جلسه حدود ۱ ساعت بود که بر افزایش و هماهنگی فلکشن دینامیک مفاصل اندام تحتانی، افزایش ثبات تنه و بهینه سازی مکانیک فرود (یک طرفه و دوطرفه) تمرکز دارد. هر تمرین شامل ۲ سطح افزایش سختی بود و پیشرفت از یک مرحله به مرحله بعدی براساس عملکرد فردی تعیین شد. پیشرفت برنامه براساس توانایی ورزشکار در اجرای صحیح تکنیک حداقل در ۸۰ درصد از مجموع تکرارها تعیین شد. زمانی که این اتفاق می افتاد تعداد تکرارها و یا زمان هر تسک افزایش می یافت. همچنین در حرکتهای راه رفتن لانژ و ددلیفت رومانیایی براساس پیشرفت آزمودنی مقدار وزنه افزایش می یافت. آزمودنی ها ۸ هفته اول را برنامه های فاز ۱ را اجرا کردند و ۸ هفته بعدی برنامه های فاز ۲ را اجرا کردند [۳۰، ۸]. همچنین گروه کنترل نیز برنامه تمرینی دریافت نکرد. برنامه تمرینات نرمواسکولار در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

با استفاده از نرم افزار آماری SPSS، شاخص های آماری میانگین و انحراف معیار برای توصیف داده ها محاسبه شد. سپس با استفاده از آزمون شاپیرو-ویک^{۱۱} برای بررسی چگونگی توزیع اطلاعات و از آزمون لون^{۱۲} برای بررسی همگنی واریانس ها استفاده شد. از آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری های مکرر در یک طرح عاملی ۲×۲ (گروه×مراحل) که در عامل دوم خود دارای اندازه های تکراری است، استفاده شد. سطح تعیین نتایج معنادار سطح آلفا ۰/۰۵ بود.

11. Shapiro-Wilk Test
12. Levene Test

جدول ۲. ویژگی‌های عمومی شرکت‌کنندگان

گروه	سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (متر)	شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)
کنترل	۲۱/۹۳±۳/۳۲	۷۵/۰۶±۶/۲۳	۱/۸۱±۰/۰۷	۲۲/۷۱±۱/۷۸
تجربی	۲۲/۴۶±۳/۷۱	۷۷/۰۰±۷/۲۷	۱/۸۴±۰/۰۸	۲۲/۷۲±۲/۰۲
p	۰/۶۵۱	۰/۷۲۸	۰/۵۸۴	۰/۶۰۳

طب توانبخش

یافته‌ها

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

برای بررسی نرمال بودن و همگنی داده‌ها از آزمون‌های شاپیروویلک و لون استفاده شد و داده‌ها نرمال و همگن بودند. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری نشان داد تمرینات عصبی-عضلاتی تأثیر معنی‌داری در گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل بر افزایش زاویه فلکشن زانو (اندازه اثر ۰/۲۲)، کاهش گشتاور فلکشن زانو (اندازه اثر ۰/۵۰)، کاهش زاویه ابداکشن زانو (اندازه اثر ۰/۱۸)، کاهش گشتاور ابداکشن

زانو (اندازه اثر ۰/۲۸)، کاهش زاویه چرخش داخلی زانو (اندازه اثر ۰/۵۱)، کاهش گشتاور چرخش داخلی زانو (اندازه اثر ۰/۳۰)، کاهش نیروی عکس‌العمل زمین (اندازه اثر ۰/۶۳) و کاهش کینزوفوبیا (اندازه اثر ۰/۹۳) در افراد دارای بازسازی ACL داشت ($P < ۰/۰۵$) (جدول شماره ۳).

بحث

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر تمرینات عصبی-عضلاتی بر عوامل منتخب بیومکانیکی و کینزوفوبیا در افراد دارای بازسازی ACL بود و نتایج این پژوهش نشان داد تمرینات نوروماسکولار تأثیر معنی‌داری بر کاهش کینزوفوبیا در گروه

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری برای بررسی تأثیر تمرینات در افراد دارای بازسازی ACL

متغیر	گروه	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	نرمالیتی (p)	محدود میانگین	F	p*	اندازه اثر	(p) لون
زاویه فلکشن زانو	کنترل	۵۱/۰۸±۸/۶۲	۵۱/۱۱±۸/۴۰	۰/۵۴۲	۳۲/۲۵	۸/۰۸	۰/۰۰۸	۰/۲۲	۰/۱۰۹
	آزمایش	۴۹/۹۲±۷/۹۵	۵۲/۹۰±۶/۹۲	۰/۲۶۴					
گشتاور فلکشن زانو	کنترل	۲/۶۱±۰/۴۸	۲/۵۹±۰/۴۸	۰/۵۳۵	۰/۵۷	۲۸/۱۱	۰/۰۰۰	۰/۵۰	۰/۷۵۹
	آزمایش	۲/۷۸±۰/۴۷	۲/۳۸±۰/۴۳	۰/۰۸۷					
زاویه ابداکشن زانو	کنترل	۵/۵۸±۴/۰۲	۵/۲۹±۳/۳۹	۰/۳۷۳	۳/۵۴	۶/۳۹	۰/۰۱۷	۰/۱۸	۰/۱۶۶
	آزمایش	۵/۸۳±۴/۸۰	۴/۵۷±۴/۲۵	۰/۴۸۴					
گشتاور ابداکشن زانو	کنترل	۰/۴۶±۰/۱۷	۰/۴۵±۰/۱۸	۰/۸۶۳	۰/۰۰۹	۱۰/۹۵	۰/۰۰۳	۰/۲۸	۰/۴۲۸
	آزمایش	۰/۴۱±۰/۱۷	۰/۳۵±۰/۱۶	۰/۵۸۲					
زاویه چرخش داخلی زانو	کنترل	۹/۳۸±۵/۸۰	۹/۳۱±۵/۴۷	۰/۳۹۵	۹/۶۲	۳۰/۰۲	۰/۰۰۰	۰/۵۱	۰/۰۹۲
	آزمایش	۹/۸۶±۵/۰۰	۸/۱۸±۴/۸۴	۰/۳۷۶					
گشتاور چرخش داخلی زانو	کنترل	۰/۵۷±۰/۲۲	۰/۵۷±۰/۲۱	۰/۱۱۸	۰/۰۰۵	۱۱/۳۷	۰/۰۰۲	۰/۳۰	۰/۲۰۲
	آزمایش	۰/۵۶±۰/۱۹	۰/۵۲±۰/۱۷	۰/۳۹۵					
نیروی عمودی عکس‌العمل زمین	کنترل	۳۷/۸۰±۷/۴۷	۳۷/۶۲±۷/۴۳	۰/۳۷۶	۲۹/۹۷	۳۷/۵۹	۰/۰۰۰	۰/۶۳	۰/۷۸۳
	آزمایش	۳۸/۰۹±۶/۹۸	۳۵/۰۸±۵/۹۵	۰/۱۱۰					
کینزوفوبیا	کنترل	۳۷/۴۰±۴/۵۴	۴۶/۹۳±۴/۲۱	۰/۴۸۹	۹۶/۰۱	۳۷۷/۸۵	۰/۰۰۰	۰/۹۳	۰/۵۱۸
	آزمایش	۵۰/۰۶±۵/۱۱	۳۳/۵۳±۴/۰۶	۰/۳۶۸					

طب توانبخش

* اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

آسیب ACL تغییر دهد، نشان دادند تمرینات توان بخشی با تغییر استراتژی‌های کنترل حرکتی و کینماتیک مفاصل تنه و اندام تحتانی می‌تواند بیومکانیک مرتبط با آسیب‌های ACL را اصلاح کند [۳۴].

همچنین ناگلی و همکاران مطالعه‌ای با عنوان نقص‌های بیومکانیکی مفصل ران در ورزشکاران با بازسازی ACL با تمرینات نرماسکولار بهبود می‌یابد، انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تمرینات نرماسکولار ممکن است به نقص‌های بیومکانیکی در میان ورزشکاران با بازسازی ACL بپردازد و خطر آن را برای پیامدهای آتی کاهش دهد [۳۵].

در تحقیقی دیگر نیز ناگلی و همکاران نشان دادند تمرینات عصبی-عضلاتی تأثیر معنی‌داری بر افزایش زاویه فلکشن زانو دارد [۲۹]. اینکه تمرینات توان بخشی ما بتواند باعث افزایش زاویه فلکشن زانو و کاهش زوایای اداکشن و چرخش داخلی زانو شود، برای بیمار مفید است. استراتژی‌های فرود کینماتیکی سفت در مطالعات بیومکانیکی آینده‌نگر نشان داده است خطر آسیب‌های ACL را افزایش می‌دهد. بهبود ورزشکاران مبتلا به ACL که با زاویه خم شدن زانو بیشتر، اداکشن و چرخش داخلی کمتر زانو پس از شرکت در برنامه توان بخشی، ممکن است کمک کند خطر آسیب ACL مجدد در آینده را کاهش دهد.

در رابطه با متغیر گشتاور، نتایج نشان داد تمرینات نوروماسکولار باعث کاهش معنی‌داری در گشتاورهای فلکشن، اداکشن و چرخش داخلی زانو در افراد دارای بازسازی ACL می‌شود. کاهش گشتاورهای زانو پس از بازسازی ACL نشان‌دهنده توزیع مناسب‌تر نیروها و کاهش بار مکانیکی وارد بر بخش‌های درونی مفصل است. گشتاورهای بالای فلکشن، اداکشن یا چرخش داخلی می‌توانند فشار متمرکز بر رباط پیوندخورده و غضروف‌های مفصلی را افزایش داده و استئوآرتریت را بالا ببرند. بنابراین، کاهش معنادار این گشتاورها با بهبود کنترل عصبی-عضلاتی، حرکت نرم‌تر و محافظت بیشتر از ساختارهای داخلی زانو همراه است و روند بهبودی و بازگشت به فعالیت‌های ورزشی را ایمن‌تر می‌کند. نشان داده شده است تمرینات باعث افزایش فعالیت عصبی-عضلاتی [۳۶] و رشد عضلات اسکلتی می‌شود. در نتیجه تمرینات باعث تسهیل کینتیک زانو و به دنبال آن بهبود گشتاورهای زانو هنگام انجام حرکات می‌شود.

در تحقیقی که لپلی و همکاران انجام دادند پس از مداخله، بیماران یک پاسخ بازتابی اسپینال و فعالیت عضلانی تسهیل شده از قشر حرکتی در مدت زمان ریکاوری را نشان دادند [۳۷].

هامونگارد و همکاران نیز نشان دادند تمرینات عصبی-عضلاتی همراه با تکلیف شناختی باعث بهبود معنادار مکانیک فرود در بازیکنان فوتسال شد [۳۸]. در تحقیق لپلی و همکاران بیماران کاهش وابستگی به فعالیت قشر فرونتال برای ایجاد انقباضات عضله

تجربی داشت. تحقیقات قبلی مشخص کرده‌اند افراد آسیب‌دیده ACL معمولاً ترس مداوم از آسیب مجدد را تجربه می‌کنند که تا حدی به دلیل عدم اعتماد به زانوی آسیب‌دیده خود است. ترس از آسیب مجدد و عدم اعتماد به نفس در زانوی آسیب‌دیده می‌تواند بر کینزیوفوبیا و کارآمدی زانو تأثیر بگذارد [۱۹]. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد افزایش کینزیوفوبیا با بدتر شدن عملکرد زانو، بازگشت به ورزش و پیامدهای ضعیف آسیب ACL مرتبط است [۲۱]. نگران‌کننده است ورزشکاران جوانی که کینزیوفوبیا را تجربه می‌کنند در معرض افزایش خطر ابتلا به آسیب دوم ACL هستند [۶]. آسیب دوم ACL یک نگرانی مهم است، زیرا با عملکرد طولانی مدت ضعیف زانو، کیفیت زندگی پایین، عدم تحرک بدنی و استئوآرتریت زانو در مقایسه با آسیب اولیه ACL همراه است [۲].

در تحقیقی پترنو و همکاران نشان دادند هنگام بازگشت به ورزش، بیمارانی که سطح بالاتری از ترس را گزارش می‌کنند با عدم تقارن بیشتر در قدرت و اجرای عملکردی همراه هستند و ممکن است با خطر بیشتری از آسیب دوم ACL و کاهش احتمال شرکت در سطوح بالاتر فعالیت مواجه شوند [۳۲].

در پیشینه پژوهش تحقیقی یافت نشد که تأثیر تمرینات نوروماسکولار بر کینزیوفوبیا در افراد دارای بازسازی ACL بررسی کرده باشد. تجزیه و تحلیل ما نشان داد افزایش عملکرد زانو از طریق بهبود متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی و کنترل وضعیتی ممکن است نقش مهمی در کاهش کینزیوفوبیا ایفا کند. همچنین به نظر می‌رسد تمرینات نوروماسکولار از طریق بهبود عملکرد عضلات، تقویت کنترل حرکتی، و افزایش اعتماد به نفس در انجام حرکات مختلف، می‌تواند به کاهش کینزیوفوبیا کمک کنند. این تمرینات معمولاً شامل فعالیت‌هایی هستند که هماهنگی، تعادل، و کنترل عضلات را تقویت می‌کنند و موجب کاهش اضطراب و ترس از آسیب دیدگی مجدد می‌شوند. با اجرای منظم تمرینات نوروماسکولار، فرد به مرور زمان به حرکات خود اعتماد بیشتری پیدا می‌کند و از توانایی‌های فیزیکی خود اطمینان بیشتری کسب می‌کند. این تمرینات به بهبود حس عمقی^{۱۳} نیز کمک می‌کنند که موجب می‌شود فرد با آگاهی بیشتر از وضعیت بدن خود در حین حرکت، کینزیوفوبیا را کاهش دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد تمرینات نوروماسکولار باعث افزایش زاویه فلکشن زانو و کاهش زوایای اداکشن و چرخش داخلی زانو در افراد دارای بازسازی ACL می‌شود. کاهش خم شدن مفصل زانو و افزایش اداکشن و چرخش داخلی زانو در مجموع ممکن است خطر آسیب ACL را افزایش دهد [۳۳].

جنونگ و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان تمرینات توان بخشی می‌تواند عوامل خطر عصبی-عضلاتی و بیومکانیکی را برای

13. Proprioception

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه توسط کمیته اخلاق پژوهشگاه علوم ورزشی با شماره مرجع (IR.SSRI.REC.1400.065) تأیید شده است. همچنین، تمام اصول اخلاقی در این مقاله رعایت شده است. هدف از تحقیق و مراحل اجرای آن به شرکت کنندگان اطلاع داده شد. همچنین به آن‌ها در مورد محرمانه بودن اطلاعاتشان اطمینان داده شد و هر زمان که مایل بودند می‌توانستند از مطالعه خارج شوند و در صورت تمایل، نتایج تحقیق در دسترس آن‌ها قرار می‌گرفت.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری حسین تاجدینی کاکاوندی رشته بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی است و هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان تأمین کننده مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان

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

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همه آزمودنی‌ها و کارکنان آزمایشگاه آنالیز حرکت برای همکاری در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنند.

چهار سران را نشان دادند. به‌علاوه بیماران کاهش معناداری در درد و علائم و عملکرد بالای زانو گزارش کردند [۳۷]. به نظر می‌رسد تمرینات توان‌بخشی بعد از بازسازی ACL به تسهیل سازگاری‌های مثبت در عملکرد عصبی و نتایج گزارش شده بیمار کمک می‌کند. تمرینات توان‌بخشی به تسهیل سازگاری‌های مثبت در فعال‌سازی مغز، تحریک‌پذیری رفلکس اسپینال در مدت‌زمان ریکاوری کمک می‌کند که در آن نقص‌های عصبی قابل‌توجهی قبلاً مشاهده شده‌اند. در نتیجه تمرینات نوروماسکولار با تسهیل این موارد باعث بهبود عملکرد زانو و کاهش گشتاورهای زانو می‌شود.

ورزشکارانی که برنامه تمرینات نوروماسکولار ما را تکمیل کردند، کاهش نیروی فرود (نیروی عمودی عکس‌العمل زمین) را نشان دادند. مطالعات قبلی که اثرات برنامه‌های مشابه شامل تمرینات قدرتی، تمرینات پلايومتریک و تمرینات مجدد حرکتی را بررسی کرده‌اند نیز کاهش قابل‌توجهی در نیروهای فرود مشاهده کرده‌اند [۳۸، ۳۹].

واشباک و همکاران نشان دادند تمرینات مقاومتی-عملکردی، تأثیر معنی‌داری بر نیروی عکس‌العمل زمین در افراد دارای بازسازی ACL دارد [۴۰]. می‌توان نتیجه گرفت که فرودهای نرم‌تر احتمالاً بارهای ACL را کاهش می‌دهد. مهم‌تر از همه، آزمودنی‌های ما این کاهش در نیروی عمودی عکس‌العمل زمین را همراه با افزایش در فلکشن زانو و کاهش گشتاورهای زانو نشان دادند. کاهش گشتاور زانو برای کاهش خطر آسیب ACL مهم است. گشتاورهای زانو، در مقایسه با عوامل دیگر، افزایش فعالیت عضلات چهارسر ران را منعکس می‌کنند [۴۱]. این افزایش فعالیت به افزایش نیروی برشی قدامی تیبیا و بارهای ACL در هنگام حرکت فرود منجر می‌شود. افزایش افزایش گشتاور ابداع‌کن زانو در افزایش خطر آسیب ACL نقش دارد [۴۲]. بنابراین، کاهش همه این بارهای خطرناک از طریق تمرینات نوروماسکولار می‌تواند بسیار مفید باشد.

نتیجه‌گیری

تمرینات نوروماسکولار بیومکانیک فرود و کینزوفوبیا را در بیماران پس از بازسازی ACL بهبود بخشید. به احتمال زیاد، نتایج مشاهده‌شده با تمرینات نوروماسکولار ناشی از سازگاری‌های عصبی-عضلانی مشخص‌تر و یا رشد مجدد عضلانی بیشتر ناشی از این روش تمرینی است. اجرای تمرینات عصبی-عضلانی همراه با ارزیابی‌های بیومکانیکی و روان‌شناختی، می‌تواند به بهبود زوایای زانو (کاهش والگوس دینامیک)، بهینه‌سازی گشتاورهای مفصلی، توزیع متعادل‌تر نیروی عکس‌العمل زمین و کاهش معنادار کینزوفوبیا منجر شود. این اقدامات در نهایت باعث کاهش ریسک آسیب مجدد، افزایش کیفیت بازگشت به فعالیت و ارتقای سلامت طولانی‌مدت بیماران پس از بازسازی ACL خواهد شد.

References

- [1] Risberg MA, Oiestad BE, Gunderson R, Aune AK, Engebretsen L, Culvenor A, et al. Changes in knee osteoarthritis, symptoms, and function after anterior cruciate ligament reconstruction: A 20-year prospective follow-up study. *The American Journal of Sports Medicine*. 2016; 44(5):1215-24. [DOI:10.1177/0363546515626] [PMID]
- [2] Lohmander LS, Östenberg A, Englund M, Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis and Rheumatism*. 2004; 50(10):3145-52. [DOI:10.1002/art.20589] [PMID]
- [3] Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*. 2016; 44(7):1861-76. [DOI:10.1177/0363546515621554] [PMID]
- [4] Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *The American Journal of Sports Medicine*. 2010; 38(10):1968-78. [DOI:10.1177/0363546510376053] [PMID]
- [5] Kaur M, Ribeiro DC, Theis JC, Webster KE, Sole G. Movement patterns of the knee during gait following ACL reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2016; 46(12):1869-95. [DOI:10.1007/s40279-016-0510-4] [PMID]
- [6] Hoshino Y, Fu FH, Irrgang JJ, Tashman S. Can joint contact dynamics be restored by anterior cruciate ligament reconstruction? *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2013; 471(9):2924-31. [DOI:10.1007/s11999-012-2761-1] [PMID]
- [7] Schmitt LC, Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Strength asymmetry and landing mechanics at return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2015; 47(7):1426-34. [DOI:10.1249/MSS.0000000000000560] [PMID]
- [8] Onate J, Herman D, Grooms D, Sutton Z, Wilkerson G. Neuroscience principles for ACL rehabilitation and reinjury risk reduction. In: Noyes F, Barber-Westin S, editors. *Return to sport after ACL reconstruction and other knee operations*. Cham: Springer; 2019. [DOI:10.1007/978-3-030-22361-8_16]
- [9] van Grinsven S, van Cingel RE, Holla CJ, van Loon CJ. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy : Official Journal of the ESSKA*. 2010; 18(8):1128-44. [DOI:10.1007/s00167-009-1027-2] [PMID]
- [10] Przybylak K, Sibiński M, Domżański M, Kwapisz A, Momaya AM, Zielińska M. Supervised physiotherapy leads to a better return to physical activity after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2019; 59(9):1551-57. [DOI:10.23736/S0022-4707.18.08692-9] [PMID]
- [11] Junker D, Stöggli T. The training effects of foam rolling on core strength endurance, balance, muscle performance and range of motion: A randomized controlled trial. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2019; 18(2):229-38. [PMID]
- [12] Everhart JS, Best TM, Flanigan DC. Psychological predictors of anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: A systematic review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy : Official Journal of the ESSKA*. 2015; 23(3):752-62. [DOI:10.1007/s00167-013-2699-1] [PMID]
- [13] Ardern CL. Anterior cruciate ligament reconstruction-not exactly a one-way ticket back to the preinjury level: A review of contextual factors affecting return to sport after surgery. *Sports Health*. 2015; 7(3):224-30. [DOI:10.1177/1941738115578131] [PMID]
- [14] Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: A systematic review and meta-analysis of the state of play. *British Journal of Sports Medicine*. 2011; 45(7):596-606. [DOI:10.1136/bjsm.2010.076364] [PMID]
- [15] Filbay SR, Crossley KM, Ackerman IN. Activity preferences, lifestyle modifications and re-injury fears influence longer-term quality of life in people with knee symptoms following anterior cruciate ligament reconstruction: A qualitative study. *Journal of Physiotherapy*. 2016; 62(2):103-10. [DOI:10.1016/j.jphys.2016.02.011] [PMID]
- [16] Sonesson S, Kvist J, Ardern C, Österberg A, Silbernagel KG. Psychological factors are important to return to pre-injury sport activity after anterior cruciate ligament reconstruction: Expect and motivate to satisfy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy : Official Journal of the ESSKA*. 2017; 25(5):1375-84. [DOI:10.1007/s00167-016-4294-8] [PMID]
- [17] Chmielewski TL, Jones D, Day T, Tillman SM, Lentz TA, George SZ. The association of pain and fear of movement/reinjury with function during anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2008; 38(12):746-53. [DOI:10.2519/jospt.2008.2887]
- [18] Ardern CL, Kvist J. What is the evidence to support a psychological component to rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction? *Current Orthopaedic Practice*. 2016; 27(3):263-8. [DOI:10.1097/BCO.0000000000000371]
- [19] Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey SN. *Research methods in biomechanics*. Champaign : Human Kinetics; 2014. [DOI:10.5040/9781492595809]
- [20] Paterno MV, Kiefer AW, Bonnette S, Riley MA, Schmitt LC, Ford KR, et al. Prospectively identified deficits in sagittal plane hip-ankle coordination in female athletes who sustain a second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Clinical Biomechanics*. 2015; 30(10):1094-101. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2015.08.019] [PMID]
- [21] Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Psychological responses matter in returning to preinjury level of sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *The American Journal of Sports Medicine*. 2013; 41(7):1549-58. [DOI:10.1177/0363546513489284]

- [22] Ramezani F, Saki F, Tahayori B. Neuromuscular training improves muscle co-activation and knee kinematics in female athletes with high risk of anterior cruciate ligament injury. *European Journal of Sport Science*. 2024; 24(1):56-65. [DOI:10.1002/ejsc.12046]
- [23] Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *The American Journal of Sports Medicine*. 2006; 34(3):490-8. [DOI:10.1177/0363546505282619] [PMID]
- [24] Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes decreased impact forces and increased hamstring torques. *The American Journal of Sports Medicine*. 1996; 24(6):765-73. [DOI:10.1177/036354659602400611] [PMID]
- [25] Sadoghi P, von Keudell A, Vavken P. Effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention training programs. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. 2012; 94(9):769-76. [DOI:10.2106/JBJS.K.00467] [PMID]
- [26] Nagelli CV, Wordeman SC, Di Stasi S, Hoffman J, Marulli T, Hewett TE. Neuromuscular Training Improves Biomechanical Deficits at the Knee in Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2021; 31(2):113-9. [DOI:10.1097/JSM.0000000000000723] [PMID]
- [27] Huang DD, Chen LH, Yu Z, Chen QJ, Lai JN, Li HH, et al. Effect of suspension training on neuromuscular function, postural control, and knee kinematics in anterior cruciate ligament reconstruction patients. *World Journal of Clinical Cases*. 2021; 9(10):2247-58. [DOI:10.12998/wjcc.v9.i10.2247] [PMID]
- [28] Rahmati N, Moghadam MA, Shairi MR, Paknejad M, Rahmati Z, Ghassami M, et al. [Psychometric properties of the Tampa Scale for Kinesiophobia amongst Iranian patients with chronic persistent pain (Persian)]. *Payesh (Health Monitor)*. 2014; 13(2):197-210. [Link]
- [29] Grooms D, Appelbaum G, Onate J. Neuroplasticity following anterior cruciate ligament injury: A framework for visual-motor training approaches in rehabilitation. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2015; 45(5):381-93. [DOI:10.2519/jospt.2015.5549] [PMID]
- [30] Culvenor AG, Cook JL, Collins NJ, Crossley KM. Is patellofemoral joint osteoarthritis an under-recognised outcome of anterior cruciate ligament reconstruction? A narrative literature review. *British Journal of Sports Medicine*. 2013; 47(2):66-70. [DOI:10.1136/bjsports-2012-091490] [PMID]
- [31] Paterno MV, Flynn K, Thomas S, Schmitt LC. Self-reported fear predicts functional performance and second ACL injury after ACL reconstruction and return to sport: A pilot study. *Sports Health*. 2018; 10(3):228-33. [DOI:10.1177/1941738117745806] [PMID]
- [32] Tran AA, Gatewood C, Harris AHS, Thompson JA, Dragoo JL. The effect of foot landing position on biomechanical risk factors associated with anterior cruciate ligament injury. *Journal of Experimental Orthopaedics*. 2016; 3(1):13. [DOI:10.1186/s40634-016-0049-1] [PMID]
- [33] Jeong J, Choi DH, Shin CS. Core strength training can alter neuromuscular and biomechanical risk factors for anterior cruciate ligament injury. *American Journal of Sports Medicine*. 2021; 49(1):183-92. [DOI:10.1177/0363546520972990] [PMID]
- [34] Nagelli C, Wordeman S, Di Stasi S, Hoffman J, Marulli T, Hewett TE. Biomechanical Deficits at the Hip in Athletes With ACL Reconstruction Are Ameliorated With Neuromuscular Training. *The American Journal of Sports Medicine*. 2018; 46(11):27729. [DOI:10.1177/0363546518787505] [PMID]
- [35] Hermassi S, Chelly MS, Tabka Z, Shephard RJ, Chamari K. Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing velocity, and sprint performance of elite male handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2011; 25(9):2424-33. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3182030edb] [PMID]
- [36] Lepley LK, Grooms DR, Burland JP, Davi SM, Mosher JL, Cormier ML, et al. Eccentric cross-exercise after anterior cruciate ligament reconstruction: Novel case series to enhance neuroplasticity. *Physical Therapy in Sport : Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*. 2018; 34:55-65. [DOI:10.1016/j.ptsp.2018.08.010] [PMID]
- [37] Hamoongard M, Hadadnezhad M, Abbasi A. Effect of combining eight weeks of neuromuscular training with dual cognitive tasks on landing mechanics in futsal players with knee ligament dominance defect: A randomized controlled trial. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*. 2022; 14(1):196. [DOI:10.1186/s13102-022-00593-0] [PMID]
- [38] Bakker R, Tomescu S, Brennenman E, Hangalur G, Laing A, Chandrashekar N. Effect of sagittal plane mechanics on ACL strain during jump landing. *Journal of Orthopaedic Research*. 2016; 34(9):1636-44. [DOI:10.1002/jor.23164] [PMID]
- [39] Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE. The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2006; 20(2):345-53. [DOI:10.1519/R-17955.1] [PMID]
- [40] Washabaugh EP, Brown SR, Palmieri-Smith RM, Krishnan C. Functional resistance training differentially alters gait kinetics after anterior cruciate ligament reconstruction: A pilot study. *Sports Health*. 2023; 15(3):372-81. [DOI:10.1177/19417381221104042] [PMID]
- [41] Krishnan C, Allen EJ, Williams GN. Effect of knee position on quadriceps muscle force steadiness and activation strategies. *Muscle & Nerve*. 2011; 43(4):563-73. [DOI:10.1002/mus.21981] [PMID]
- [42] Bates NA, Nesbitt RJ, Shearn JT, Myer GD, Hewett TE. Knee abduction affects greater magnitude of change in ACL and MCL strains than matched internal tibial rotation in vitro. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2017; 475(10):2385-96. [DOI:10.1007/s11999-017-5367-9] [PMID]

This Page Intentionally Left Blank