Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

May & June 2025. Volume 14. Num 2

Research Paper

The Effect of Motor Learning Strategies on Landing Biomechanics in Athletes With Dynamic Knee Valgus

*Hadi Abbaszadeh Ghanati[1], Narmin Ghani Zadeh Hesar[2]

1. Department of Biomechanics and Sport Injury, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Department of Exercise Physiology and Corrective Exercise, Faculty of Sport Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Abbaszadeh Ghanati H, Ghani Zadeh Hesar N. [The Effect of Motor Learning Strategies on Landing Biomechanics in Athletes With Dynamic Knee Valgus (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2025; 14(2):230-247. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3310

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3310

ABSTRACT

Background and Aims According to studies, motor learning instructions and strategies have been effective in anterior cruciate ligament (ACL) injury prevention programs. Therefore, the current study aimed to study the effect of motor learning strategies on landing biomechanics in athletes with dynamic knee valgus.

Methods This study was a quasi-experimental and applied research. 48 male athletes aged 20-25, participating in handball, volleyball, and basketball, with a dynamic knee valgus angle greater than 10 degrees, were randomly assigned to four groups(n=12): Differential learning, self-controlled feedback, external focus of attention, and control. The training program lasted eight weeks, with three sessions per week for the first six weeks and two sessions per week for the last two weeks. Each session was 45 minutes long. Using motion analysis and EMG systems, kinematics and kinetics parameters during landing were measured. To analyze the data, 4×2 repeated measures ANOVA was directed, followed by post hoc comparison (Bonferroni) at the significant level of P≤0.05.

Results The present study showed an increase in peak hip and knee flexion angles, a decrease in peak knee abduction angle, and an increase in gluteus medius feedforward activity from the pre-test to post-test in differential learning and external focus of attention groups. Also, the differential learning group observed an increase from the pre-test to post-test values of peak dorsiflexion angle and gluteus maximus feedforward activity. In between-groups comparison, there was a significant difference between the differential, control, and self-control feedback groups in peak knee flexion and abduction angles. Also, the differential learning group showed a significant difference in gluteus medius feedforward activity compared to the control group.

Conclusion Differential learning and external focus of attention methods positively reduced the kinetic and kinematic risk factors of ACL injury. However, the results of the present study consider the differential learning method and the role of variability in training to be effective in preventing ACL injury and suggest the differential learning method for the greater benefit of athletes.

Keywords Anterior cruciate ligament injury, Motor learning strategy, Variability, Biomechanics

Received: 14 Dec 2024
Accepted: 18 Jan 2025
Available Online: 22 May 2025

Corresponding Author:
Hadi Abbaszadeh Ghanati, PhD.
Address: Department of Biomechanics and Sport Injury, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran.
Tel: +98 (919) 0984964
E-Mail: h.abbaszade3343@gmail.com

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.

Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

Extended Abstract

Introduction

Anterior cruciate ligament (ACL) injuries represent one of the most prevalent and disabling afflictions among athletes, with a significant proportion of approximately 70% occurring without direct contact with another player or object [1]. ACL injuries are prevalent in various competitive and recreational activities, particularly during movements involving changes in speed, direction, jumping, and landing. The landing phase of a jump is particularly critical in task analysis, as 31% of injuries occur during this phase. These findings highlight the importance of biomechanical factors, specifically landing mechanics, in ACL injury prevention.

Current rehabilitation programs often fall short of effectively addressing faulty movement patterns and motor control, leading to the development of numerous preventive exercise programs to minimize ACL injuries and their consequences. One such approach focuses on motor learning instructions and strategies. Cognitive theory, a prominent perspective within the field of motor learning, suggests that individuals acquire motor skills through a process of receiving feedback and repetition until the movement becomes automatic. Self-control feedback, where individuals request additional feedback as needed and customize their practice, is one such method. Another cognitive strategy is the external focus of attention, where coaches guide individuals to focus on the effects of their movements on the environment (e.g. imagining sitting on a chair during landing).

One such novel training method rooted in dynamic systems theory is differential learning, which prioritizes movement variability over repetition. Moreover, repetitive movement execution may subject the same tissues to maximal loads, whereas introducing movement variability modifies these loads in each repetition, reducing injury risk. Given these findings, differential learning may be a more effective approach for ACL injury prevention compared to traditional methods. Consequently, the differential learning method is the most suitable approach. Based on those mentioned above, the current study aims to compare the effects of differential learning, self-controlled feedback, and external focus of attention on landing biomechanics in athletes with dynamic knee valgus.

Methods

Given the experimental nature of the study, with the implementation of an intervention, a control group, and a purposeful selection of participants, the research design was quasi-experimental. The study population consisted of athletes aged 20 to 25 years with a knee valgus angle greater than 10 degrees. A purposeful sampling method was employed to estimate the sample size based on the inclusion criteria and previous research [25], resulting in a target sample size of 40 individuals. Considering a 20% dropout rate, the estimated sample size was increased to 48.

Three-dimensional kinematic data were collected using an 8-camera Vicon Motion System at a sampling rate of 120 Hz. Electromyography data were acquired using a 32-channel Noraxon TeleMyo DTS system with a sampling rate of 2000 Hz to record muscle activity. The single-leg vertical drop jump task was employed to assess both kinematic and muscle activity.

The external focus of the attention group performed 8 exercises: Bilateral squat, single-leg squat, walking lunge, bilateral drop jump, single-leg stance on an unstable surface, crossover step, single-leg hop, and countermovement jump. During training, verbal feedback using external focus strategies was provided to influence the participants' movements. In the differential training protocol, athletes engaged in non-repetitive tasks. The coach designed a set of trials for each skill before each session. For the differential group, tasks were performed without repetition, encouraging variability in movement. For instance, participants were instructed to perform the bilateral drop jump with various modifications and in changing environments. Self-controlled feedback allowed participants to view their performance and receive feedback on demand. Participants could choose to view their best or latest performance. Additionally, each exercise had multiple variations from which participants could select and perform, requesting feedback as needed.

In the data processing procedure, we used Excel 2019 and MATLAB software, version 8.4, 2014b. Statistical indicators were examined at a significant level of 0.05 using SPSS software, version 22.

Results

A significant group×time interaction was observed for peak ankle dorsiflexion angle ($F_{(3, 38)}$=11.344, P=0.001), peak knee flexion angle ($F_{(3, 38)}$=11.431, P=0.001), peak hip flexion angle ($F_{(3, 38)}$=3.971, P=0.015), and peak knee abduction angle ($F_{(3, 38)}$=25.510, P=0.001). Furthermore,

a significant group×time interaction was found for the feedforward activity of the gluteus medius muscle ($F_{(3, 38)}$=3.814, P=0.017) but not for the gluteus maximus muscle. Post-hoc Bonferroni tests revealed significant improvements in maximum knee flexion (ES=1.19, P=0.001; ES=0.83, P=0.001), hip flexion (ES=0.99, P=0.001; ES=0.70, P=0.003), and knee abduction angles (ES=1.81, P=0.001; ES=1.19, P=0.001) for both the differential learning and external focus of attention groups. The differential learning group also significantly improved the maximum ankle dorsiflexion angle (ES=1.01, P=0.001). However, there was no significant between-group difference in the feedforward activity of the gluteus maximus muscle. A significant between-group difference in feedforward activity of the gluteus medius muscle was found between the differential learning and control groups (P=0.035). Post-hoc Bonferroni tests indicated that the differential learning group significantly improved the feedforward activity of the gluteus maximus muscle (ES=0.50, P=0.002). Both the differential learning and external focus of attention groups exhibited significant improvements in feedforward activity of the gluteus Medius muscle (ES=1.46, P=0.001; ES=0.81, P=0.001).

Conclusion

Differential learning and external focus of attention methods positively reduced the kinetic and kinematic risk factors of ACL injury. However, the results of the present study consider the differential learning method and the role of variability in training to be effective in preventing ACL injury and suggest the differential learning method for the greater benefit of athletes. Also, tailoring training environments based on the manipulations created in the exercise through variability and variety of movements, instead of using direct and prescriptive instructions, is advised to reduce the risk of ACL injury.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The current study was approved by the Research Ethics Committee of Iran Institute of Sport Science (Code: IR.SSRI.REC.1400.1177). Written informed consent was obtained from all participants.

Funding

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

Authors' contributions

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

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all the athletes who participated in this study for their cooperation.

مقاله پژوهشی

تأثیر استراتژی‌های یادگیری حرکتی بر بیومکانیک فرود ورزشکاران دارای والگوس داینامیک زانو

*هادی عباس‌زاده قناتی[۱]، نرمین غنی‌زاده حصار[۲]

۱. گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.
۲. گروه فیزیولوژی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Abbaszadeh Ghanati H, Ghani Zadeh Hesar N. [The Effect of Motor Learning Strategies on Landing Biomechanics in Athletes With Dynamic Knee Valgus (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2025; 14(2):230-247. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3310

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3310

چکیده

مقدمه و اهداف طبق مطالعات دستورالعمل‌ها و استراتژی‌های یادگیری حرکتی در برنامه‌های پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی مؤثر بوده‌اند. بنابراین هدف از مطالعه حاضر تأثیر استراتژی‌های یادگیری حرکتی بر بیومکانیک فرود ورزشکاران با والگوس داینامیک زانو بود.

مواد و روش‌ها مطالعه حاضر از نوع مطالعات نیمه‌تجربی و کاربردی بود. ۴۸ مرد ورزشکار از سه رشته ورزشی هندبال، والیبال و بسکتبال با دامنه سنی ۲۰ تا ۲۵ سال و با والگوس داینامیک زانو بیشتر از ۱۰ درجه برای انجام این مطالعه انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در ۴ گروه ۱۲ نفری تمرینات یادگیری افتراقی، بازخورد خودکنترلی، تمرکز توجه بیرونی و کنترل تقسیم شدند. تمرینات به مدت ۸ هفته، ۶ هفته اول ۳ جلسه در هفته و ۲ هفته آخر ۲ جلسه در هفته و هر جلسه ۴۵ دقیقه بود. با استفاده از سیستم آنالیز حرکت و دستگاه EMG به ترتیب شاخص‌های کینماتیکی و کینتیکی در طول فرود اندازه‌گیری شد. جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون آماری آنووای ۴×۲ با اندازه‌گیری مکرر و بونفرونی در سطح معناداری P≤۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها نتایج مطالعه حاضر حاکی از افزایش مقادیر مرحله پیش‌آزمون نسبت‌به پس‌آزمون در حداکثر زوایای فلکشن زانو و ران، کاهش حداکثر زاویه ابداکشن زانو و افزایش فعالیت فیدفورواردی گلوتئوس مدیوس در هر دو گروه یادگیری افتراقی و تمرکز توجه بیرونی بود. همچنین افزایش مقادیر مرحله پیش‌آزمون به پس‌آزمون حداکثر زاویه دورسی فلکشن مچ پا و فعالیت فیدفورواردی گلوتئوس ماگزیموس در گروه یادگیری افتراقی بود. در مقایسه بین گروه‌ها، نتایج در گروه یادگیری افتراقی نسبت به گروه کنترل و گروه بازخورد خودکنترلی، در حداکثر زاویه فلکشن و ابداکشن زانو تفاوت معناداری داشت. همچنین نتایج در گروه یادگیری افتراقی نسبت به گروه کنترل در فعالیت فیدفورواردی گلوتئوس مدیوس تفاوت معناداری نشان داد.

نتیجه‌گیری هر دو روش یادگیری افتراقی و تمرکز توجه بیرونی تأثیر مثبتی را در کاهش عوامل خطر کینتیکی و کینماتیکی آسیب لیگامان صلیبی قدامی نشان دادند، ولی نتایج مطالعه حاضر روش یادگیری افتراقی و نقش تغییرپذیری در تمرین را در پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی مؤثر می‌داند و برای بهره‌مندی بیشتر ورزشکاران، روش یادگیری افتراقی را پیشنهاد می‌کند.

کلیدواژه‌ها آسیب لیگامان صلیبی قدامی، استراتژی یادگیری حرکتی، تغییرپذیری، بیومکانیک

تاریخ دریافت: ۲۴ آذر ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۲۹ دی ۱۴۰۳
تاریخ انتشار: ۰۱ خرداد ۱۴۰۴

* **نویسنده مسئول:**
دکتر هادی عباس‌زاده قناتی
نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی تهران، دانشکده علوم ورزشی، گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی.
تلفن: ۰۹۸۴۹۶۴ (۹۱۹) ۹۸+
رایانامه: h.abbaszade3343@gmail.com

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

آسیب لیگامان صلیبی قدامی[1]، یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین آسیب‌های ورزشی است که مکانیسم وقوع آن ۷۰ درصد به‌صورت غیربرخوردی اتفاق می‌افتد [۱]. طبق آمار سالیانه بین ۸۰ هزار تا ۲۵۰ هزار آسیب لیگامان صلیبی قدامی به‌تنهایی در ایالات متحده آمریکا رخ می‌دهد [۲]. آسیب لیگامان صلیبی قدامی در فعالیت‌های مختلف رقابتی و تفریحی و در طول حرکاتی که شامل افزایش و کاهش شتاب، تغییر جهت، پرش و فرود[2] است شایع است و در میان جمعیت جوان فعال شیوع بیشتری دارد [۳]. افرادی که از آسیب غیربرخوردی لیگامان صلیبی قدامی رنج می‌برند معمولاً دارای ویژگی‌های بیومکانیکی مشترک، ازجمله فرود با مقادیر بالای نیروی عکس‌العمل زمین[3] هستند [۴]. در آنالیز تکلیف پرش، فاز فرود از اهمیت خاصی برخوردار است؛ به‌طوری‌که ۳۱ درصد از صدمات به هنگام فرود پس از یک پرش رخ می‌دهد [۵]، بنابراین این لحظه از تکلیف شایسته بررسی کامل است. در طول فرود، کینماتیک صحیح ران، زانو و مچ پا و گشتاور عضلات آن‌ها در جذب نیروهای عکس‌العمل زمین مؤثر هستند. زمانی که این اجزا به‌صورت سینرژی در جذب نیروی عکس‌العمل زمین عمل نکنند، یک وضعیت بدنی صاف با حداقل فلکشن مرتبط با افزایش در نیروهای عکس‌العمل زمین شکل می‌گیردکه نهایتا منجر به آسیب لیگامان صلیبی قدامی می‌شود [۶].

یکی از عوامل اصلی تغییر در نحوه حرکت اندام تحتانی، تغییرات در سیستم کنترل عصبی‌عضلانی است [۷]. این سیستم از ۲ مکانیسم کنترل فیدبک[4] و فیدفوروارد[5] استفاده می‌کند. در آسیب‌های مفصلی و لیگامانی، مکانیسم فیدفوروارد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، زیرا در حرکات سریع ورزشی، زمان برای واکنش بسیار کوتاه است و سیستم فیدبک فرصت کافی برای جلوگیری از آسیب ندارد. به‌عبارت‌دیگر، بدن برای محافظت از مفاصل در برابر آسیب، قبل از وقوع حرکت، عضلات را آماده می‌کند [۸]. کاهش در فعالیت فیدفورواردی عضله قبل از تماس با زمین در طول فعالیت‌های ورزشی، از عوامل مرتبط با افزایش ریسک آسیب لیگامان صلیبی قدامی است. برای اینکه فعالیت فیدفورواردی عضله مؤثر باشد؛ این عضلات باید به‌سرعت و به اندازه کافی فعال شوند. نظر به اینکه دوره عکس‌العمل رفلکس سنسوری بازخورد بیشتر از ۷۵ تا ۱۰۰ میلی‌ثانیه است [۹]. فعالیت فیدفورواردی عضله به این جهت مهم تلقی می‌شود که آسیب لیگامان صلیبی قدامی ۴۰ میلی‌ثانیه بعد از تماس پا با زمین بعد از پرش روی می‌دهد. به‌طوری‌که نیروی فشاری که به‌صورت محوری بر زانو در طول فرود وارد می‌شود ۶ برابر وزن بدن شخص است. البته برخی از نویسندگان دامنه بین ۳۰ الی ۱۰۰ میلی‌ثانیه تماس اولیه پا با سطح زمین به هنگام فرود را نیز مطرح کرده‌اند [۱۰].

برنامه‌های توان‌بخشی حاضر به‌طور مؤثری الگوهای حرکتی اشتباه و کنترل حرکتی را هدف قرار نمی‌دهند [۱۱]. بنابراین برای به حداقل رساندن آسیب لیگامان صلیبی قدامی و عواقب آن امروزه تمرینات پیشگیرانه بسیاری را پیشنهاد داده‌اند که یکی از آن‌ها دستورالعمل‌ها و استراتژی‌های یادگیری حرکتی است. دیدگاه‌های متعددی در حوزه یادگیری حرکتی مطرح است. یکی از شناخته‌شده‌ترین این دیدگاه‌ها، دیدگاه شناختی است که در آن فرد با دریافت بازخورد و تکرار الگوی حرکتی مطرح‌شده به مرحله خودکاری می‌رسد [۱۲].

بازخورد خودکنترلی یکی از این روش‌ها است که در آن فرد براساس نیازش تقاضای ارائه بازخورد افزوده کرده و تمرینات موردنظر به ترتیبی که خود انتخاب می‌کند اجرا می‌شود. دومین روش از دیدگاه شناختی مد نظر در این تحقیق تمرکز توجه بیرونی است. در این استراتژی مربیان سعی در جهت بخشیدن به کانون توجه فرد دارند، به‌طوری‌که دستورالعمل‌های توجه بیرونی توجه فرد را به اثراتی که حرکات بر محیط دارند معطوف می‌کنند (به عنوان مثال تصور نشستن بر روی صندلی به هنگام فرود). رویکرد جدید در پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی می‌تواند با آگاهی از دانش یادگیری حرکتی سازگار باشد [۱۳].

در سال‌های اخیر نیز با استفاده از رویکردهای آموزشی یادگیری حرکتی مطالعاتی برای پیشگیری ازآسیب لیگامان صلیبی قدامی صورت گرفته است. مثلاً مطالعات استفاده از دستورالعمل‌های صریح و بازخورد در موقعیت‌های فرود را در کاهش آسیب‌دیدگی مؤثر می‌دانند. همچنین نشان داده شده است مهارت‌های حرکتی را می‌توان باتوجه‌به تمرکز توجه بیرونی آموخت که برای پیشگیری از آسیب کمک‌کننده باشد [۱۴]. در این راستا بنجامین و همکاران [۱۵] و عباس‌زاده قناتی و همکاران [۱۶] نشان دادند استفاده از استراتژی‌های آموزشی همراه با تمرکز توجه بیرونی در برنامه‌های نروماسکولار نتایج مثبتی را داشته است. بااین‌حال هنوز به‌طور کامل مشخص نیست که این استراتژی‌ها بهترین شیوه برای پیشگیری از آسیب‌دیدگی است یا نه [۱۳]، چراکه در یادگیری حرکتی روش‌های آموزش جدیدتری نیز مطرح است که در ابعاد مختلف بر عملکرد حرکتی مفید هستند و ادعا می‌شود برای پیشگیری از آسیب هم مفید باشد [۱۷].

از رویکردهای آموزش جدیدی که در چند دهه اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته، نظریه سیستم‌های پویاست که یادگیری را حاصل تعامل قیود فرد، محیط و تکلیف می‌داند [۱۳].

1. Anterior Cruciate Ligament (ACL)
2. Jump-Landing
3. Ground Reaction Force (GRF)
4. Feedback
5. Feedforward

این رویکرد تغییرپذیری در تمرین را مفید دانسته و بیان می‌کند در محیط واقعی هیچ حرکتی مشابه هم نیست و هر حرکت متناسب با تعامل قیود، پاسخ منحصربه‌فرد خود را خواهد داشت. یکی از این روش‌های آموزش نوین، روش آموزش افتراقی است که بر پایه سیستم‌های پویا معرفی شده است. در روش افتراقی تنوع حرکات را به‌عنوان اساس یادگیری به‌جای تکرار حرکات مدنظر قرار می‌دهند؛ به‌طوری‌که تمرینات در این روش با اضافه کردن اغتشاشات و تغییرات به الگوی حرکتی اصلی به‌منظور اطمینان از عدم تکرار دقیق حرکت و عدم تصحیح در طول فرایند اکتساب انجام می‌شود [۱۸]. تغییرپذیری برای اکتشاف مهم است و برای تقویت یادگیری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱۹].

طبق مطالعه‌ای تمریناتی که شامل تغییرپذیری در موقعیت کینماتیک یک اندام هستند در مقایسه با تمرین در یک وضعیت ثابت با تغییرپذیری اندک به نتایج مطلوبی می‌انجامد [۲۰]. اگر اجرای حرکات به‌صورت تکراری باشد، به احتمال زیاد هر بار بافت‌های مشابه و یکسان تحت لودهای بیشینه قرار می‌گیرند. اضافه کردن تغییرپذیری حرکت لودهای وارده بر بافت را در هر تکراری اصلاح و تغییر می‌دهد و از خطر آسیب می‌کاهد [۲۱]. با وجود این مطالب می‌توان ادعا کرد روش آموزش افتراقی برای پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی احتمالاً بهتر از روش سنتی باشد. همچنین مطالعات نشان داده‌اند هر چقدر آموزش با اکتشاف بیشتری همراه باشد انعطاف‌پذیری در عمل بیشتر خواهد بود و این انعطاف می‌تواند در پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی کمک‌کننده باشد [۲۲].

ازاین‌رو به نظر می‌رسد روش افتراقی احتمالاً روش آموزش بهتری در این زمینه باشد. بنابراین باتوجه‌به مطالب مذکور هدف از مطالعه حاضر مقایسه تأثیر استراتژی یادگیری افتراقی، بازخورد خودکنترلی و تمرکز توجه بیرونی بر ریسک‌فاکتورهای کینتیکی و کینماتیکی آسیب لیگامان صلیبی قدامی در ورزشکاران بود.

مواد و روش‌ها

شرکت‌کنندگان

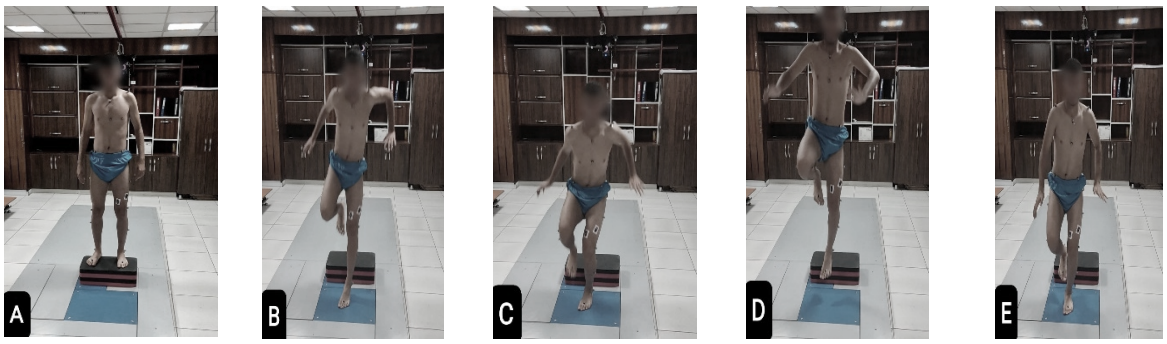
باتوجه‌به اعمال مداخله، وجود گروه کنترل و انتخاب هدفمند آزمودنی‌ها به علت ماهیت تحقیق، روش تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی بود. جامعه آماری مطالعه حاضر شامل ورزشکاران ۲۰ تا ۲۵ ساله با والگوس زانوی بالای ۱۰ درجه بود. به همین منظور از نرم‌افزار کینوویا با سطح قابل‌اطمینان خوب تا عالی (۰/۸۲تا ۰/۹۹) در اندازه‌گیری زاویه والگوس زانوی دوبعدی [۲۳] و جهت غربالگری والگوس دینامیک زانو طی فرود از سکوی ۳۲ سانتی‌متری استفاده شد. برای برآورد حجم نمونه مطالعه، براساس معیارهای ورود به تحقیق به‌صورت هدفمند و براساس تحقیق قبلی [۲۴] ۴۰ نفر بود و با در نظر گرفتن ۲۰ درصد ریزش ۴۸ نفر برآورد شد. ۴۸ ورزشکار مرد از ۳ رشته ورزشی هندبال، بسکتبال و والیبال به‌صورت تصادفی با استفاده از وبسایت رندومایزر در یکی از ۴ گروه کنترل (n=۱۲)، بازخورد خودکنترلی (n=۱۲)، بازخورد با تمرکز توجه بیرونی (n=۱۲) و یادگیری افتراقی (n=۱۲) قرار گرفتند. تخصیص پنهان با استفاده از جدول اعداد تصادفی بلوکی تولیدشده توسط کامپیوتر انجام شد (۱= گروه کنترل، ۲= گروه بازخورد خودکنترلی، ۳= گروه بازخورد تمرکز توجه بیرونی، ۴= گروه یادگیری افتراقی). توالی‌های عددی تصادفی در پاکت‌های مات مهروموم‌شده در یک جعبه قرار گرفتند.

معیارهای‌های ورود به تحقیق: افراد ورزشکار رشته‌های پرشی (هندبال، بسکتبال و والیبال)، والگوس دینامیک زانو [۲۵] (یک الگوی حرکتی در اندام تحتانی است که به‌طور بالقوه ترکیبی از حرکات اداکشن و چرخش داخلی ران، ابداکشن زانو، جابه‌جایی قدامی تیبیا، چرخش خارجی تیبیا و اورژن مچ پا است)، عدم وجود آسیب در تنه و اندام تحتانی طی ۶ ماه گذشته، گروه سنی ۲۰ تا ۲۵، شاخص توده بدنی نرمال در محدوده ۱۸/۵ تا ۲۵. از معیارهای خروج از تحقیق: وجود ناهنجاری‌های اسکلتی‌عضلانی، سابقه شکستگی یا دررفتگی ران، زانو و مچ پا، سابقه کمردرد در ۱ سال گذشته، آسیب‌دیدگی وستیبولار و لیگامانی در اندام تحتانی، شرکت در برنامه تمرینی یادگیری حرکتی در ۱ سال گذشته [۱۶].

تکلیف پرش فرود عمودی تک پا[6]

افراد، پرش بعد از یک فرود عمودی را با پای غالب بر روی صفحه نیرو انجام دادند. برای تعیین پای غالب افراد از آن‌ها سؤال شد که با کدام پا ترجیح می‌دهند بعد از یک پرش فرود آیند. این تکلیف شامل فرود از جعبه ۱۰ سانتی‌متری، فرود بر روی پای غالب، بلافاصله اجرای پرش عمودی حداکثری و دوباره فرود بود (تصویر شماره ۱) [۲۶]. اگر افراد پرش از روی جعبه را به‌جای فرود از آن انجام میدادند، پای مقابل به زمین برخورد می‌کرد، فرد به‌طور واضح تعادل خود را از دست می‌داد یا در طول تست می‌افتاد تست کنار گذاشته شده و تکرار می‌شد. در ضمن ۱ دقیقه استراحت بین هر تکرار برای جلوگیری از خستگی در نظر گرفته شده بود. ضمناً پیش‌آزمون اندازه‌گیری‌های کینماتیکی و الکترومایوگرافی در طی این تکلیف انجام شد. سپس بعد از اجرای ۸ هفته تمرینات (برای هر ۴ گروه موردمطالعه)، پس‌آزمون نیز در شرایط پیش‌آزمون تکرار شد.

6. Single-Leg Vertical Drop Jump



تصویر ۱. نحوه انجام تکلیف پرش فرود عمودی تک‌پا

طب توانبخشی

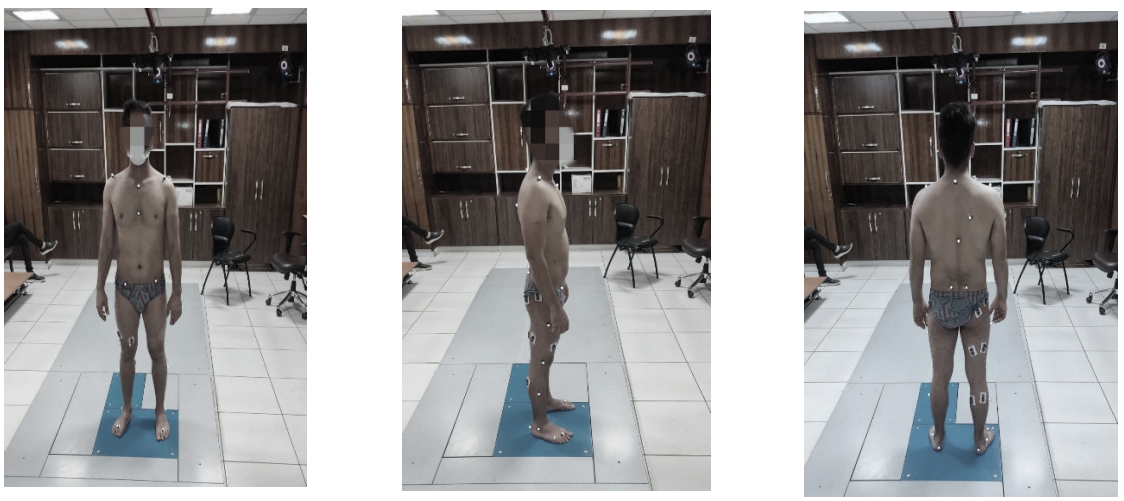
ارزیابی کینماتیکی

داده‌های کینماتیک سه‌بعدی با استفاده از ۸ دوربین سیستم آنالیز حرکتی[7] با فرکانس نمونه‌برداری ۱۲۰ هرتز جمع‌آوری شد. بعد از تست کالیبراسیون استاتیک، نشانگرها طبق مطالعات قبلی بر روی پا، مچ پا، ساق، زانو و ران هر دو پا، لگن و تنه نصب شدند (تصویر شماره ۲) [۲۷]. برای کاهش نویز اطلاعات داده‌های کینماتیکی، از فیلتر دیجیتال پایین‌گذر باترورث[8] درجه ۴ با فرکانس برش ۱۲ هرتز استفاده شد. میانگین هر سه کوشش موفق به‌عنوان نمره افراد ثبت شد. از نرم‌افزار مهندسی متلب (نسخه ۸/۴، ۲۰۱۴b) برای تحلیل داده‌های حداکثر زوایای دورسی فلکشن مچ پا، فلکشن زانو و ران در صفحه ساجیتال و حداکثر زاویه ابداکشن زانو در صفحه فرونتال استفاده شد.

دیتای الکترومایوگرافی

برای ثبت فعالیت عضلات از دستگاه الکترومیوگرافی ۳۲ کاناله شرکت نوراکسون[9] آمریکا با دامنه فرکانس ۲۰۰۰ هرتز استفاده شد. از الکترودهای دوقطبی (SKINTACT, ECG، ساخت کشور اتریش) با فاصله بین الکترودی ۲ سانتی‌متر استفاده شد. قبل از نصب الکترودهای سطحی دوقطبی روی سطح پوست پای برترِ افراد، موهای زائد قسمتی که قرار بود الکترودها نصب شوند کاملاً تراشیده و سپس پوست با الکل و پنبه آماده الکترودگذاری شد. الکترودها براساس مطالعات قبلی و پروتکل اروپایی SENIAM نصب شدند.

7. Vicon Motion System
8. Butter-worth
9. TeleMyo DTS, Noraxon Inc., Scottsdale



تصویر ۲. نحوه اتصال مارکرها بر روی نشانگرهای آناتومیکی در ۳ نمای قدامی، جانبی و خلفی

طب توانبخشی

جدول ۱. ستبندی تمرینات تمرکز توجه بیرونی

نوع تمرین	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ۴	هفته ۵	هفته ۶	هفته ۷	هفته ۸
اسکات دوپا	۳×۶	۳×۶	—	—	—	—	—	—
لانج	۳×۶	۳×۶	—	—	—	—	—	—
اسکات تک‌پا	۳×۶	۳×۶	۴×۸	۴×۸	۴×۱۲	—	—	—
پرش فرود دو پا	—	—	۳×۶	۴×۱۰	۴×۱۲	—	—	—
ایستادن بر روی یک‌پا بر روی سطح ناپایدار	—	—	۳×s۳۰	۳×s۳۰	۴×s۳۰	۴×s۳۰	۳×s۳۰	۳×s۳۰
پرش کانترموومنت تک‌ا	—	—	۳×۶	۳×۸	۴×۸	۴×۱۰	۳×۸	۳×۶
مانور پابکس برشی	—	—	—	—	—	۴×۸	۵×۱۰	۳×۸
پرش طول تک‌پا	—	—	—	—	—	۴×۸	۵×۸	۳×۸

تعداد ست × تکرار یا زمان (s) برای هر تمرین در طول ۸ هفته تمرینات، استراحت ۳۰ تا ۶۰ ثانیه بین هر ست توسط ورزشکاران

طب‌توانبخشی

برای ثبت حداکثر انقباض ایزومتریک گلوتئوس ماگزیموس فرد به شکم خوابیده ران در وضعیت صفر درجه و زانو ۹۰ درجه خم شد. سپس فرد با حداکثر توان خود در برابر مقاومت، اکستانسیون هیپ را انجام داد، الکترود نیز در وسط خط بین مهره دوم ساکرال به تروکانتر بزرگ قرار گرفت [۲۸]. همچنین برای ثبت حداکثر انقباض ایزومتریک گلوتئوس مدیوس فرد به پهلو خوابیده و با حداکثر توان خود در برابر مقاومت، ابداکشن هیپ را انجام داد. الکترود گلوتئوس مدیوس در ۵۰ درصدی خط ایلیاک کرست به تروکانتر بزرگ قرار گرفت، به‌طوری‌که جهت‌یری از روی ایلیاک کرست به سمت تروکانتر باشد [۲۹].

قبل از آزمون پرش فرود عمودی تک‌پا، حداکثر انقباض ارادی ایزومتریک[10] هر عضله برای نرمال‌سازی داده‌های الکترومایوگرافی ثبت شد. آزمون‌های حداکثر انقباض ارادی ایزومتریک هر عضله به‌مدت ۵ ثانیه انجام شد. زمان استراحت بین هر تست حداقل ۱ دقیقه بود [۳۰]. میانگین ریشه مربع تکالیف فرود برای ۵ تکرار محاسبه شد و بر میانگین ریشه مربع حداکثر انقباض ارادی عضلات تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد، تا درصد فعالیت عضلانی برحسب درصدی از حداکثر انقباض ارادی به دست آید. نتایج به‌عنوان درصدی از حداکثر انقباض ارادی گزارش شدند. برای محاسبه میزان فعالیت فیدفورواردی عضلات، شروع فعالیت عضلانی در ۱۵۰ میلی‌ثانیه پیش از برخورد پا با زمین (نیروی عکس‌العمل زمین بالاتر از ۱۰ نیوتون) محاسبه شد [۳۱].

انتخاب این زمان برای فعالیت فیدفورواردی به این دلیل بود که لیگامان صلیبی قدامی در این زمان‌ها بیشتر مستعد آسیب‌دیدگی است [۳۰]. بدین ترتیب که سیگنال خام الکترومایوگرافی در بازه زمانی عنوان‌شده به‌وسیله محاسبه الگوریتم ریشه میانگین مربعات[11] به‌وسیله نرم‌افزار نوراکسون[12] مورد پردازش قرار گرفت. عدد حاصل از پردازش به‌وسیله ریشه میانگین مربعات، منعکس‌کننده میانگین توان یک سیگنال است که میزان یا سطح فعالیت عضله را نشان می‌داد.

در مداخله، تمام گروه‌ها به مدت ۸ هفته در برنامه‌های تمرینی شرکت کردند. در ۶ هفته اول، ورزشکاران ۳ جلسه تمرینی در هفته و در ۲ هفته آخر، ۲ جلسه تمرینی در هفته انجام دادند. ورزشکاران گروه کنترل در طول دوره ۸ هفته‌ای، تمرینات معمول خود، مثل بهبود تکنیک و مهارت‌های مرتبط با ورزش را انجام دادند. برنامه تمرینی گروه‌های تمرکز توجه بیرونی، بازخورد خودکنترلی و یادگیری افتراقی، شامل ۸ نوع تمرین بود: اسکوات دوپا، اسکوات تک‌پا، راه رفتن به‌صورت لانج، پرش فرود دوپا، ایستادن تک‌پا بر روی صفحه ناپایدار، مانور پابکس برشی، لی تک پای مسافتی و پرش ضدحرکت **(جدول شماره ۱)**. جزئیات نوع تمرینات انجام‌شده از هفته ۱ تا ۸، همراه با تکرارها و ست‌های انجام‌شده، در **جدول شماره ۱** آورده شده است. ورزشکاران گروه‌های تمرینی برنامه یکسانی را که در **جدول شماره ۱** ارائه شده است، تکمیل کردند؛ با این تفاوت که آن‌ها براساس ویژگی‌های تمرینی هر گروه، انواع مختلفی از دستورالعمل‌ها را دریافت کردند. در ارتباط با گروه یادگیری افتراقی، ماهیت خود تمرین حفظ شد و با تنوع‌های تمرینی مختلفی ارائه شد.

برنامه تمرینی تمرکز توجه بیرونی

تمرینات تمرکز توجه بیرونی، شامل ۸ نوع حرکت است: اسکوات دوپا، اسکوات تک‌ا، راه رفتن به‌صورت لانج، پرش فرود دوپا، ایستادن تک‌پا بر روی صفحه ناپایدار، مانور پابکس

10. Maximal Voluntary Isometric Contraction (MVIC) tests

11. Root Mean Squared (RMS)
12. Myo-research master edition 1.06 XP (Noraxon Inc.,Scottsdale, AZ, USA)

جدول ۲. تمرینات و دستورالعمل‌های آموزشی با تمرکز توجه بیرونی

نوع تمرین	دستورالعمل‌های آموزشی با تمرکز بیرونی توجه
اسکات دوپا	نزدیک کردن دست‌ها و زانوها به سمت مخروط، وانمود کردن حفظ توپ در بین زانوها و نشستن بر روی صندلی
لانج	تصور یک الوار بر پشت خود و نزدیک کردن زانو به سمت مخروط
اسکات تک‌پا	ایستادن بر روی ۱ پا و خم کردن پا به‌آرامی در راستای مخروط
پرش–فرود دوپا	فرود از ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری بر روی نشانه‌ها و قرار دادن انگشتان و پاها در راستای مخروط
ایستادن بر روی یک پا بر روی سطح ناپایدار	سعی در نگه داشتن میله به‌صورت افقی جهت حفظ تعادل
پرش کانترموومنت تک‌پا	انجام پرش حداکثری تک‌پا و حدالامکان رساندن انگشتان به توپ آویزان
مانور پابکس برشی	انجام حرکت روان و قرار دادن صورت و انگشتان پا در جهت حرکت
پرش طول تک‌پا	تمرکز بر پریدن تا نزدیکی مخروط در حد امکان

طب توانبخشی

برشی، لی تک پای مسافتی و پرش ضدحرکت. در حین تمرینات دستورالعمل‌های فیدبکی به‌صورت کلامی با استفاده از استراتژی‌های یادگیری توجه بیرونی، بر آزمودنی‌ها اعمال و حرکات آن‌ها را در حین تمرین تحت تأثیر قرار می‌داد [۱۶].

برنامه تمرینی یادگیری افتراقی

در این روش ورزشکاران در یک فرایند تمرینی طراحی‌شده از تکالیف که شامل کوشش‌های بدون تکرار است شرکت کردند. مربی قبل از هر جلسه آموزش دسته‌ای از کوشش‌ها برای هر مهارت را (۸ نوع تمرین ارائه‌شده در پروتکل تمرکز توجه بیرونی) طراحی می‌کرد. روش تمرینی برای گروه افتراقی متناسب با چارچوب این روش بود. به این صورت که در این روش مثلاً حرکات تعادلی بدون تکرار انجام شد. به‌عنوان مثال به آزمودنی‌ها گفته شد تکلیف پرش بر روی دوپا را با تنوع تمرینی فراوان همراه با تغییر محیط انجام دهند. در این نوع تمرین هیچ‌گونه تکراری وجود نداشت و تمرینات متناسب با خلاقیت مربی در گزارش نهایی جلسه به جلسه آن آورده می‌شد (جدول شماره ۳) [۳۲].

برنامه تمرینی بازخورد خودکنترلی

در این پروتکل به بازخوردی (بازخورد خودکنترلی) گفته می‌شود که در آن آزمودنی براساس نیازش تقاضای ارائه بازخورد افزوده می‌کند. ۸ نوع تمرین برای ۸ هفته چیده شد (تمرینات ارائه‌شده در تمرکز توجه بیرونی). در روش خودکنترل در مرحله اول با استناد به چارچوب روشهای خطی و ارائه بازخورد اول، الگویی از مهارت بر فرض مثال تعادل، نشان داده شد. مثلاً اگر هدف مربی آموزش تعادل با ۱ پا باشد به آن‌ها این مهارت نشان داده شد و از آن‌ها خواسته می‌شد آن را تکرار کنند. شیوه کار بازخورد خودکنترل به این صورت بود که از فرد خواسته شد در هر زمان که بخواهد می‌تواند عملکرد خود را ببیند و بازخورد دریافت کند. اینکه فرد بهترین عملکرد را دریافت کند یا آخرین را به انتخاب فرد بود. در مرحله دوم هر تمرین از ۸ تمرین موجود دارای چندین تنوع خواهد بود که ورزشکار به انتخاب خود و بدون ترتیب، مثلاً ۳ تمرین از ۹ تمرین را انتخاب و تمرین می‌کرد و به هنگام نیاز و به درخواست خود تقاضای بازخورد می‌کرد [۳۲].

محاسبه اندازه نمونه و روش آماری

جامعه آماری این مطالعه شامل ورزشکاران ۲۰ تا ۲۵ ساله بود. حجم نمونه مطالعه، براساس معیارهای ورود به تحقیق به‌صورت هدفمند و براساس یک مطالعه قبلی [۲۴] ۴۰ نفر بود که با احتساب ۲۰ درصد ریزش ۴۸ نفر برآورد شد.

برای توصیف ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها از میانگین توصیفی و انحراف‌معیار و جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنف[13] استفاده شد. برای تعیین تفاوت‌های بین‌گروهی (یادگیری افتراقی، تمرکز توجه بیرونی، بازخورد خودکنترلی و گروه کنترل) و زمان (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) از آزمون آماری آنووای ۴×۲ با اندازه‌گیری مکرر و استفاده شد سپس مقایسه ازطریق آزمون تعقیبی (بونفرونی) انجام شد. فاکتور درون‌گروهی به‌عنوان اثر اصلی زمان و فاکتور بین‌گروهی به‌عنوان اثر اصلی گروه در نظر گرفته شد. همچنین ۹۵ درصد فاصله اطمینان براساس اختلاف میانگین گروه تعدیل‌شده محاسبه شد و مقادیر اندازه اثر دی کوهن، ۰/۸، ۰/۵ و ۰/۲ به عنوان اندازه اثر زرگ، متوسط و کوچک در نظر گرفته شد. داده‌های خام با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. سطح معناداری در تحقیق حاضر در سطح کوچک‌تر و یا مساوی با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

13. . Kolmogorov-Smirnov test

جدول ۳. تمرینات افتراقی

نمونه‌هایی از نحوه استفاده از یادگیری افتراقی برای تمرین پرش دو پا	
تنوع تمرین پرش دو پا	تغییر محیط
تا جایی که می‌توانید بپرید. انجام هاپینگ خرگوشی به جهات مختلف، پرش با ۲ پا، پرش با پای چپ، پرش با پای راست، پرش به صورت زانو بلند، پرش ۲ پا زانوی چپ بالاتر، پرش ۲ پا با زانوی راست بالاتر، پرش ۲ پا و برخورد ۲ پاشنه به باسن، پرش ۲ پا و برخورد پاشنه چپ به باسن، پرش ۲ پا و برخورد پاشنه راست به باسن پرش ۲ پا با چرخش کامل به سمت چپ و بعد به سمت راست به هنگام پرش حفظ دست‌ها جلوی قفسه سینه، پشت سر، بالا بردن بازوی چپ، بالا بردن بازوی راست، چرخاندن هر دو دست، چرخش دست چپ، چرخش دست راست، حرکت دادن سر به سمت چپ، به سمت راست، بستن چشم چپ، بستن چشم راست در هنگام فرود یک دست را در جلو و دست دیگر را پشت سر قرار دهید. فرود با استنس خیلی عریض و فرود با استنس باریک‌تر فرود بر روی انگشتان در لحظه تماس اولیه	تمرین در تاریکی تمرین در شن تمرین با پای برهنه، با کفش تمرین در محیط با صدای موزیک یا با صدای تماشاگران تمرین در محیط واقعی

طب توانبخشی

یافته‌ها

۶ ورزشکار به‌دلیل مسائل شخصی، عدم شرکت در جلسات تمرینی و پس‌آزمون از مطالعه حاضر کنار گذاشته شدند (گروه کنترل n=۱، گروه بازخورد خودکنترلی n=۲، گروه تمرکز توجه بیرونی n=۱ و گروه یادگیری افتراقی n=۲) و درنهایت داده‌های ۴۲ نفر مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. بررسی مشخصه‌های جمعیت‌شناختی ازطریق آزمون آماری آنووای یک‌راهه نشان داد در میانگین و انحراف‌معیار سن، قد، وزن، شاخص توده بدنی و سابقه ورزشی افراد بین ۴ گروه ازنظر آماری تفاوت معناداری وجود ندارد (P>۰/۰۵) (جدول شماره ۴).

اثر متقابل گروه در زمان برای حداکثر زاویه دورسی فلکشن مچ پا (P=۰/۰۰۱)، حداکثر زاویه فلکشن زانو (P=۰/۰۰۱)، حداکثر زاویه فلکشن ران (P=۰/۰۱۵) و حداکثر زاویه ابداکشن زانو (P=۰/۰۰۱) معنادار یافت شد (P<۰/۰۵). همچنین اثر اصلی زمان در حداکثر زاویه دورسی فلکشن مچ پا (P=۰/۰۰۱)، حداکثر زاویه فلکشن زانو (P=۰/۰۰۱)، حداکثر زاویه فلکشن ران (P=۰/۰۰۱) و حداکثر زاویه ابداکشن زانو (P=۰/۰۰۱) به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای معنادار بود.

اثر اصلی گروه فقط در حداکثر زاویه ابداکشن زانو (P=۰/۰۲۶) معنادار بود. تفاوت بین‌گروهی معناداری در حداکثر زاویه دورسی فلکشن مچ پا و حداکثر زاویه فلکشن ران یافت نشد. در حداکثر زوایای فلکشن زانو افزایش معناداری بین گروه یادگیری افتراقی

جدول ۴. مشخصات جمعیت‌شناختی ورزشکاران

متغیر	میانگین±انحراف‌معیار				P
	گروه کنترل (n=۱۱)	خودکنترلی (n=۱۰)	تمرکز توجه بیرونی (n=۱۱)	یادگیری افتراقی (n=۱۰)	
سن (سال)	۰±۲۳/۶۳	۲۲/۱±۳۰/۴۹	۲۲/۲±۳۶/۱۵	۲۱/۱±۸۰/۶۱	۰/۳۹۰
وزن (کیلوگرم)	۷۴/۷±۳۴/۰۳	۷۶/۴±۸۳/۹۱	۷۵/۷±۷۱/۴۶	۷۳/۶±۷۹/۳۱	۰/۷۲۲
قد (سانتی‌متر)	۱۸۲/۷±۸۲/۵۶	۱۸۵/۶±۷۰/۴۹	۱۸۳/۸±۹۱/۱۱	۱۸۴/۴±۸۰/۶۱	۰/۸۰۱
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۲/۱±۲۰/۲۰	۲۲/۰±۲۹/۳۷	۲۲/۱±۳۹/۵۲	۲۱/۰±۵۷/۸۸	۰/۳۴۲
تجربه ورزشی (سال)	۶/۳±۲۷/۱۰	۷/۲±۴۰/۵۹	۵/۲±۸۱/۳۱	۶/۲±۷۰/۵۸	۰/۵۸۰

P<۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار

طب توانبخشی

جدول ۵. نتایج تغییرات کینماتیکی قبل و بعد از مداخلات تمرینی در چهار گروه مورد مطالعه

متغیر	گروه	میانگین±انحراف‌معیار		اندازه اثر (CI 95%) †	P		
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون		اثر اصلی زمان	اثر اصلی گروه	اثر متقابل گروه و زمان
حداکثر زاویه دورسی فلکشن مچ پا (°)	کنترل	۱۷/۲±۶۸/۰۴	۱۷/۲±۸۰/۱۷	۰/۰۵ (-۰/۷۷ تا ۰/۸۹)	F=۲۳/۹۵۶ P=۰/*۰۰۱	F=۰/۶۹۱ P=۰/۵۶۳	F=۱۱/۳۴۴ P=۰/*۰۰۱
	خودکنترلی	۱۷/۲±۵۸/۹۹	۱۸/۲±۳۳/۹۳	۰/۲۵ (-۰/۶۲ تا ۱/۱۳)			
	تمرکز بیرونی	۱۷/۲±۸۴/۳۲	۱۸/۲۷ ± ۲/۴۹	۰/۱۷ (-۰/۶۵ تا ۱/۰۱)			
	یادگیری افتراقی	۱۷/۲±۷۱/۲۴	۲۰/۴۴ ± ۳/۰۶ ¥	۱/£۰۱ (۰/۰۸ تا ۱/۹۴)			
حداکثر زاویه فلکشن زانو (°)	کنترل	۴۹/۶±۸۳/۹۱	۴۹/۶±۷۴/۲۷	۰/۰۱ (-۰/۸۲ تا ۰/۸۴)	F=۳۹/۵۳۰ P=۰/*۰۰۱	F=۲/۷۳۷ P=۰/۰۵۷	F=۱۱/۴۳۱ P=۰/*۰۰۱
	خودکنترلی	۴۹/۸±۱۵/۰۵	۵۱/۷±۰۰/۶۷	۰/۲۳ (-۰/۶۴ تا ۱/۱۱)			
	تمرکز بیرونی	۵۲/۵±۲۹/۴۵	۵۸/۸±۰۱/۰۵ ¥	۰/£۸۳ (-۰/۰۳ تا ۱/۷۰)			
	یادگیری افتراقی	۵۱/۸±۶۶/۲۳	۶۳/۱۱±۳۶/¥, a, b ۱۱	۱/£۱۹ (۰/۲۴ تا ۲/۱۴)			
حداکثر زاویه فلکشن ران (°)	کنترل	۳۷/۸±۸۸/۹۲	۳۷/۸±۹۵/۹۶	۰/۰۰ (-۰/۸۲ تا ۰/۸۴)	F=۱۷/۴۲۲ P=۰/*۰۰۱	F=۰/۶۶۹ P=۰/۵۷۶	F=۳/۹۷۱ P=۰/*۰۱۵
	خودکنترلی	۳۸/۸±۷۵/۳۳	۴۰/۹±۷۴/۳۶	۰/۲۲ (-۰/۶۵ تا ۱/۱۰)			
	تمرکز بیرونی	۳۷/۹±۴۸/۷۵	۴۴/۱۱±۸۵/۰۳ ¥	۰/۷۰ (-۰/۱۵ تا ۱/۵۶)			
	یادگیری افتراقی	۳۸/۷±۱۱/۴۰	۴۸/۱۲±۳۱/۴۰ ¥	۰/£۹۹ (۰/۰۶ تا ۱/۹۲)			
حداکثر زاویه ابداکشن زانو (°)	کنترل	۱۳/۳±۵۰/۰۶	۱۳/۲±۷۳/۲۸	۰/۰۸ (-۰/۷۵ تا ۰/۹۲)	F=۸۴/۷۰۳ P=۰/*۰۰۱	F=۳/۴۴۱ P=۰/*۰۲۶	F=۲۵/۵۱۰ P=۰/*۰۰۱
	خودکنترلی	۱۳/۲±۵۱/۷۵	۱۲/۱±۳۴/۴۷	۰/۵۳ (-۱/۴۲ تا ۰/۳۶)			
	تمرکز بیرونی	۱۳/۳±۵۴/۰۷	۱۰/۲±۲۲/۴۳ ¥, d	۱/£۱۹ (-۰/۲۹ تا -۲/۱۰)			
	یادگیری افتراقی	۱۳/۲±۲۸/۴۴	۶/۴±۸۶/۳۸ ¥, a, b	۱/£۸۱ (-۰/۷۷ تا -۲/۸۵)			

طب توانبخشی

*، اختلاف آماری معنادار (P<۰/۰۵)؛ ¥، اختلاف معنادار پیش‌آزمون به پس‌آزمون؛ †، اندازه اثر (۹۵ درصد فاصله اطمینان)؛ £، اندازه اثر بزرگ دی کوهن (۰/۸)؛ نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی: a = تفاوت معنادار بین گروه یادگیری افتراقی و گروه کنترل، b = تفاوت معنادار بین گروه یادگیری افتراقی و گروه خودکنترلی، c = تفاوت معنادار بین گروه یادگیری افتراقی و گروه تمرکز بیرونی، d = تفاوت معنادار بین گروه تمرکز بیرونی و گروه کنترل.

و گروه کنترل (P=۰/۰۰۴) و بین گروه یادگیری افتراقی و گروه بازخورد خودکنترلی (P=۰/۰۱۳) یافت شد. در حداکثر زوایای ابداکشن زانو کاهش معناداری در بین گروه یادگیری افتراقی و گروه کنترل (P=۰/۰۰۱) و بین گروه یادگیری افتراقی و گروه بازخورد خودکنترلی (P=۰/۰۰۱) مشاهده شد. همچنین کاهش معناداری در حداکثر زاویه ابداکشن زانو بین گروه تمرکز توجه بیرونی و گروه بازخورد خودکنترلی یافت شد (P=۰/۰۰۱).

آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد ۲ گروه یادگیری افتراقی و تمرکز توجه بیرونی افزایش معناداری در حداکثر زاویه فلکشن زانو (۱/۱۹= اندازه اثر، P=۰/۰۰۱؛ ۰/۸۳= اندازه اثر، P=۰/۰۰۱) و حداکثر زاویه فلکشن ران (۰/۹۹=اندازه اثر، P=۰/۰۰۱؛ ۰/۷۰=اندازه اثر، P=۰/۰۰۳) و کاهش معنادار در حداکثر زاویه ابداکشن زانو (۱/۸۱= اندازه اثر، P=۰/۰۰۱؛ ۱/۱۹= اندازه اثر، P=۰/۰۰۱) نشان دادند. همچنین گروه یادگیری افتراقی افزایش معناداری در حداکثر زاویه دورسی فلکشن مچ پا نشان داد (۱/۰۱= اندازه اثر، P=۰/۰۰۱) (جدول شماره ۵).

اثر متقابل گروه در زمان برای فعالیت فیدفورواردی عضلات گلوتئوس مدیوس (P=۰/۰۱۷) معنادار یافت شد، ولی برای فعالیت فیدفورواردی عضله گلوتئوس ماگزیموس (P=۰/۱۱۱)

جدول ۶. نتایج فعالیت فیدفوروواردی عضلات گلوتئوس ماگزیموس و مدیوس قبل و بعد از مداخلات تمرینی در ۴ گروه موردمطالعه

متغیر	گروه	میانگین±انحراف‌معیار		اندازه اثر (CI 95%) †	P		
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون		اثر اصلی زمان	اثر اصلی گروه	اثر متقابل گروه و زمان
گلوتئوس ماگزیموس	کنترل	۲۸/۱۲±۷۹/۵۹	۲۹/۱۲±۱۰/۹۷	۰/۰۲ (-۰/۸۱ تا ۰/۸۶)	F=۷/۵۸۲ P=۰/*۰۰۹	F=۰/۳۲۹ P=۰/۸۰۵	F=۲/۱۴۴ P=۰/۱۱۱
	خودکنترلی	۲۷/۱۱±۶۷/۶۶	۲۸/۸±۵۹/۶۰	۰/۰۸ (-۰/۷۸ تا ۰/۹۶)			
	تمرکز بیرونی	۲۹/۹±۷۶/۱۰	۳۲/۱۰±۴۸/۹۲	۰/۲۷ (-۰/۵۶ تا ۱/۱۱)			
	یادگیری افتراقی	۲۹/۱۲±۲۱/۴۵	۳۵/۱۳±۸۷/*۸۴	۰/۵۰ (-۰/۳۸ تا ۱/۳۹)			
گلوتئوس مدیوس	کنترل	۲۵/۹±۱۰/۴۶	۲۴/۱۴±۱۸/۶۹	۰/۰۷ (-۰/۹۱ تا ۰/۷۶)	F=۱۰/۷۷۱ P=۰/*۰۰۲	F=۱/۵۳۹ P=۰/۲۲۰	F=۳/۸۱۴ P=۰/*۰۱۷
	خودکنترلی	۲۷/۵±۶۰/۲۷	۲۹/۱۰±۱۴/۴۶	۰/۱۸ (-۰/۶۹ تا ۱/۰۶)			
	تمرکز بیرونی	۲۵/۱۰±۵۱/۰۱	۳۴/۱۲±۷۸/*۶۷	۰/*۸۱ (-۰/۰۵ تا ۱/۶۸)			
	یادگیری افتراقی	۲۴/۷±۳۸/۴۹	۴۰/۱۴±۹۶/۱۰ *،a	۱/*۴۶ (۰/۴۸ تا ۲/۴۵)			

طب توانبخشی

*، اختلاف آماری معنادار (P<۰/۰۵)؛ *، اختلاف معنادار پیش‌آزمون به پس‌آزمون؛ †، اندازه اثر (۹۵ درصد فاصله اطمینان)؛ *، اندازه اثر بزرگ دی کوهن (۰/۸)؛ نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی: a = تفاوت معنادار بین گروه یادگیری افتراقی و گروه کنترل، b = تفاوت معنادار بین گروه یادگیری افتراقی و گروه خودکنترلی، c = تفاوت معنادار بین گروه یادگیری افتراقی و گروه تمرکز بیرونی، d = تفاوت معنادار بین گروه تمرکز بیرونی و گروه کنترل.

معنادار یافت نشد. همچنین اثر اصلی زمان برای فعالیت فیدفوروواردی عضلات گلوتئوس ماگزیموس (P=۰/۰۰۹)، گلوتئوس مدیوس (P=۰/۰۰۲) معنادار بود. تفاوت بین‌گروهی در فعالیت فیدفوروواردی عضله گلوتئوس ماگزیموس معنادار نبود. در فعالیت فیدفوروواردی عضله گلوتئوس مدیوس بین گروه یادگیری افتراقی و گروه کنترل افزایش معناداری یافت شد (P=۰/۰۳۵). آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد گروه یادگیری افتراقی افزایش معناداری در فعالیت فیدفوروواردی عضله گلوتئوس ماگزیموس (۰/۵۰= اندازه اثر، P=۰/۰۰۲) داشت. گروه یادگیری افتراقی و تمرکز توجه بیرونی افزایش قابل‌توجهی در فعالیت فیدوفوروواردی عضله گلوتئوس مدیوس (۱/۴۶= اندازه اثر، P=۰/۰۰۱؛ ۰/۸۱= اندازه اثر، P=۰/۰۰۱) از خود نشان داد (جدول شماره ۶).

بحث

هدف از مطالعه حاضر مقایسه تأثیر استراتژی یادگیری افتراقی، بازخورد خودکنترلی و تمرکز توجه بیرونی بر بیومکانیک فرود ورزشکاران با والگوس داینامیک زانو بود. نتایج مطالعه نشان‌دهنده تغییرات موفقیت‌آمیز گروه استراتژی یادگیری افتراقی و تمرکز توجه بیرونی در کاهش عوامل خطر کینتیکی و کینماتیکی بالقوه برای آسیب لیگامان صلیبی قدامی بود. در ارتباط با تغییرات مرحله پیش‌آزمون به پس‌آزمون حداکثر زوایای فلکشن زانو، ران و ابداکشن زانو در هر دو گروه یادگیری افتراقی و تمرکز توجه بیرونی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای معنادار بود. اگرچه زاویه دورسی فلکشن مچ پا بعد از تمرینات تمرکز توجه بیرونی و خودکنترلی افزایشی را نشان داد، ولی نسبت به پیش‌آزمون اختلاف معناداری نداشته است، ولی بعد از تمرینات استراتژی یادگیری افتراقی افزایش معناداری را نسبت به پیش‌آزمون از خود نشان داد. در مقایسه‌بین گروه‌ها، گروه یادگیری افتراقی نسبت به گروه کنترل در حداکثر زاویه فلکشن و ابداکشن زانو نسبت به گروه بازخورد خودکنترلی در حداکثر زاویه فلکشن و ابداکشن زانو تفاوت معنادار داشته است. تغییرات درون‌گروهی نشان داد گروه تمرینات یادگیری افتراقی نسبت به گروه‌های تمرکز توجه بیرونی، بازخورد خودکنترلی و کنترل در فعالیت فیدفوروواردی بیشترین کاهش و افزایش معنادار از مرحله پیش‌آزمون به پس‌آزمون داشته است. همچنین تفاوت بین‌گروهی در فعالیت فیدفوروواردی عضله گلوتئوس ماگزیموس معنادار نبود. یافته‌های اولیه با ۲ بخش از مطالعات قبلی همسو است: اول، مزایای استفاده از تنوع در تمرین [۲۱، ۳۳-۳۵] و کاهش عوامل خطر کینماتیکی و کینتیکی آسیب لیگامان صلیبی قدامی [۳۶]؛ دوم، تمرینات عصبی عضلانی با دستورالعمل های تمرکز توجه بیرونی برنامه‌های پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی را تقویت می‌کند [۱۶، ۳۷، ۳۸].

به‌طورکلی، بیش از ۷۰ درصد از آسیب‌های لیگامان صلیبی قدامی در حین تماس تک‌پا بدون دخالت حریف رخ می‌دهند که در آن ورزشکار مجبور است چندین برابر وزن بدن خود را توسط ۱ پا تحمل کند [۳۹]. شواهد حاکی از آن است که هنگام فرود بر روی ۱ پا، نیاز به هماهنگی حرکتی بیشتر و نیروهای بالاتر در زمان‌های کوتاه‌تر نسبت به فرود بر روی ۲ پا وجود دارد [۳۹، ۴۰]. محدودیت در انعطاف‌پذیری دورسی‌فلکشن مچ پا با زانوی صاف با مکانیسم‌های فرود آسیب‌زا مرتبط است [۴۱]. فانگ و همکاران نشان دادند افرادی که دارای انعطاف‌پذیری دورسی‌فلکشن مچ پای کمی هستند، هنگام فرود از پرش، زاویه زانوی کمتری دارند [۴۱]. در حین فرود، حرکات مفصل ران، زانو و مچ پا در جذب نیروی عکس‌العمل زمین نقش بسزایی دارند. هنگامی که به دلیل محدودیت دامنه حرکتی مفاصل، این اجزا نتوانند به‌صورت هماهنگ در جذب نیروی عکس‌العمل زمین عمل کنند [۴۲]، نیروهای کششی و چرخشی وارده بر آسیب لیگامان صلیبی قدامی با افزایش نیروهای نیروی عکس‌العمل زمین افزایش یافته و یکی از عوامل اصلی آسیب لیگامان صلیبی قدامی محسوب می‌شوند [۴۳]. تحقیقات بیشتری لازم است تا مشخص شود چگونه باید انعطاف‌پذیری مفاصل مختلف را با یکدیگر هماهنگ کرد. از دیدگاه روش یادگیری افتراقی، افزایش نوسانات می‌تواند هم به افزایش دامنه حرکتی مفاصل و هم به کاهش نیروهای نیروی عکس‌العمل زمین کمک کند [۴۴].

هنگامی که زاویه فلکشن مفاصل افزایش می‌یابد، سازگاری و انعطاف‌پذیری مفصل نیز افزایش می‌یابد که این امر منجر به کاهش نیروهای عکس‌العمل زمین اضافی وارد بر رباط‌ها توسط گروه‌های عضلانی شده و از بروز آسیب‌های احتمالی جلوگیری می‌کند [۴۵]. تمریناتی که شامل افزودن نویز به موقعیت کینماتیکی یک اندام هستند، نتایج مطلوب‌تری نسبت به تمرین در موقعیت ثابت با حداقل تنوع دارند [۲۰]. اگر اجرای حرکات به دلیل وابستگی به راه‌حل‌های ظاهراً صحیح و تکرارشونده محدود شود، احتمالاً هر بار همان بافت‌ها تحت بار اضافی قرار خواهند گرفت. افزودن نویز بهینه نه‌تنها باعث توزیع بهتر بارها بر روی بافت‌ها در هر اجرای حرکت شده و خطر خستگی و استفاده بیش از حد را کاهش می‌دهد، بلکه به کنترل عصبی‌عضلانی نیز انعطاف‌پذیری بیشتری بخشیده و درنتیجه، خطر آسیب را کاهش می‌دهد [۲۱].

بر اساس نتایج، می‌توان نتیجه‌گیری کرد روش‌های یادگیری حرکتی تأثیرات متفاوتی بر کاهش عوامل خطر آسیب لیگامان صلیبی قدامی دارند و یادگیری افتراقی ممکن است امیدوارکننده‌ترین روش از بین ۳ روش اعمال‌شده (بازخورد خودکنترلی، بازخورد تمرکز توجه بیرونی و یادگیری افتراقی) باشد. بااین‌حال برای تأیید بیشتر، مطالعات بیشتری با طرح‌های مختلف نیاز است. در مفهوم اصلی آمار فیشر، مقادیر معناداری کمتر از ۰/۰۵ نشان می‌دهد ادامه تحقیقات در این جهت ارزشمند است. استراتژی یادگیری افتراقی به نظر می‌رسد به فرد کمک کند تا انعطاف‌پذیرتر شود و بتواند در زمان کوتاه‌تر و به‌طور مناسب‌تر با شرایط مختلف مرزی سازگار شود [۴۶]. هنگامی که یک ورزشکار قادر به کنترل و هماهنگی حرکات با تعداد بیشتری از درجات آزادی باشد، اجرای حرکت روان‌تر و مؤثرتر انجام می‌گیرد. در این شرایط، فشار ناشی از نیروی واکنش زمین به‌صورت بهتری توسط عضلات، تاندون‌ها و رباط‌ها توزیع و خنثی می‌شود و درنتیجه، احتمال بروز آسیب کاهش می‌یابد [۴۶، ۴۷]. علاوه‌براین تنوع در برنامه‌های تمرینی به ورزشکاران امکان می‌دهد تا راه‌حل‌های حرکتی مناسب‌تری را باتوجه‌به شرایط مرزی تعیین‌شده توسط عوامل خارجی و داخلی جست‌وجو و انتخاب کنند که این امر منجر به افزایش سازگاری فردی با شرایط متغیر محیطی می‌شود [۳۵]. تنوع بیشتر در جلسات تمرینی از دیدگاه عملکردی اهمیت بیشتری دارد. این امر باعث افزایش طیف هماهنگی حرکتی فردی، بهبود سازگاری با محیط پویا و متغیر و احتمالاً کاهش خطر بروز آسیب می‌شود [۲۱].

یکی از عوامل خطر بیومکانیکی که به‌صورت گسترده مورد تحقیق قرار گرفته داینامیک والگوس زانوست (ترکیبی از اداکشن و چرخش داخلی ران، ابداکشن زانو و چرخش خارجی تیبیا) که ارتباط بالقوه‌ای با آسیب‌های زانو مثل پارگی لیگامان صلیبی قدامی و درد پتلوفمورال دارد [۴۸]. کنترل استریک اداکشن و چرخش داخلی ران به‌عنوان عامل تأثیرگذار در داینامیک والگوس زانو شناخته شده است [۴۹]. قدرت بالای ابداکشن و چرخش خارجی ران ممکن است بتواند از گشتاورهای بیش‌ازحد اداکشن و چرخش داخلی ران جلوگیری کرده و بنابراین داینامیک والگوس زانو را محدود کند [۵۰]. کشمن و همکاران گزارش کردند ضعف در ابداکتورها و اکسترنال روتیتورهای ران منجر به افزایش حرکت داینامیک والگوس زانو شه و به‌صورت بالقوه موجب ریسک بالای آسیب لیگامان صلیبی قدامی شود [۵۱]. بنابراین رابطه بین عملکرد عضلات ران و داینامیک والگوس زانو بسیار مهم است، این حرکت عمدتاً توسط ۲ عضله کنترل می‌شود: گلوتئوس ماگزیموس و گلوتئوس مدیوس. مکانیسم فیدفورواردی[14] و فیدبکی[15] ۲ مکانیسمی هستند که سیستم عصبی‌عضلانی از این طریق عضلات را فعال می‌کند. سیستم عصبی‌عضلانی در مکانیسم فیدفورواردی عضلات را قبل از وارد شدن محرک (قبل از فرود و تماس با سطح) فعال‌سازی می‌کند. درحقیقت، این سیستم براساس تجربه‌های پیشین خود، جهت جلوگیری از آسیب و برهم خوردن تعادل عضلات را از قبل فعال می‌کند

14. Feedforward
15. Feedback

[۵۲]. میزان فعالیت فیدفوروواردی احتمالاً ازطریق عملکرد بهتر دوک‌های عضلانی بهبودیافته و ریسک آسیب لیگامان را کاهش می‌دهد [۵۳]. ازنظر دیدگاه علم عصب‌شناسی و کنترل حرکتی برای یادگیری حرکتی و مهارت اضافه کردن درجاتی از تغییرپذیری حیاتی بوده و یادگیری را تقویت می‌کند [۱۹]. همچنین طبق مطالعات مقادیری از تغییرپذیری برای عملکرد بهینه لازم و ضروری است [۵۴]. ازاین‌رو می‌توان گفت بهبودی که در فعالیت فیدفوروواردی عضلات گلوتئوس ماگزیموس و مدیوس به‌دست‌آمده می‌تواند از تنوع تمرینی و چالش‌های متعددی باشد که در تمرینات یادگیری افتراقی طبق پروتکل تمرینی اعمال می‌شد.

نتایج فعالیت فیدفوروواردی عضله گلوتئوس مدیوس در گروه تمرکز توجه بیرونی بیانگر افزایش معنادار نسبت به پیش‌آزمون خود بوده است. اصلاحات در بیومکانیک حرکت و تأکید بر اجرای حرکات در راستای صحیح و اصلاح والگوس زانو با تمرکز بر یک شیء بیرونی (مثل انجام حرکت لانج در راستای مخروط) ازجمله دستورالعمل‌هایی است که در این روش به‌کرات دیده می‌شود [۱۳]. از طرفی طبق مطالعه ولف و همکاران دستورالعمل‌های با تمرکز توجه بیرونی به بهبود فعالیت عضلانی و روانی حرکت می‌شود [۱۲]. به همین جهت پیشرفت‌های حاصله به دلیل تغییر در رفتار عضله (فعالیت عضلانی) می‌تواند در نتیجه تمرینات تمرکز توجه بیرونی باشد.

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد روش‌های یادگیری حرکتی تأثیر مثبتی بر کاهش عوامل خطر آسیب لیگامان صلیبی قدامی دارد و روش یادگیری افتراقی بهترین روش در میان ۳ روش (خودکنترلی، تمرکز توجه بیرونی و یادگیری افتراقی) است. گروه یادگیری افتراقی در اکثر متغیرها با گروه کنترل و گروه خودکنترلی تفاوت معنادار نشان داده است، ولی گروه تمرکز توجه بیرونی صرفاً تفاوت معنادار نسبت به پیش‌آزمون خود داشته، ولی در مقایسه‌های بین‌گروهی تفاوت معناداری با هیچ‌کدام از گروه‌ها نداشته است. ازاین‌رو برتری روش یادگیری افتراقی نسبت به تمرکز توجه بیرونی احتمالاً می‌تواند به دلیل افزایش تنوع و تغییرپذیری در تمرینات باشد که در اصلاح عوامل خطر آسیب لیگامان صلیبی قدامی مؤثر است.

نتیجه‌گیری

هر دو روش یادگیری افتراقی و تمرکز توجه بیرونی تأثیر مثبتی را در کاهش عوامل خطر کینتیکی و کینماتیکی آسیب لیگامان صلیبی قدامی نشان دادند، ولی نتایج مطالعه حاضر روش یادگیری افتراقی و نقش تغییرپذیری در تمرین را در پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی برجسته‌تر می‌داند و برای بهره‌مندی بیشتر ورزشکاران، روش یادگیری افتراقی را پیشنهاد می‌کند. همچنین برای کاهش خطر آسیب لیگامان صلیبی قدامی، به‌جای به‌کارگیری دستورالعمل‌های مستقیم و تجویزی، فراهم کردن محیط‌های آموزشی براساس دستکاری‌های ایجادشده در تمرین ازطریق تغییرپذیری و تنوع در حرکات توصیه می‌شود.

محدودیت‌ها

مطالعه حاضر با محدودیت‌هایی همراه بود:

اول، باتوجه‌به اینکه شرکت‌کنندگان در این مطالعه مردان ورزشکار با شاخص توده بدنی نرمال در دامنه سنی ۲۰ تا ۲۵ سال بودند. نتایج حاصل از مطالعه را نمی‌توان به همه افراد، ازجمله افراد غیرورزشکار، افراد با شاخص توده بدنی بالا و علی‌الخصوص زنان تعمیم داد، زیرا نشان داده شده است زنان به انواع مختلفی از استراتژی‌های یادگیری حرکتی جهت پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی پاسخ متفاوتی داده‌اند [۱۵].

دوم، مطالعات بیشتری نیاز است تا روشن شود آیا یافته‌های ما را می‌توان به سایر عوامل خطر کینتیکی و کینماتیکی آسیب لیگامان صلیبی قدامی در تکلیف‌های دیگری مثل کاتینگ تعمیم داد یا خیر.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق **پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی** در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره IR.SSRI.REC.1400.1177 دریافت شده است. قبل از اجرای آزمون فرم رضایت‌نامه آگاهانه موردتأیید دانشگاه توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، **خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.**

مشارکت نویسندگان

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

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری تمامی ورزشکاران شرکت‌کننده در این مطالعه تقدیر می‌کنند.

References

[1] Rinaldi VG, Prill R, Jahnke S, Zaffagnini S, Becker R. The influence of gluteal muscle strength deficits on dynamic knee valgus: A scoping review. Journal of Experimental Orthopaedics. 2022; 9(1):81. [DOI:10.1186/s40634-022-00513-8] [PMID] [PMCID]

[2] Boden BP, Griffin LY, Garrett WE Jr. Etiology and Prevention of Noncontact ACL Injury. The Physician and Sportsmedicine. 2000; 28(4):53-60. [DOI:10.3810/psm.2000.04.841] [PMID]

[3] Beutler A, de la Motte S, Marshall S, Padua D, Boden B. Muscle strength and qualitative jump-landing differences in male and female military cadets: The jump-acl study. Journal of Sports Science & Medicine. 2009; 8(4):663-71. [PMID]

[4] Sasaki S, Nagano Y, Ichikawa H. Loading differences in single-leg landing in the forehand- and backhand-side courts after an overhead stroke in badminton: A novel tri-axial accelerometer research. Journal of Sports Sciences. 2018; 36(24):2794-801. [DOI:10.1080/02640414.2018.1474535] [PMID]

[5] Leppänen M, Pasanen K, Kujala UM, Vasankari T, Kannus P, Äyrämö S, et al. Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. The American Journal of Sports Medicine. 2017; 45(2):386-93. [DOI:10.1177/0363546516665810] [PMID]

[6] Shimokochi Y, Yong Lee S, Shultz SJ, Schmitz RJ. The relationships among sagittal-plane lower extremity moments: implications for landing strategy in anterior cruciate ligament injury prevention. Journal of Athletic Training. 2009; 44(1):33-8. [DOI:10.4085/1062-6050-44.1.33] [PMID] [PMCID]

[7] Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS Jr, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. The American Journal of Sports Medicine. 2005; 33(4):492-501. [DOI:10.1177/0363546504269591] [PMID]

[8] Lin CF, Liu H, Gros MT, Weinhold P, Garrett WE, Yu B. Biomechanical risk factors of non-contact ACL injuries: A stochastic biomechanical modeling study. Journal of Sport and Health Science. 2012; 1(1):36-42. [DOI:10.1016/j.jshs.2012.01.001]

[9] Zebis MK, Bencke J, Andersen LL, Døssing S, Alkjaer T, Magnusson SP, et al. The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during sidecutting in female elite soccer and handball players. Clinical Journal of Sport Medicine. 2008; 18(4):329-37. [DOI:10.1097/JSM.0b013e31817f3e35] [PMID]

[10] Nyman E Jr, Armstrong CW. Real-time feedback during drop landing training improves subsequent frontal and sagittal plane knee kinematics. Clinical Biomechanics. 2015; 30(9):988-94. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2015.06.018] [PMID]

[11] Simoneau GG, Wilk KE. The challenge of return to sports for patients post-ACL reconstruction. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. 2012; 42(4):300-1. [DOI:10.2519/jospt.2012.0106] [PMID]

[12] Wulf G. Attentional focus and motor learning: A review of 15 years. International Review of Sport and Exercise Psychology. 2013; 6(1):77-104. [DOI:10.1080/1750984X.2012.723728]

[13] Benjaminse A, Gokeler A, Dowling AV, Faigenbaum A, Ford KR, Hewett TE, et al. Optimization of the anterior cruciate ligament injury prevention paradigm: Novel feedback techniques to enhance motor learning and reduce injury risk. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. 2015; 45(3):170-82. [DOI:10.2519/jospt.2015.4986] [PMID]

[14] Benjaminse A, Otten E. ACL injury prevention, more effective with a different way of motor learning? Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2011; 19(4):622-7. [DOI:10.1007/s00167-010-1313-z] [PMID] [PMCID]

[15] Benjaminse A, Otten B, Gokeler A, Diercks RL, Lemmink KAPM. Motor learning strategies in basketball players and its implications for ACL injury prevention: A randomized controlled trial. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. 2017; 25(8):2365-76. [DOI:10.1007/s00167-015-3727-0] [PMID] [PMCID]

[16] Ghanati HA, Letafatkar A, Almonroeder TG, Rabiei P. Examining the influence of attentional focus on the effects of a neuromuscular training program in male athletes. Journal of Strength and Conditioning Research. 2022; 36(6):1568-75. [DOI:10.1519/JSC.0000000000003681] [PMID]

[17] Renshaw I, Chow JY, Davids K, Button C. Nonlinear pedagogy in skill acquisition: An introduction. London: Routledge; 2015. [DOI:10.4324/9781315813042]

[18] Schöllhorn WI. Applications of systems dynamic principles to technique and strength training. Acta Academiae Olympiquae estoniae. 2000; 8:67-85. [Link]

[19] Tumer EC, Brainard MS. Performance variability enables adaptive plasticity of 'crystallized' adult birdsong. Nature. 2007; 450(7173):1240-4. [DOI:10.1038/nature06390] [PMID]

[20] Ziegler MD, Zhong H, Roy RR, Edgerton VR. Why variability facilitates spinal learning. The Journal of Neuroscience. 2010; 30(32):10720-6. [DOI:10.1523/JNEUROSCI.1938-10.2010] [PMID] [PMCID]

[21] Bartlett R, Wheat J, Robins M. Is movement variability important for sports biomechanists? Sports biomechanics. 2007; 6(2):224-43. [DOI:10.1080/14763140701322994] [PMID]

[22] Ranganathan R, Newell KM. Changing up the routine: Intervention-induced variability in motor learning. Exercise and Sport Sciences Reviews. 2013; 41(1):64-70. [DOI:10.1097/JES.0b013e318259beb5] [PMID]

[23] Irawan DS, Huoth C, Sinsurin K, Kiratisin P, Vachalathiti R, Richards J. Concurrent validity and reliability of two-dimensional frontal plane knee measurements during multi-directional cutting maneuvers. International Journal of Sports Physical Therapy. 2022; 17(2):148-55. [DOI:10.26603/001c.31651] [PMID] [PMCID]

[24] Welling W, Benjaminse A, Gokeler A, Otten B. Enhanced retention of drop vertical jump landing technique: A randomized controlled trial. Human Movement Science. 2016; 45:84-95. [DOI:10.1016/j.humov.2015.11.008] [PMID]

[25] Richardson MC, Wilkinson A, Chesterton P, Evans W. Effect of sand on landing knee valgus during single-leg land and drop jump tasks: Possible implications for ACL injury prevention and rehabilitation. Journal of Sport Rehabilitation. 2020; 30(1):97-104. [DOI:10.1123/jsr.2019-0306] [PMID]

[26] Stensrud S, Myklebust G, Kristianslund E, Bahr R, Krosshaug T. Correlation between two-dimensional video analysis and subjective assessment in evaluating knee control among elite female team handball players. British Journal of Sports Medicine. 2011; 45(7):589-95. [DOI:10.1136/bjsm.2010.078287] [PMID]

[27] Tamura A, Akasaka K, Otsudo T, Sawada Y, Okubo Y, Shiozawa J, et al. Fatigue alters landing shock attenuation during a single-leg vertical drop jump. Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2016; 4(1):2325967115626412. [DOI:10.1177/2325967115626412] [PMID] [PMCID]

[28] Contreras B, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Beardsley C, Cronin J. A Comparison of gluteus maximus, biceps femoris, and vastus lateralis electromyographic activity in the back squat and barbell hip thrust exercises. Journal of Applied Biomechanics. 2015; 31(6):452-8. [DOI:10.1123/jab.2014-0301] [PMID]

[29] Sebesi B, Fésüs Á, Varga M, Atlasz T, Vadász K, Mayer P, et al. The indirect role of gluteus medius muscle in knee joint stability during unilateral vertical jump and landing on unstable surface in young trained males. Applied Sciences. 2021; 11(16):7421. [DOI:10.3390/app11167421]

[30] Struminger AH, Lewek MD, Goto S, Hibberd E, Blackburn JT. Comparison of gluteal and hamstring activation during five commonly used plyometric exercises. Clinical Biomechanics. 2013; 28(7):783-9. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2013.06.010] [PMID]

[31] Lephart SM, Abt JP, Ferris CM, Sell TC, Nagai T, Myers JB, Irrgang JJ. Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: A plyometric versus basic resistance program. British Journal of Sports Medicine. 2005; 39(12):932-8. [DOI:10.1136/bjsm.2005.019083] [PMID] [PMCID]

[32] Ghanati HA, Letafatkar A, Shojaedin S, Hadadnezhad M, Schöllhorn WI. Comparing the effects of differential learning, self-controlled feedback, and external focus of attention training on biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament (ACL) in athletes: A randomized controlled trial. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022; 19(16):10052. [DOI:10.3390/ijerph191610052] [PMID] [PMCID]

[33] Gokeler A, Neuhaus D, Benjaminse A, Grooms DR, Baumeister J. Principles of motor learning to support neuroplasticity after ACL injury: Implications for optimizing performance and reducing risk of second ACL injury. Sports Medicine. 2019; 49(6):853-65. [DOI:10.1007/s40279-019-01058-0] [PMID] [PMCID]

[34] Gokeler A, Benjaminse A, Seil R, Kerkhoffs G, Verhagen E. Using principles of motor learning to enhance ACL injury prevention programs. Sports Orthopaedics and Traumatology. 2018; 34(1):23-30. [DOI:10.1016/j.orthtr.2017.12.006]

[35] Dhawale AK, Smith MA, Ölveczky BP. The Role of Variability in Motor Learning. Annual Review of Neuroscience. 2017; 40:479-98. [DOI:10.1146/annurev-neuro-072116-031548] [PMID] [PMCID]

[36] Mohammadi Orangi B, Yaali R, Bahram A, Aghdasi MT, van der Kamp J, et al. Motor learning methods that induce high practice variability reduce kinematic and kinetic risk factors of non-contact ACL injury. Human Movement Science. 2021; 78:102805. [DOI:10.1016/j.humov.2021.102805] [PMID]

[37] Widenhoefer TL, Miller TM, Weigand MS, Watkins EA, Almonroeder TG. Training rugby athletes with an external attentional focus promotes more automatic adaptions in landing forces. Sports Biomechanics. 2019; 18(2):163-73. [DOI:10.1080/14763141.2019.1584237] [PMID]

[38] Diekfuss JA, Rhea CK, Schmitz RJ, Grooms DR, Wilkins RW, Slutsky AB, et al. The influence of attentional focus on balance control over seven days of training. Journal of Motor Behavior. 2019; 51(3):281-92. [DOI:10.1080/00222895.2018.1468312] [PMID]

[39] Boden BP, Torg JS, Knowles SB, Hewett TE. Video analysis of anterior cruciate ligament injury: Abnormalities in hip and ankle kinematics. The American Journal of Sports Medicine. 2009; 37(2):252-9. [DOI:10.1177/0363546508328107] [PMID]

[40] Harty CM, DuPont CE, Chmielewski TL, Mizner RL. Intertask comparison of frontal plane knee position and moment in female athletes during three distinct movement tasks. Scandinavian Journal Of Medicine & Science in Sports. 2011; 21(1):98-105. [DOI:10.1111/j.1600-0838.2009.01022.x] [PMID]

[41] Fong CM, Blackburn JT, Norcross MF, McGrath M, Padua DA. Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. Journal of Athletic Training. 2011; 46(1):5-10. [DOI:10.4085/1062-6050-46.1.5] [PMID] [PMCID]

[42] Shultz SJ, Schmitz RJ, Benjaminse A, Collins M, Ford K, Kulas AS. ACL research retreat VII: An update on anterior cruciate ligament injury risk factor identification, screening, and prevention. Journal of Athletic Training. 2015; 50(10):1076-93. [DOI:10.4085/1062-6050-50.10.06] [PMID] [PMCID]

[43] Blackburn JT, Padua DA. Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. Journal of Athletic Training. 2009; 44(2):174-9. [DOI:10.4085/1062-6050-44.2.174] [PMID] [PMCID]

[44] Schöllhorn WI. Individualität-ein vernachlässigter Parameter. Mainz: Johannes Gutenberg University Mainz; 1999. [Link]

[45] Pan Z, Liu L, Ma Y. The effect of motor experience on knee stability and inter-joint coordination when cutting at different angles. The Knee. 2024; 48:207-16. [DOI:10.1016/j.knee.2024.04.004]

[46] McNair PJ, Marshall RN, Matheson JA. Important features associated with acute anterior cruciate ligament injury. The New Zealand Medical Journal. 1990; 103(901):537-9. [PMID]

[47] Chomiak J, Junge A, Peterson L, Dvorak J. Severe injuries in football players. Influencing factors. The American Journal of Sports Medicine. 2000; 28(5 Suppl):S58-68. [DOI:10.1177/28.suppl_5.s-58] [PMID]

[48] Powers CM. The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: A biomechanical perspective. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. 2010; 40(2):42-51. [DOI:10.2519/jospt.2010.3337] [PMID]

[49] Padua DA, Carcia CR, Arnold BL, Granata KP. Gender differences in leg stiffness and stiffness recruitment strategy during two-legged hopping. Journal of Motor Behavior. 2005; 37(2):111-25. [DOI:10.3200/JMBR.37.2.111-126] [PMID] [PMCID]

[50] Hollman JH, Ginos BE, Kozuchowski J, Vaughn AS, Krause DA, Youdas JW. Relationships between knee valgus, hip-muscle strength, and hip-muscle recruitment during a single-limb step-down. Journal of Sport Rehabilitation. 2009; 18(1):104-17. [DOI:10.1123/jsr.18.1.104] [PMID]

[51] Cashman GE. The effect of weak hip abductors or external rotators on knee valgus kinematics in healthy subjects: A systematic review. Journal of Sport Rehabilitation. 2012; 21(3):273-84. [DOI:10.1123/jsr.21.3.273] [PMID]

[52] Silvers HJ, Mandelbaum BR. ACL injury prevention in the athlete. Sport-Orthopädie. 2011; 27(1):18-26. DOI:10.1016/j.orthtr.2011.01.010]

[53] Hanson AM, Padua DA, Troy Blackburn J, Prentice WE, Hirth CJ. Muscle activation during side-step cutting maneuvers in male and female soccer athletes. Journal of Athletic Training. 2008; 43(2):133-43. [DOI:10.4085/1062-6050-43.2.133] [PMID] [PMCID]

[54] Harbourne RT, Stergiou N. Movement variability and the use of nonlinear tools: Principles to guide physical therapist practice. Physical Therapy. 2009; 89(3):267-82. [DOI:10.2522/ptj.20080130] [PMID] [PMCID]