

Review Paper



A Narrative Review on the Effect of Variability-Based Motor Learning Approaches on Kinetic and Kinematic Factors Related to Anterior Cruciate Ligament Injury in Athletes

*Majid Hamoongard¹, Malihe Hadadnezhad², Behzad Mohammadi Orangi³

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

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

1. Sports Science Department, Faculty of Humanities, Damghan University, Damghan, Iran.

Use your device to scan and
read the article online



Citation: Hamoongard M, Hadadnezhad M, Mohammadi Orangi B. A Narrative Review on the Effect of Variability-Based Motor Learning Approaches on Kinetic and Kinematic Factors Related to Anterior Cruciate Ligament Injury in Athletes (Persian). Journal of Sport Biomechanics.2025;10(4):276-293.
<https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.10.4.276>

<https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.10.4.276>



Article Info:

Received: 26 Jan. 2025

Accepted: 12 Feb. 2025

Available Online: 12 Feb. 2025

Keywords:

Nonlinear pedagogy,
Differential learning, ACL
tear, Kinematics and
Kinetics, Injury risk

ABSTRACT

Objective The risk of anterior cruciate ligament (ACL) injury in athletes can be reduced by incorporating motor learning approaches into injury prevention training programs. Therefore, this study aims to investigate the effect of variability-based motor learning approaches on kinetic and kinematic factors related to ACL injury in athletes.

Methods Searches were conducted in PubMed, Google Scholar, Scopus, Science Direct, and Elsevier databases for articles published between 2010 and 2024. The keywords ("ACL" OR "anterior cruciate ligament"), ("differential learning"), ("nonlinear pedagogy"), ("variability"), and ("biomechanics" OR "kinematics" OR "kinetics") were used independently and in combination.

Results After applying the inclusion and exclusion criteria, six studies were included in the final analysis. The results indicated that variability-based training, including differential and nonlinear learning, increased trunk and hip flexion, increased knee flexion, decreased knee valgus and abduction, and increased ankle dorsiflexion. Additionally, increased hip abduction and external rotation, increased ankle dorsiflexion moment, decreased knee valgus and abduction moments, and reduced ground reaction force were observed in athletes.

Conclusion Compared to differential learning, exercises based on nonlinear pedagogy more effectively improve biomechanical factors related to ACL injury in athletes. It is recommended that coaches and trainers incorporate variability-based approaches, particularly nonlinear pedagogy, to reduce injury risk, enhance rehabilitation programs, and improve ecological validity.

* Corresponding Author:

Majid Hamoongard

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

Tel: +98 (919) 9743862

E-mail: majidhamoongard@gmail.com

Extended Abstract

1. Introduction

Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is a common orthopedic injury affecting male and female athletes of all ages (1). ACL tears typically occur during jumping and landing, sudden changes in direction, and acceleration or deceleration (2). One of the primary contributors to ACL injury is the complexity and dynamic nature of sports. In sports, athletes perform complex movements under constraints related to the individual, the task, and the environment—such as varying conditions, the presence of a defender, and time limitations. Athletes must rapidly perceive and predict environmental information and respond accordingly (3). Studies that have employed movement learning approaches have demonstrated significant benefits compared to protocols that focus solely on athletes' physical characteristics, such as strength, balance, and neuromuscular control (4-7). Among these approaches, variability-based exercises, which aim to retrain high-level movement control, facilitate the discovery of new movement patterns based on constraints, and enhance movement transfer in athletes, may represent the missing link in injury prevention programs. The findings of the present study could contribute to the improvement of rehabilitation programs and the reduction of ACL injury risk. We hypothesize that variability-based approaches are more effective in enhancing the kinematic and kinetic factors associated with ACL injury compared to other movement learning approaches. Therefore, this study aims to investigate the effect of variability-based motor learning approaches on kinetic and kinematic factors related to ACL injury in athletes.

2. Methods

This systematic review was conducted in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) guidelines (8) and has been registered on the PROSPERO website under the code CRD42024617971. In the first step, articles published in reliable databases—including PubMed, Google Scholar, Scopus, Science Direct, Elsevier, and PEDro—between 2010 and 2024 were retrieved. The search was conducted using the following keywords: ("ACL" OR "Anterior cruciate ligament"), ("Differential learning"), ("Non-linear pedagogy"), ("Variability"), and ("Biomechanics" OR "Kinematics" OR "Kinetics"), both independently and in combination. For this review, studies were included if they combined variability-based strategies with injury prevention exercises or sport-specific skills. The inclusion criteria were as follows: clinical trial studies indexed in the specified databases, full-text, English-language articles (if the full text was unavailable, the corresponding author was contacted via email), and studies involving athletes as participants. Exclusion criteria included lack of access to the full text, review articles, non-research papers, duplicate studies, guidelines, and articles published in languages other than English. The eligibility of studies was assessed based on the PICOS model (Population, Intervention, Comparator, Outcome, Study type) (9).

3. Results

After searching based on the title of the studies, abstract, and inclusion and exclusion criteria, 60 articles were initially identified. Among these, 30 studies focused on the conceptual aspects of variability, 15 studies involved subjects in the children's age group, and 9 studies examined different variables. Ultimately, 6 studies met the inclusion criteria and were included in Fig. 1. The participants in these studies consisted of football players (10), basketball players (11-13), and athletes from a combination of basketball, volleyball, and handball (5, 14). Notably, one study included athletes with a history of ACL reconstruction (14). Regarding educational approaches, two studies compared linear, non-linear, and differential learning (10, 11), two studies compared linear and non-linear learning (12, 13), one study compared differential learning with visual-motor exercises (14), and another study compared differential learning with an external focus of attention and self-controlled learning (5). Regarding the training content, sport-specific skills were used in four studies (10-13), while injury prevention exercises were applied in two studies (5, 14). The kinematic variables examined in these studies included trunk flexion angle (10, 11, 13), hip flexion (5, 10, 11, 13, 14), knee flexion (5, 10, 11, 13, 14), knee valgus (10, 11, 13, 14), ankle dorsiflexion (10, 11, 13, 14), and knee abduction (5). The kinetic

variables analyzed were ground reaction force (5, 10-12, 14), knee extension/flexion moment (10-12), knee valgus moment (10-12), ankle dorsiflexion moment (10-12), hip abduction and external rotation moment (5), and knee abduction moment (5). Regarding the quality assessment of the included studies, four studies received a score of 9 (5, 10, 11, 14), while two studies received a score of 6 (12, 13).

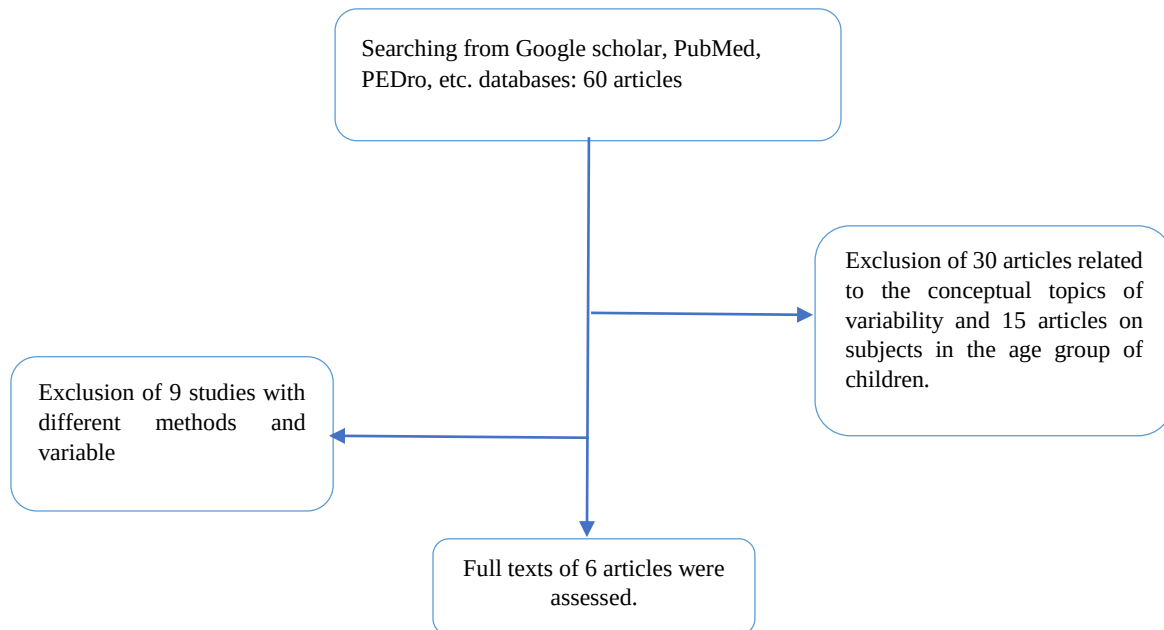


Fig. 1. Study selection steps

4. Conclusion

This study aimed to investigate the effect of variability-based movement learning approaches on kinetic and kinematic factors related to ACL injury in athletes. The results indicated that variability-based exercises, including differential and non-linear pedagogy, lead to several biomechanical improvements that can significantly reduce the risk of ACL injury. These improvements include increased trunk and hip flexion, increased knee flexion, decreased knee valgus and abduction, increased ankle dorsiflexion, increased abduction moment and external rotation of the hip, increased ankle dorsiflexion moment, decreased knee valgus and abduction moment, and reduced ground reaction force. Although the non-linear approach is often considered more effective than differential learning due to its emphasis on variability, flexibility, and exploration, there is no direct evidence demonstrating that participants in non-linear training exhibited more variability, flexibility, or exploration. This conclusion remains primarily theoretical (15). The non-linear approach does not emphasize achieving an ideal movement pattern; instead, it focuses on manipulating constraints related to the individual, task, and environment. This approach encourages movement variability, allowing athletes to independently explore and discover movement solutions rather than following rigid instructions. For example, exercises may involve jumping and landing on obstacles of different heights, manipulating the sensorimotor system (e.g., vision, hearing, proprioception), or altering movement paths to the left or right of obstacles (10). In this way, variability is semi-structured, as it is slightly guided by task constraints (16). On the other hand, in the differential learning method, variability is introduced through random fluctuations in performance, exposing athletes to as many movement solutions as possible. Unlike non-linear learning, repetition is not allowed, as the goal is to maximize exploration rather than reinforce a particular movement pattern (15).

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

There were no ethical considerations to be addressed in this research.

Funding

This research did not receive any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest associated with this article.

مقاله مروری

بررسی تأثیر رویکردهای یادگیری حرکتی مبتنی بر تغییرپذیری بر عوامل کینتیکی و کینماتیکی مرتبط با آسیب رباط صلیبی قدامی در ورزشکاران: مطالعه مروری روایتی

*مجید هامون گرد^۱، ملیحه حداد نژاد^۲، بهزاد محمدی اورنگی^۳

۱. گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، کرج، حصارک، ایران.

۲. گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران.

۳. گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران.

چکیده

هدف مشخص شده است به کارگیری رویکردهای یادگیری حرکتی در برنامه های تمرینی پیشگیری از آسیب می تواند باعث کاهش خطر آسیب رباط صلیبی قدامی (ACL) در ورزشکاران شود؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر رویکردهای یادگیری حرکتی مبتنی بر تغییرپذیری بر متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی مرتبط با آسیب ACL در ورزشکاران است.

روش ها جستجو در پایگاه های اطلاعاتی پابمد، گوگل اسکالر، اسکوپوس، ساینس دایرکت و الزویر در فاصله زمانی سال های ۲۰۱۰ الی ۲۰۲۴ انجام گردید. کلیدواژه های ("ACL" یا "Anterior cruciate ligament") و ("Differential learning") و ("Non-linear pedagogy") و ("Variability") و ("Biomechanics" یا "Kinematics" یا "Kinetics") به صورت مستقل و در ترکیب با هم به کار رفتند.

یافته ها پس از حذف مطالعات مطابق با ملاک های ورود و خروج، در نهایت تعداد ۶ مطالعه مورد بررسی نهایی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تمرینات مبتنی بر تغییرپذیری شامل یادگیری افتراقی و غیرخطی باعث افزایش فلکشن تنه و ران، افزایش فلکشن زانو، کاهش والگوس و ابداکشن زانو و افزایش دورسی فلکشن مچ پا می شود. همچنین افزایش گشتاور ابداکشن و چرخش خارجی ران، افزایش گشتاور دورسی فلکشن مچ پا، کاهش گشتاور والگوس و ابداکشن زانو و کاهش نیروی عکس العمل زمین در ورزشکاران مشاهده شد.

نتیجه گیری انجام تمرینات مبتنی بر یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری افتراقی باعث بهبود بیشتر فاکتورهای بیومکانیکی مرتبط با آسیب ACL در ورزشکاران می شود. پیشنهاد می شود مربیان به منظور کاهش خطر آسیب، بهبود برنامه های توان بخشی و همچنین بهبود اعتبار اکولوژیکی از رویکردهای مبتنی بر تغییرپذیری به ویژه یادگیری غیرخطی در تمرینات استفاده کنند.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۸ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۴ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۲۴ بهمن ۱۴۰۳

کلید واژه ها:

یادگیری غیرخطی، یادگیری افتراقی، پارگی رباط صلیبی قدامی، کینماتیک و کینتیک، کاهش خطر آسیب

*نویسنده مسئول:

مجید هامون گرد

آدرس: گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، کرج، حصارک، ایران.

تلفن: ۹۷۴۳۸۶۲ (۹۱۹) +۹۸

ایمیل: majidhamoongard@gmail.com

مقدمه

پارگی رباط صلیبی قدامی^۱ (ACL) یک آسیب بسیار شایع ارتوپدی است که ورزشکاران مرد و زن در همه گروه‌های سنی و با هر سطح از توانایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱). پارگی ACL معمولاً طی پرش و فرود، تغییر مسیرهای ناگهانی و افزایش و کاهش شتاب رخ می‌دهد. این آسیب باعث بی‌ثباتی زانو و تغییر استراتژی‌های کنترل حرکتی، اختلال حس عمقی و کاهش عملکرد می‌شود (۲). آسیب ACL عواقب کوتاه‌مدت و بلندمدتی را به دنبال دارد و باعث اختلالات مختلفی نظیر؛ بی‌ثباتی مکانیکی، تغییر کنترل عصبی-عضلانی، درد و تورم، ترس از حرکت، مهار آرتروژنیک^۲ عضلات و در درازمدت می‌تواند منجر به استوآرتریت شود (۳). درمانگران سعی کرده‌اند خطر آسیب را با اجرای برنامه‌های پیشگیری از آسیب به حداقل برسانند، با این حال موفقیت این برنامه‌ها اندک بوده است. در یک مطالعه میزان آسیب مجدد در ورزشکاران ۳۰ درصد نشان داده شد (۴).

از دید بیومکانیکی، کاهش فلکشن (خم شدن) ران و زانو، افزایش ابداکشن (دور شدن) زانو، اداکشن (نزدیک شدن) ران و فلکشن جانبی (خم شدن طرفی) تنه، افزایش چرخش داخلی ران، چرخش خارجی زانو و پرونیشن^۳ مچ پا منجر به ایجاد یک بد راستایی دینامیکی به نام والگوس زانو می‌شود که منجر به افزایش نرخ بارگذاری زانو و افزایش خطر پارگی ACL می‌شود (۵). کاهش زاویه دورسی فلکشن مچ پا و فلکشن ران، زانو و تنه منجر به فرود سفت می‌شود که یک عامل مؤثر در افزایش نیروی عکس‌العمل زمین و افزایش خطر آسیب ACL است (۶). تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که افزایش گشتاور ابداکشن زانو، گشتاور والگوس زانو، نیروی عکس‌العمل زمین و کاهش گشتاور فلکشن ران و زانو موجب افزایش خطر آسیب ACL می‌شود (۶، ۷).

یکی از عوامل اصلی آسیب ACL، پیچیدگی و ماهیت پویایی است که در ورزش وجود دارد. در ورزش حرکات پیچیده تحت محدودیت‌های فرد، تکلیف و محیط (شرایط مختلف، حضور مدافع، محدودیت زمانی) انجام می‌شوند و ورزشکار باید به سرعت اطلاعات محیطی را درک و پیش‌بینی کند و به آن پاسخ دهد (۸). ورزشکاران به‌ندرت در شرایط مسابقه یک مهارت یا الگوی حرکتی را بارها و بارها تکرار می‌کنند، بلکه محیط رقابت نیاز به عملکرد سریع و متغیر دارد (۹). یک آسیب غیر برخورداری ACL نتیجه مجموعه‌ای از حرکات خود سازمان یافته است که از تعامل با محدودیت‌های تغییرپذیر در کسری از ثانیه به وجود می‌آید (۱۰).

با توجه به شایع بودن آسیب‌های ورزشی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد ورزشکاران، شناسایی و استفاده از روش‌های نوین جهت کاهش خطر این آسیب‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این روش‌ها نه تنها باید بر جنبه‌های جسمانی بلکه بر جنبه‌های عصبی-شناختی و مهارتی نیز تمرکز داشته باشند (۱۱). نشان داده شده است که نقص در پردازش اطلاعات و ارتباطات عصبی شناختی در سیستم عصبی مرکزی قبل از وقوع آسیب ممکن است عامل خطر اصلی پارگی ACL باشد (۸). یکی از روش‌های کاهش خطر آسیب ترکیب رویکردهای یادگیری حرکتی با تمرینات پیشگیری از آسیب است. از جمله رویکردهای یادگیری حرکتی که در بهبود شاخص‌های بیومکانیکی (فلکشن تنه و ران، فلکشن زانو، والگوس و ابداکشن زانو، دورسی فلکشن مچ پا، گشتاور ابداکشن و چرخش خارجی ران، گشتاور دورسی فلکشن مچ پا، گشتاور والگوس و ابداکشن زانو، تغییرپذیری هماهنگی^۴ بین مفاصل و نیروی عکس‌العمل زمین) مرتبط با آسیب ACL موفق عمل کرده‌اند، شامل تمرکز داخلی و خارجی توجه (۱۲-۱۵)، تکالیف دوگانه (۱۶)، یادگیری افتراقی^۴ (۱۳، ۱۷-۱۹)، یادگیری خطی و یادگیری غیرخطی^۵ (۱۷، ۱۸)، بازخورد خودکنترلی (۱۴) و تمرینات بصری حرکتی (۱۹) بوده است.

1. Anterior cruciate ligament (ACL)
2. Arthrogenic inhibition
3. Coordination variability
4. Differential Learning
5. Non-linear Pedagogy

همچنین تأثیر مثبت یادگیری ضمنی (۲۰) و تمرینات دوتایی در ادبیات پژوهش در پیشگیری از آسیب ACL گزارش شده است (۲۱).

روش یادگیری خطی بر اساس دیدگاه شناختی استوار است که طبق آن، یادگیری حاصل تمرین و تکرار مداوم الگوی حرکتی بهینه و رسیدن به خودکاری است. در این دیدگاه تغییرپذیری^۱ به عنوان عاملی مضر برای یادگیری مهارت‌ها در نظر گرفته می‌شود و تأکید دارد که تمرین و یادگیری هر چه بیشتر مشابه با شرایط واقعی و هدف تکلیف باشد، مؤثرتر خواهد بود (۱۷، ۱۸). در رویکرد نوین برنامه‌های پیشگیری از آسیب، اعتبار و کارایی الگوی مکانیکی ایدئال مورد بحث است و به اثربخشی تغییرپذیری بیشتر پرداخته شده است (۸). در سال‌های اخیر، استفاده از رویکردهای یادگیری مبتنی بر تغییرپذیری توجه بسیاری از پژوهشگران و مربیان را به خود جلب کرده است. این رویکردها، برخلاف روش‌های سنتی تمرین، بر انطباق ورزشکار با محیط‌های متغیر و پویای مسابقه تمرکز دارند که می‌تواند باعث کاهش آسیب‌ها و بهبود عملکرد شود (۸، ۲۲).

روش‌های تمرینی که باعث تغییرپذیری در تمرینات می‌گردند، برای بهبود تطابق حرکتی توصیه می‌شوند. افزایش تغییرپذیری در تمرین باعث بهبود عملکرد شده و ممکن است خطر آسیب ACL را کاهش دهد. در رویکردهای تمرینی یادگیری غیرخطی و یادگیری افتراقی، تغییرپذیری جزو بخش‌های حیاتی فرآیند یادگیری است (۱۷). تغییرپذیری به توانایی فرد جهت انتخاب بهترین استراتژی حرکتی که متناسب با محدودیت‌های فرد، تکلیف و محیط باشد، گفته می‌شود. به دلیل وجود پیچیدگی ذاتی در ورزش، ممکن است پیچیدگی تکلیف و تغییرپذیری حرکت برای انتقال در تمرین، آماده‌سازی ورزشکاران و به حداقل رساندن خطر آسیب ACL ضروری باشد (۲۳). یک رویکرد مدرن کنترل حرکتی بر مبنای نظریه سیستم‌های پویا این است که الگوهای حرکتی ما به صورت خود سازمان‌دهی شده به الگوهای عملکردی بر اساس درک ما از محیط، تکلیفی که در تلاش برای انجام آن هستیم و وضعیت تک تک محرک‌ها سازمان‌دهی می‌شود (۲۴).

در رویکرد سیستم‌های پویا، تغییرپذیری در درجه آزادی بهینه حرکت و هماهنگی یا ایجاد ترکیبی از ثبات حرکتی و انعطاف‌پذیری و سازگاری در الگوهای حرکتی ما ضروری است (۲۵). برنامه‌های تمرینی ممکن است با به کار بردن سطوحی از پیچیدگی، آشنایی و تغییرپذیری، ورزشکاران را برای ماهیت پویای رقابت بهتر آماده کنند (۹). هرچه فرد در یک محیط اکتشافی و چالشی و متناسب با ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود تمرین کند، درجات آزادی بیشتری در سیستم عصبی وی در دسترس قرار می‌گیرد و این باعث ایجاد الگوهای حرکتی بهینه در شرایط مختلف می‌شود (۲۶). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که روش‌های یادگیری مبتنی بر تغییرپذیری می‌توانند با بهبود هماهنگی و انطباق ورزشکاران، تأثیرات چشمگیری در کاهش خطر آسیب‌های ACL داشته باشند (۱۹-۱۷). هدف این پژوهش، ارائه بینش عمیق‌تری در مورد اثربخشی این روش‌ها است.

در یادگیری خطی تغییرپذیری تکلیف به عنوان اختلال در نظر گرفته می‌شود و نامطلوب است. یادگیری خطی با استفاده از راهنمایی، بازخورد و تکرار به دنبال یک الگوی بیومکانیکی و حرکتی ایدئال برای همه افراد است و از تفاوت‌های فردی چشم‌پوشی می‌کند (۱۷). در یادگیری غیرخطی و افتراقی تغییرپذیری جهت کشف الگوهای حرکتی انعطاف‌پذیر فردی به منظور تطابق با محیط پیچیده، پویا و پیش‌بینی‌نشده ضروری است (۱۸). با این حال، در یادگیری غیرخطی، به جای دریافت بازخورد در رابطه با الگوی حرکتی ایدئال، بر دست‌کاری محدودیت‌ها تمرکز دارد، تکرار در آن مجاز است و تغییرپذیری فراگیرنده را به جستجوی راه‌حل‌های حرکتی فردی و هدفمند تشویق می‌کند تا ورزشکار راه‌حل حرکتی را خودش کشف کند (۲۴). در یادگیری افتراقی، تغییرپذیری به افزودن نوسانات

1. Variability

تصادفی به عملکرد جهت تجربه هر چه بیشتر راه‌حل‌های حرکتی ممکن کمک می‌کند. هدف تکلیف ممکن است وجود نداشته باشد و تکرار در آن مجاز نیست (۱۷).

مطالعاتی که از رویکردهای یادگیری حرکتی استفاده کرده‌اند، تأثیر چشمگیر این رویکردها در مقایسه با پروتکل‌هایی که تنها بر ویژگی‌های فیزیکی ورزشکاران مثل قدرت، تعادل، کنترل عصبی عضلانی و غیره تمرکز داشتند را گزارش کرده‌اند (۱۲-۱۵). به نظر می‌رسد در بین رویکردهای یادگیری حرکتی، تمرینات مبتنی بر تغییرپذیری به‌منظور بازآموزی کنترل حرکتی سطح بالا، کشف الگوهای حرکتی جدید مطابق با محدودیت‌ها و بهبود انتقال در ورزشکاران ممکن است حلقه گم‌شده یا شکاف موجود در برنامه‌های پیشگیری از آسیب باشد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند موجب بهبود برنامه‌های توان‌بخشی و کاهش خطر آسیب ACL می‌شود. فرضیه ما این می‌باشد که رویکردهای مبتنی بر تغییرپذیری در مقایسه با سایر رویکردهای یادگیری حرکتی در بهبود فاکتورهای کینماتیکی و کینتیکی آسیب ACL مؤثرتر می‌باشند؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر رویکردهای یادگیری حرکتی مبتنی بر تغییرپذیری بر عوامل کینتیکی و کینماتیکی مرتبط با آسیب ACL در ورزشکاران است.

روش شناسی

این مطالعه مروری سیستماتیک مطابق با موارد گزارش‌های ترجیحی برای مرورهای نظام‌مند و فراتحلیل پریسما (PRISMA 2020) انجام شد (۲۷) و دارای کد ثبت به شماره CRD42024617971 در سایت PROSPERO است. در گام اول، مقالات منتشر شده در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر شامل پابمد، گوگل اسکالر، اسکوپوس، ساینس دایرکت، الزویر و PEDro در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۲۴ بازبای گردید. کلیدواژه‌های ("ACL" یا "Anterior cruciate ligament") و ("Differential learning" و ("Non-linear pedagogy") و ("Variability") و ("Biomechanics" یا "Kinematics" یا "Kinetics") به‌صورت مستقل و در ترکیب با هم به کار رفتند. در پژوهش مروری حاضر، مقالاتی وارد شدند که از ترکیب استراتژی‌های مبتنی بر تغییرپذیری با تمرینات پیشگیری از آسیب یا مهارت‌های اختصاصی ورزش استفاده کرده بودند.

معیارهای ورود به مطالعه شامل مطالعات معتبر به زبان فارسی و مطالعات کارآزمایی بالینی که در بانک‌های اطلاعاتی مذکور نمایه شده بودند، مقالات بین‌المللی و مقالات انگلیسی‌زبان که به‌صورت تمام متن در دسترس بودند (در صورت عدم دسترسی، به نویسنده مسئول مقاله جهت دریافت تمام متن ایمیل زده می‌شد) و آزمودنی‌ها ورزشکاران بودند. معیارهای خروج از مطالعه شامل عدم دسترسی به تمام متن مقاله، مقالات مروری و غیرپژوهشی، کنفرانسی، مقالات تکراری، گایدلاین‌ها و منتشر شده به زبان‌های غیرانگلیسی و غیرفارسی بود. معیارهای ورود به مطالعه بر اساس مدل PICOS (بررسی شد (۲۸). آزمودنی‌ها: ورزشکاران رقابتی بزرگ‌تر از ۱۸ سال که بیش از ۶ ساعت در هفته ورزش می‌کنند و بر بهبود عملکرد و شرکت در مسابقات رسمی تأکید دارند (۲۹). مداخله: استراتژی‌های مبتنی بر تغییرپذیری در ترکیب با تمرینات پیشگیری از آسیب یا مهارت‌های ورزشی، گروه مقایسه شونده: گروه کنترل که از سایر رویکردهای یادگیری حرکتی استفاده کردند، متغیرها: فاکتورهای کینماتیکی (فلکشن تنه، ران و زانو، والگوس زانو، دورسی فلکشن مچ پا و ابداکشن زانو) و فاکتورهای کینتیکی (نیروی عکس‌العمل زمین، گشتاور اکستنشن/فلکشن زانو، گشتاور والگوس زانو، گشتاور دورسی فلکشن مچ پا، گشتاور ابداکشن و چرخش خارجی ران و گشتاور ابداکشن زانو) مرتبط با آسیب ACL و نوع مطالعات: کارآزمایی بالینی بودند. جستجوی متون به‌صورت مستقل توسط دو نویسنده انجام شد. در ابتدا عناوین مطالعات برای بررسی واجد شرایط بودن مورد ارزیابی قرار گرفتند، سپس چکیده مقالات با مرور سریع عنوان جهت انتخاب تمام متن مقالات برای

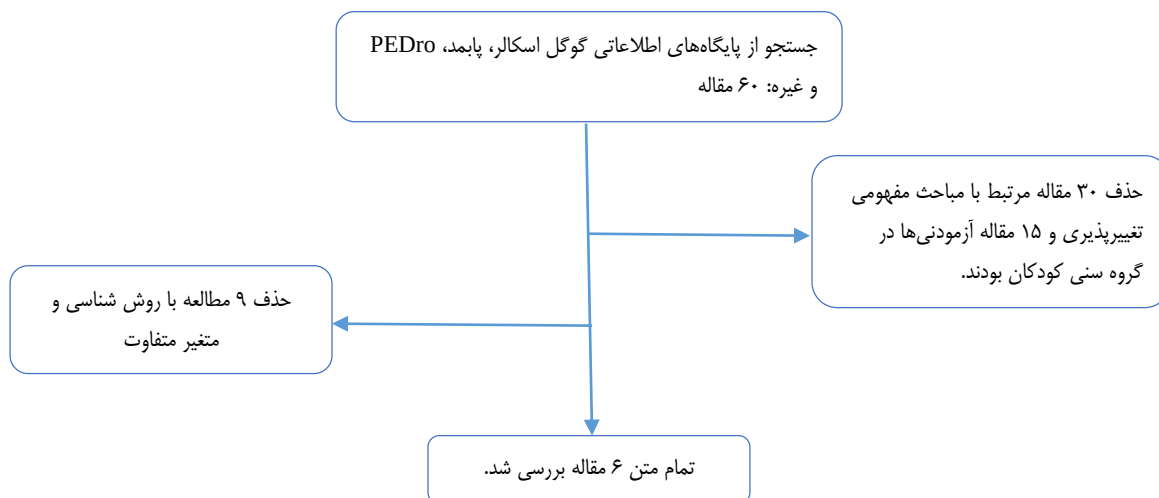
1. Population, Intervention, Comparator, Outcome, Study type (PICOS)

ورود به مطالعه طبق ملاک ورود و خروج مورد بررسی نهایی قرار گرفتند. در گام دوم، فهرست منابع همه مقالات به‌منظور یافتن مطالعات مشابه به‌صورت دستی و دقیق بررسی شد. درنهایت مطالعاتی وارد شدند که همه ملاک‌های ورود و خروج از مطالعه را برآورده می‌کردند. سؤال اصلی پژوهش حاضر این بود که آیا ترکیب استراتژی‌های مبتنی بر تغییرپذیری با مهارت‌های ورزشی و تمرینات پیشگیری از آسیب بر عوامل خطر آسیب ACL در ورزشکاران تأثیر دارد؟

نویسنده اول استخراج داده‌ها را به‌صورت مستقل انجام دادند. سپس نویسندگان دوم و سوم که تجربه بیشتری در این زمینه داشتند، اختلافات را حل کردند. مرور کنندگان نسبت به اطلاعات مربوط به نویسندگان، مجله یا نتایج هر مقاله بررسی شده توجهی نداشتند. جهت استخراج داده‌های مربوط به نوع مطالعه، سال انتشار، آزمودنی‌ها، مداخله دریافتی، متغیرهای بررسی شده و نتایج هر مطالعه از یک فرم استاندارد استفاده شد. همچنین کیفیت هر یک از مطالعات کارآزمایی بالینی توسط مقیاس PEDro ارزیابی شد. این مقیاس، یک چک‌لیست به‌منظور بررسی کیفیت مطالعات کارآزمایی بالینی می‌باشد. پاسخ هر آیت در جدول به‌صورت مثبت و منفی (رعایت یا عدم رعایت آیت مورد نظر) ثبت شد. هر نمره مثبت یک امتیاز دارد و نمره منفی امتیازی نخواهد داشت. همچنین پاسخ مثبت به سؤال نخست هم امتیازی نخواهد داشت. درنهایت مقالاتی وارد شدند که از لحاظ کیفیت امتیاز "مساوی یا بیشتر از ۵" را به دست می‌آوردند (۲).

نتایج

پس از جستجو بر اساس عنوان مطالعات، چکیده و ملاک‌های ورود و خروج تعداد ۶۰ مقاله یافت شد. از این تعداد، ۳۰ مطالعه مرتبط با مباحث مفهومی تغییرپذیری بودند، ۱۵ مطالعه آزمودنی در گروه سنی کودکان داشتند و ۹ مطالعه متغیرها متفاوت بود. درنهایت ۶ مطالعه وارد شدند (شکل ۱). آزمودنی‌های مطالعات شامل بازیکنان فوتبال (۱۸)، بسکتبال (۲۲، ۳۰، ۳۱) و ترکیبی از بازیکنان بسکتبال، والیبال و هندبال (۱۳، ۱۹) بودند. لازم به ذکر است در یک مطالعه ورزشکاران با سابقه بازسازی ACL بودند (۱۹).



شکل ۱. مراحل انتخاب مطالعات

در ارتباط با رویکردهای آموزشی در دو مطالعه مقایسه یادگیری خطی، غیرخطی و افتراقی (۲۲، ۱۸)، در دو مطالعه مقایسه یادگیری خطی و غیرخطی (۳۱، ۳۰) و در مطالعات دیگر مقایسه یادگیری افتراقی و تمرینات بصری حرکتی (۱۹) و مقایسه یادگیری افتراقی

با تمرکز خارجی توجه و یادگیری خودکنترلی (۱۳) انجام شده بود. در چهار مطالعه از مهارت‌های اختصاصی ورزش (۱۸، ۲۲، ۳۰، ۳۱) و در دو مطالعه از تمرینات پیشگیری از آسیب (۱۳، ۱۹) استفاده شده بود.

برای متغیرهای کینماتیکی، زاویه فلکشن تنه (۱۸، ۲۲، ۳۱)، فلکشن ران (۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۱)، فلکشن زانو (۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۱)، والگوس زانو (۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۱)، دورسی فلکشن مچ پا (۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۱)، ابداکشن زانو (۱۳) و برای متغیرهای کینتیکی، نیروی عکس‌العمل زمین (۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۰)، گشتاور اکستنشن / فلکشن زانو (۱۸، ۲۲، ۳۰)، گشتاور والگوس زانو (۱۸، ۲۲، ۳۰)، گشتاور دورسی فلکشن مچ پا (۱۸، ۲۲، ۳۰)، گشتاور ابداکشن و چرخش خارجی ران و گشتاور ابداکشن زانو (۱۳) بود (جدول ۱). در ارتباط کیفیت مطالعات وارد شده، چهار مطالعه امتیاز ۹ (۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲) و دو مطالعه امتیاز ۶ (۳۱، ۳۰) کسب کردند (جدول ۲).

کینماتیک و کینتیک تنه و ران

افزایش فلکشن تنه (۱۸، ۲۲، ۳۱) و ران (۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۱) و افزایش گشتاور ابداکشن و چرخش خارجی ران (۱۳) در گروه مبتنی بر استراتژی‌های تغییرپذیری در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد.

کینماتیک و کینتیک زانو

افزایش فلکشن (۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۱)، کاهش والگوس (۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۱)، کاهش ابداکشن (۱۳)، کاهش گشتاور اکستنشن (۱۸، ۲۲، ۳۰)، کاهش گشتاور والگوس (۱۸، ۲۲، ۳۰) و کاهش گشتاور ابداکشن (۱۳) در گروه مبتنی بر استراتژی‌های تغییرپذیری در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد.

کینماتیک و کینتیک مچ پا

افزایش دورسی فلکشن (۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۱) و گشتاور دورسی فلکشن (۱۸، ۲۲، ۳۰) و همچنین کاهش نیروی عکس‌العمل زمین (۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۳۰) در گروه مبتنی بر استراتژی‌های تغییرپذیری در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد.

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر رویکردهای یادگیری حرکتی مبتنی بر تغییرپذیری بر عوامل بیومکانیکی و متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی مرتبط با آسیب ACL در ورزشکاران بود. نتایج نشان داد که تمرینات مبتنی بر تغییرپذیری شامل یادگیری افتراقی و غیرخطی باعث افزایش فلکشن تنه و ران، افزایش فلکشن زانو، کاهش والگوس و ابداکشن زانو، افزایش دورسی فلکشن مچ پا، افزایش گشتاور ابداکشن و چرخش خارجی ران، افزایش گشتاور دورسی فلکشن مچ پا، کاهش گشتاور والگوس و ابداکشن زانو و کاهش نیروی عکس‌العمل زمین می‌شود و می‌تواند خطر وقوع آسیب ACL را به میزان زیادی کاهش دهد.

جدول ۱. مطالعات بررسی شده مطابق با شاخص PICOS

پژوهش	نام مجله و سال انتشار	آزمودنی‌ها	مداخله	متغیرها	نتایج
اورنگی و همکاران (۱۸)	Human Movement Science (۲۰۲۱)	۶۶ بازیکن فوتبال با میانگین سنی ۲۷/۵ سال به سه گروه خطی، غیر خطی و یادگیری افتراقی تقسیم شدند.	۱۲ هفته برنامه تمرینی اختصاصی فوتبال با استفاده از روش‌های یادگیری افتراقی، خطی و غیر خطی انجام شد.	متغیرهای کینماتیکی شامل زاویه پادگیری خطی در همه متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی عملکرد بهتری داشتند. تغییرات چشمگیری در اکثر متغیرهای کینماتیکی در گروه یادگیری غیر خطی در مقایسه با یادگیری افتراقی مشاهده شد. بالین حال، تغییرات در نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور اکستنشن/فلکشن زانو، والگوس زانو و دورسی فلکشن میچ پا در لحظه اوج نیروی عکس‌العمل زمین بود.	گروه یادگیری غیر خطی و افتراقی در مقایسه با یادگیری خطی در همه متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی عملکرد بهتری داشتند. تغییرات چشمگیری در اکثر متغیرهای کینماتیکی در گروه یادگیری غیر خطی در مقایسه با یادگیری افتراقی مشاهده شد. بالین حال، تغییرات در نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور اکستنشن/فلکشن زانو، والگوس زانو و دورسی فلکشن میچ پا بین یادگیری افتراقی و غیر خطی معنادار نبود.
اورنگی و همکاران (۲۲)	Research in Sports Medicine (۲۰۲۳)	۳۰ بازیکن بسکتبال با میانگین سنی ۲۷ سال به سه گروه خطی، غیر خطی و یادگیری افتراقی تقسیم شدند.	مهارت‌های اختصاصی بسکتبال در ترکیب با رویکردهای خطی، غیر خطی و یادگیری افتراقی به مدت ۵ ماه، ۶۰ جلسه و هر جلسه ۹۰ دقیقه انجام شد.	متغیرهای کینماتیکی شامل زوایای فلکشن تته، ران، زانو، والگوس و دینامیک زانو، دورسی فلکشن میچ پا و متغیرهای کینتیکی شامل اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور فلکشن/اکستنشن زانو، والگوس زانو و دورسی فلکشن میچ پا	گروه‌های یادگیری افتراقی و غیر خطی در مقایسه با رویکرد خطی در همه متغیرها بهبود چشمگیرتری داشتند. همچنین، رویکرد غیر خطی در مقایسه با یادگیری افتراقی عملکرد بهتری داشت.
قناتی و همکاران (۱۳)	International journal of environmental research and public health (۲۰۲۲)	۴۲ ورزشکار با میانگین سنی ۲۳ سال (بسکتبال، والیبال و هندبال) به چهار گروه یادگیری افتراقی، تمرکز خارجی توجه، بازخورد خودکنترلی و کنترل تقسیم شدند.	۸ هفته ترکیب استراتژی‌های یادگیری افتراقی، تمرکز خارجی توجه و بازخورد خودکنترلی با تمرینات عصبی عضلانی	متغیرهای کینماتیکی شامل اوج دورسی فلکشن میچ پا، فلکشن ران و زانو و ایداکشن زانو و متغیرهای کینتیکی شامل اوج نیروی عمودی و خلفی عکس‌العمل زمین، اوج گشتاور ایداکشن و چرخش خارجی ران و ایداکشن زانو بود.	گروه یادگیری افتراقی و تمرکز خارجی توجه در اوج فلکشن زانو، فلکشن ران، ایداکشن زانو، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور ایداکشن و چرخش خارجی ران، ایداکشن زانو، بازخورد خودکنترلی و تمرکز خارجی توجه در مقایسه با رویکرد خطی در همه متغیرها از جمله فلکشن ران و زانو، والگوس زانو، دورسی فلکشن میچ پا و نیروی عکس‌العمل زمین در مقایسه با گروه کنترل نشان دادند. بین گروه تمرینات بصری حرکتی و یادگیری افتراقی تفاوت معناداری وجود نداشت، بالین حال گروه یادگیری افتراقی عملکرد بهتری داشت.
غلامی و همکاران (۱۹)	Journal of clinical medicine (۲۰۲۳)	۴۵ ورزشکار (هندبال، والیبال و بسکتبال) با میانگین سنی ۲۸ سال با سابقه بازسازی رباط صلیبی قدامی به سه گروه تمرینات بصری حرکتی، یادگیری افتراقی و کنترل تقسیم شدند.	۸ هفته ترکیب تمرینات عصبی عضلانی با رویکردهای یادگیری افتراقی و تمرینات بصری حرکتی	نیروی عکس‌العمل زمین	تمرکز خارجی توجه داشت.

ادامه جدول ۱. مطالعات بررسی شده مطابق با شاخص PICOS

نتایج	متغیرها	مداخله	آزمودنی‌ها	نام مجله و سال انتشار	پژوهش
یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری خطی در همه متغیرها بهبود چشمگیرتری داشت.	یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری خطی در همه متغیرهای کینماتیکی بهبود چشمگیرتری داشت.	نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور فلکشن/اکستنشن زانو، گشتاور والگوس زانو و گشتاور دورسی‌فلکشن	۲ ماه هر هفته ۲ جلسه و مجموعاً ۱۶ جلسه در ۹۰ الی ۱۱۵ دقیقه تمرین یادگیری خطی و غیرخطی در ترکیب با مهارت‌های بسکتبال	Journal of Advanced Sport Technology (۲۰۲۲)	اورنگی و همکاران (۳۰)
			۲ ماه هر هفته ۲ جلسه و مجموعاً ۱۶ جلسه در ۹۰ الی ۱۱۵ دقیقه تمرین یادگیری خطی و غیرخطی در ترکیب با مهارت‌های بسکتبال	The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine (۲۰۲۲)	دهقانی و همکاران (۳۱)

جدول ۲. ارزیابی کیفیت مقالات مطابق با چک‌لیست PEDro

مقیاس PEDro	اورنگی و همکاران (۱۸)	اورنگی و همکاران (۲۲)	فغانی و همکاران (۱۳)	غلامی و همکاران (۱۹)	اورنگی و همکاران (۳۰)	دهقانی و همکاران (۳۱)
۱. معیارهای واجد شرایط بودن	+	+	+	+	+	+
۲. تخصیص تصادفی آزمودنی‌ها	+	+	+	+	+	+
۳. پنهان‌سازی تخصیص تصادفی	+	+	+	+	-	-
۴. گروه‌های مشابه در ابتدا	+	+	+	+	+	+
۵. کورسازی آزمودنی‌ها	-	-	-	-	-	-
۶. کورسازی درمانگر	+	+	+	+	-	-
۷. کورسازی ارزیاب	+	+	+	+	-	-
۸. بیش از یک متغیر کلیدی برای بیش از ۸۵ درصد از آزمودنی‌ها در ابتدا به گروه‌ها اختصاص داده شد.	+	+	+	+	+	+
۹. همه آزمودنی‌ها شرایط درمان یا کنترل را طبق تخصیص دریافت کردند، یا در مواردی که چنین نبود داده‌های حداقل یک متغیر کلیدی با "تحلیل به قصد دروغ" تجزیه و تحلیل شدند.	+	+	+	+	-	-
۱۰. نتایج مقایسه‌های آماری بین گروهی حداقل برای یک متغیر کلیدی گزارش شده است.	+	+	+	+	+	+
۱۱. مطالعه معیارهای نقطه‌ای و تغییرپذیری را برای حداقل یک متغیر کلیدی ارائه می‌دهد.	+	+	+	+	+	+
امتیاز کل	۹	۹	۹	۹	۶	۶

غلامی و همکاران (۳۲) به مقایسه تأثیر تمرینات بصری حرکتی و یادگیری افتراقی بر عملکرد فانکشنال و فاکتورهای بیومکانیکی و روان‌شناختی در ورزشکاران پس از بازسازی ACL پرداختند. تعداد ۴۵ ورزشکار (هندبال، والیبال و بسکتبال) با سابقه بازسازی ACL به سه گروه تمرینات بصری حرکتی، یادگیری افتراقی و کنترل تقسیم شدند. مداخلات به مدت ۸ هفته انجام شد. از آزمون فرود تک پا جهت جمع‌آوری داده‌های بیومکانیکی استفاده شد. زوایای فلکشن ران، زانو، دورسی‌فلکشن مچ پا، والگوس زانو و نیروی عکس‌العمل زمین مورد بررسی قرار گرفت. گروه تمرینات بصری حرکتی و یادگیری افتراقی بهبود چشمگیری در همه متغیرها در مقایسه با گروه کنترل نشان دادند. بین گروه تمرینات بصری حرکتی و یادگیری افتراقی تفاوت معناداری وجود نداشت، با این حال گروه یادگیری افتراقی عملکرد بهتری داشت (۳۲).

قناتی و همکاران (۱۳) به مقایسه تأثیر استراتژی‌های یادگیری افتراقی، بازخورد خودکنترلی و تمرکز خارجی توجه بر عوامل خطر بیومکانیکی آسیب ACL در ورزشکاران پرداختند. ورزشکاران (بسکتبال، والیبال و هندبال) به چهار گروه یادگیری افتراقی، تمرکز خارجی توجه، بازخورد خودکنترلی و کنترل تقسیم شدند. گروه یادگیری افتراقی و تمرکز خارجی توجه در اوج فلکشن زانو، فلکشن ران، ابداکشن زانو، اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور ابداکشن و چرخش خارجی ران بهبود چشمگیری داشتند. گروه یادگیری افتراقی علاوه بر بهبود چشمگیر در اوج زاویه دورسی‌فلکشن، عملکرد بهتری در مقایسه با تمرکز خارجی توجه داشت (۱۳). نتایج در این زمینه نیز نشان می‌دهد رویکرد یادگیری افتراقی در مقایسه با سایر رویکردهای یادگیری حرکتی اثربخشی بیشتری در بهبود فاکتورهای بیومکانیکی مرتبط با آسیب ACL دارد.

اورنگی و همکاران (۱۷) به مقایسه تأثیر رویکردهای خطی، غیرخطی و یادگیری افتراقی بر متغیرهای مرتبط با خطر آسیب ACL حین مانور برشی در بازیکنان بسکتبال پرداختند. ۳۰ بازیکن به سه گروه خطی، غیرخطی و یادگیری افتراقی تقسیم شدند. مهارت‌های اختصاصی بسکتبال در ترکیب با رویکردهای خطی، غیرخطی و یادگیری افتراقی به مدت ۵ ماه، ۶۰ جلسه و هر جلسه ۹۰ دقیقه انجام شد. متغیرهای کینماتیکی شامل زوایای فلکشن تنه، ران، زانو، والگوس دینامیک زانو، دورسی‌فلکشن مچ پا، دامنه حرکتی ران، زانو، مچ پا و متغیرهای کینتیکی شامل اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور فلکشن / اکستنشن زانو، والگوس زانو و دورسی‌فلکشن مچ پا مورد ارزیابی قرار گرفت. گروه‌های یادگیری افتراقی و غیرخطی در مقایسه با رویکرد خطی در همه متغیرها بهبود چشمگیرتری داشتند. همچنین، رویکرد غیرخطی در مقایسه با یادگیری افتراقی عملکرد بهتری داشت (۱۷).

در مطالعه دیگر اورنگی و همکاران (۱۸) به بررسی تأثیر رویکردهای خطی، غیرخطی و یادگیری افتراقی بر فاکتورهای کینماتیکی و کینتیکی مرتبط با آسیب غیربرخوردی ACL حین مانور برشی پیش‌بینی شده در بازیکنان فوتبال پرداختند. گروه یادگیری غیرخطی و افتراقی در مقایسه با یادگیری خطی در همه متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی عملکرد بهتری داشتند. تغییرات چشمگیری در اکثر متغیرهای کینماتیکی در گروه یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری افتراقی مشاهده شد. با این حال، تغییرات در نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور اکستنشن / فلکشن زانو، والگوس زانو و دورسی‌فلکشن مچ پا بین یادگیری افتراقی و غیرخطی معنادار نبود (۱۸).

همچنین اورنگی و همکاران (۳۰) به مقایسه تأثیر استراتژی یادگیری خطی و غیرخطی بر فاکتورهای کینتیکی بازیکنان بسکتبال پرداختند و به این نتیجه رسیدند که یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری خطی باعث بهبود چشمگیرتر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، گشتاور فلکشن / اکستنشن زانو، گشتاور والگوس زانو و گشتاور دورسی‌فلکشن مچ پا می‌شود (۳۰). دهقانی و همکاران (۳۱)

نیز نشان دادند استراتژی یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری خطی باعث بهبود چشمگیرتر زاویه فلکشن تنه، فلکشن ران، فلکشن زانو، والگوس زانو، دورسی فلکشن مچ پا در بازیکنان بسکتبال می‌شود (۳۱). پیشینه پژوهشی در زمینه استراتژی‌های یادگیری خطی، غیرخطی و افتراقی نشان می‌دهد یادگیری غیرخطی و افتراقی در مقایسه با یادگیری خطی اثربخشی بیشتری در بهبود فاکتورهای بیومکانیکی (متغیرهای کینماتیکی شامل زاویه فلکشن تنه، ران، زانو، والگوس زانو، دورسی فلکشن مچ پا و متغیرهای کینتیکی شامل اوج نیروی عکس‌العمل زمین، گشتاور اکستنشن/فلکشن زانو، والگوس زانو و دورسی فلکشن مچ پا در لحظه اوج نیروی عکس‌العمل زمین) مرتبط با آسیب ACL دارند. همچنین یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری افتراقی در این زمینه برتری دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که ادغام رویکردهای مبتنی بر تغییرپذیری در برنامه‌های آموزشی می‌تواند بهبودهای معناداری در کاهش آسیب‌های ورزشی ایجاد کند. با این حال، یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌های پژوهش در این مطالعات (۱۸، ۲۲، ۳۰، ۳۱) عدم وجود گروه کنترل است که مقایسه نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

اثربخشی بیشتر در بهبود فاکتورهای بیومکانیکی در یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری افتراقی به تغییرپذیری بهینه، انعطاف‌پذیری شناختی و اکتشاف راه‌حل‌های حرکتی جدید و منحصربه‌فرد در یادگیری غیرخطی نسبت داده شده است، اما این نتیجه‌گیری تنها بر مبنای مباحث تئوری است و نیازمند انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه است (۱۷). در یادگیری افتراقی و غیرخطی، نوع و تکرار تغییرپذیری متفاوت است. در رویکرد غیرخطی، به‌جای دریافت بازخورد در رابطه با الگوی حرکتی ایدئال، بر دست‌کاری محدودیت‌های فرد، تکلیف و محیط تمرکز دارد و تغییرپذیری فراگیرنده را به جستجوی راه‌حل‌های حرکتی فردی تشویق می‌کند، تکرار مجاز است و ورزشکار راه‌حل حرکتی را خودش کشف می‌کند. برای مثال، انجام پرش و فرود از روی موانع با ارتفاع مختلف، سطوح مختلف، دست‌کاری سیستم حسی حرکتی (بینایی، شنوایی و حس عمقی) و تغییر مسیر به سمت چپ یا راست موانع انجام شود (۱۸). به این ترتیب در یادگیری غیرخطی تغییرپذیری نیمه ساختاری است (توسط محدودیت‌های تکلیف اندکی هدایت می‌شود) (۳۳).

در مقابل در روش یادگیری افتراقی، تغییرپذیری به افزودن نوسانات تصادفی به عملکرد برای تجربه هر چه بیشتر راه‌حل‌های حرکتی ممکن کمک می‌کند و تکرار مجاز نیست. برای مثال، انجام تکلیف پرش و فرود به‌صورت دو پا، تک پا، با چشمان باز و بسته، در شرایط با و بدون خستگی و تغییر محل پرش و فرود به‌صورت متنوع و بدون تکرار انجام شود (۱۷). یادگیری افتراقی بیشتر بر الگوهای حرکتی متنوع و تصادفی تمرکز می‌کند (حداکثر تغییرپذیری و کشف راه‌حل‌های حرکتی جدید)، درحالی‌که یادگیری غیرخطی بر هدایت فراگیران در سازگاری با محدودیت‌های فردی و محیطی تمرکز دارد (۱۷، ۳۴). تغییرپذیری بیشتر امکان اکتشاف درجات آزادی را فراهم می‌کند تا بهینه‌ترین و کاربردی‌ترین راه‌حل حرکتی ایجاد شود. برای حل یک تکلیف حرکتی نظیر آنچه در ورزش وجود دارد، ورزشکار مسئول سازمان‌دهی این درجات آزادی جهت ایجاد رفتار حرکتی مناسب است (۹).

چالش کلیدی در تغییرپذیری، تشویق رفتارهای اکتشافی است. قرار دادن ورزشکاران در شرایط یادگیری اکتشافی یا افزایش تغییرپذیری تمرین ممکن است به آن‌ها اجازه اکتشاف دهد و طیف وسیعی از قابلیت‌های حرکتی جدید را توسعه بخشد (۳۳). با این حال، باید توجه داشت که متغیرهایی نظیر نوع ورزش، سطح مهارت ورزشکار و محیط تمرینی می‌توانند بر میزان اثربخشی این روش‌ها تأثیرگذار باشند و پژوهش‌های آینده باید به بررسی این عوامل در گروه‌های مختلف ورزشکاران بپردازند (۱۸). در نهایت سطح مطلوب تغییرپذیری بسته به نوع تکلیف متفاوت است. تغییرپذیری خیلی کم با افزایش فشار وارد بر بافتهای یکسان باعث بروز آسیب استفاده بیش‌ازحد می‌شود. همچنین تغییرپذیری بسیار زیاد با ایجاد حرکات ناآشنا، کنترل نشده و پرخطر احتمال آسیب‌های

حاد را افزایش می‌دهد (۳۵). افزایش تغییرپذیری در شرایط دردناک ممکن است روشی برای شناسایی نقطه با کم‌ترین درد توسط سیستم عصبی مرکزی باشد (۳۶).

در ارتباط با کاربرد بالینی پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود برنامه‌های توان‌بخشی و پیشگیری از آسیب ACL به‌منظور افزایش اعتبار اکولوژیکی و شبیه‌سازی محیط واقعی رقابت، تنوع و تغییرپذیری در تمرینات را در نظر گیرند و از هر دو رویکرد یادگیری افتراقی و غیرخطی به‌منظور بهبود فاکتورهای بیومکانیکی و کاهش خطر بروز آسیب ACL استفاده کنند. پژوهش حاضر همچون سایر مطالعات محدودیت‌هایی داشت، از جمله می‌توان به عدم وجود گروه کنترل در برخی از مطالعات، در نظر نگرفتن مطالعات غیر زبان انگلیسی و غیرفارسی و منابع خاکستری مثل پایان‌نامه‌ها اشاره کرد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به مقایسه تأثیر رویکردهای یادگیری غیرخطی و افتراقی همراه با وجود گروه کنترل در سایر گروه‌های ورزشکاران و با سابقه جراحی ACL بپردازند تا محدودیت مطالعات پیشین در زمینه تعمیم و اعتبار خارجی نتایج به گروه‌های مختلف برطرف شود.

نتیجه‌گیری نهایی

انجام تمرینات مبتنی بر یادگیری غیرخطی در مقایسه با یادگیری افتراقی باعث بهبود بیشتر فاکتورهای بیومکانیکی مرتبط با آسیب ACL از جمله افزایش فلکشن تنه و ران، افزایش فلکشن زانو، کاهش والگوس و ابداکشن زانو، افزایش دورسی‌فلکشن مچ پا، افزایش گشتاور ابداکشن و چرخش خارجی ران، افزایش گشتاور دورسی‌فلکشن مچ پا، کاهش گشتاور والگوس و ابداکشن زانو و کاهش نیروی عکس‌العمل زمین می‌شود. پیشنهاد می‌شود مربیان به‌منظور کاهش خطر آسیب ACL، بهبود برنامه‌های توان‌بخشی و همچنین بهبود اعتبار اکولوژیکی از رویکردهای مبتنی بر تغییرپذیری به‌ویژه یادگیری غیرخطی در تمرینات استفاده کنند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله از نوع مروری است و مستقیماً از هیچ نمونه انسانی در آن استفاده نشده است.

حامی مالی

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

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Wohl TR, Criss CR, Haggerty AL, Rush JL, Simon JE, Grooms DR. The Impact of Visual Perturbation Neuromuscular Training on Landing Mechanics and Neural Activity: A Pilot Study. *Int J Sports Phys Ther.* 2024;19(11):1333-1347. [DOI:10.26603/001c.123958] [PMID]
2. Hamoongard M, Letafatkar A, Thomas AC. The Effect of Neurocognitive Training on Biomechanical Risk Factors Related to Anterior Cruciate Ligament Injury in Athletes: A Narrative Review. *Journal of Sport Rehabilitation.* 2024;33(7):485-494. [DOI:10.1123/jsr.2023-0428] [PMID]
3. Grooms DR, Chaput M, Simon JE, Criss CR, Myer GD, Diekfuss JA. Combining Neurocognitive and Functional Tests to Improve Return to Sport Decisions Following ACL Reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 2023(0):1-14. [DOI:10.2519/jospt.2023.11489] [PMID]
4. Thomas ZM, Lupowitz L, Ivey M, Wilk KE. Neurocognitive and Neuromuscular Rehabilitation Techniques after ACL injury-Part 2: Maximizing Performance in the Advanced Return to Sport Phase. *International Journal of Sports Physical Therapy.* 2024;19(12):1629. [DOI:10.26603/001c.126270] [PMID]
5. Dingenen B, Malfait B, Vanrenterghem J, Robinson MA, Verschueren SM, Staes FF. Can two-dimensional measured peak sagittal plane excursions during drop vertical jumps help identify three-dimensional measured joint moments? *The Knee.* 2015;22(2):73-79. [DOI:10.1016/j.knee.2014.12.006] [PMID]
6. Rikken KT, Panneman T, Vercauteren F, Gokeler A, Benjaminse A. Increased Visual Attentional Demands Alter Lower Extremity Sidestep Cutting Kinematics in Male Basketball Players. *International Journal of Sports Physical Therapy.* 2024;19(11):1304. [DOI:10.26603/001c.124804] [PMID]
7. Bates NA, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Kinetic and kinematic differences between first and second landings of a drop vertical jump task: implications for injury risk assessments. *Clinical biomechanics.* 2013;28(4):459-466. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2013.02.013] [PMID]
8. Grooms DR, Bizzini M, Silvers-Granelli H, Benjaminse A. Neurocognitive & Ecological Motor Learning Considerations for the 11+ ACL Injury Prevention Program: A Commentary. *International Journal of Sports Physical Therapy.* 2024;19(11):1362. [DOI:10.26603/001c.123956] [PMID]
9. Dhawale AK, Smith MA, Ölveczky BP. The role of variability in motor learning. *Annual review of neuroscience.* 2017;40:479-498. [DOI:10.1146/annurev-neuro-072116-031548] [PMID]
10. Onate J, Herman D, Grooms D, Sutton Z, Wilkerson G. Neuroscience principles for ACL rehabilitation and reinjury risk reduction. *Return to Sport after ACL Reconstruction and Other Knee Operations: Limiting the Risk of Reinjury and Maximizing Athletic Performance.* 2019:359-381. [DOI:10.1007/978-3-030-22361-8_16]
11. Benjaminse A, Welling W, Otten B, Gokeler A. Novel methods of instruction in ACL injury prevention programs, a systematic review. *Physical therapy in Sport.* 2015;16(2):176-186. [DOI:10.1016/j.ptsp.2014.06.003] [PMID]
12. Dalvandpour N, Zareei M, Abbasi H, Abdoli B, Mohammadian MA, Rommers N, et al. Focus of attention during ACL injury prevention exercises affects improvements in jump-landing kinematics in soccer players: a randomized controlled trial. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2022;37(2):337-342. [DOI:10.1519/JSC.0000000000004201] [PMID]
13. 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]

14. 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. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2022;36(6):1568-1575. [DOI:10.1519/JSC.0000000000003681] [PMID]
15. Ghaderi M, Letafatkar A, Thomas AC, Keyhani S. Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized clinical trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2021;13(1):1-11. [DOI:10.1186/s13102-021-00275-3] [PMID]
16. 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 and Rehabilitation*. 2022;14(1):196. [DOI:10.1186/s13102-022-00593-0] [PMID]
17. Mohammadi Orangi B, Dehghani M, Jones PA. Manipulation of task constraints is the most effective motor learning method for reducing risk factors for ACL injury during side-step cutting in both male and female athletes. *Research in Sports Medicine*. 2024;32(4):631-647. [DOI:10.1080/15438627.2023.2209248] [PMID]
18. Orangi BM, Yaali R, Bahram A, Aghdasi MT, van der Kamp J, Vanrenterghem 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]
19. Gholami F, Letafatkar A, Moghadas Tabrizi Y, Gokeler A, Rossetini G, Ghanati HA, et al. Comparing the effects of differential and visuo-motor training on functional performance, biomechanical, and psychological factors in athletes after ACL reconstruction: A randomized controlled trial. *Journal of clinical medicine*. 2023;12(8):2845. [DOI:10.3390/jcm12082845] [PMID]
20. Farrow D, Abernethy B. Can anticipatory skills be learned through implicit video based perceptual training? *Journal of sports sciences*. 2002;20(6):471-485. [DOI:10.1080/02640410252925143] [PMID]
21. 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. *journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2015;45(3):170-182. [DOI:10.2519/jospt.2015.4986] [PMID]
22. Mohammadi Orangi B, Dehghani M, Jones PA. Manipulation of task constraints is the most effective motor learning method for reducing risk factors for ACL injury during side-step cutting in both male and female athletes. *Research in Sports Medicine*. 2024;32(4):631-647. [DOI:10.1080/15438627.2023.2209248] [PMID]
23. Buckthorpe M. Recommendations for movement re-training after ACL reconstruction. *Sports Medicine*. 2021;51(8):1601-1618. [DOI:10.1007/s40279-021-01454-5] [PMID]
24. Chow JY, Davids K, Hristovski R, Araújo D, Passos P. Nonlinear pedagogy: Learning design for self-organizing neurobiological systems. *New Ideas in Psychology*. 2011;29(2):189-200. [DOI:10.1016/j.newideapsych.2010.10.001]
25. Van Rossum JH. Schmidt's schema theory: The empirical base of the variability of practice hypothesis: A critical analysis. *Human movement science*. 1990;9(3-5):387-435. [DOI:10.1016/0167-9457(90)90010-B]
26. Gokeler A, Nijmeijer E, Heuvelmans P, Tak I, Ramponi C, Benjaminse A. Motor learning principles during rehabilitation after anterior cruciate ligament injury: Time to create an enriched environment to improve clinical outcome. *Arthroscopie*. 2023;36(3):164-70. [DOI:10.1007/s00142-023-00606-1]

27. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic reviews*. 2021;10(1):1-11. [DOI:10.1186/s13643-021-01626-4] [PMID]
28. Methley AM, Campbell S, Chew-Graham C, McNally R, Cheraghi-Sohi S. PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC health services research*. 2014;14(1):1-10. [DOI:10.1186/s12913-014-0579-0] [PMID]
29. McKinney J, Velghe J, Fee J, Isserow S, Drezner JA. Defining athletes and exercisers. *The American journal of cardiology*. 2019;123(3):532-5. [DOI:10.1016/j.amjcard.2018.11.001] [PMID]
30. Mohammadi Orangi B, Aghdasi M, Shahriarpour S. Comparison of the Effect of Linear and Nonlinear Pedagogy on Risk Factors of ACL Injury: Emphasis on Kinetic Variables in Basketball Landing. *Journal of Advanced Sport Technology*. 2022;6(2):136-145.
31. Dheghian M, Mohammadi Orangi B, Shahriarpour S. Comparing the Effects of Linear and Nonlinear Pedagogies on Kinematic Variables During a Landing Task Related to Anterior Cruciate Ligament injury. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2023;12(5):844-855. [DOI:10.32598/SJRM.12.5.2]
32. Gholami F, Letafatkar A, Moghadas Tabrizi Y, Gokeler A, Rossetini G, Ghanati HA, et al. Comparing the Effects of Differential and Visuo-Motor Training on Functional Performance, Biomechanical, and Psychological Factors in Athletes after ACL Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Journal of clinical medicine*. 2023;12(8):2845. [DOI:10.3390/jcm12082845] [PMID]
33. Chow JY. Nonlinear learning underpinning pedagogy: evidence, challenges, and implications. *Quest*. 2013;65(4):469-484. [DOI:10.1080/00336297.2013.807746]
34. Santos S, Coutinho D, Gonçalves B, Schöllhorn W, Sampaio J, Leite N. Differential learning as a key training approach to improve creative and tactical behavior in soccer. *Research quarterly for exercise and sport*. 2018;89(1):11-24. [DOI:10.1080/02701367.2017.1412063] [PMID]
35. Hamill J, Palmer C, Van Emmerik RE. Coordinative variability and overuse injury. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*. 2012;4:1-9. [DOI:10.1186/1758-2555-4-45] [PMID]
36. Heiderscheit BC, Hamill J, van Emmerik RE. Variability of stride characteristics and joint coordination among individuals with unilateral patellofemoral pain. *Journal of applied biomechanics*. 2002;18(2):110-121. [DOI:10.1123/jab.18.2.110]