

Research Paper

Comparing the Effects of Linear and Nonlinear Pedagogies on Kinematic Variables During a Landing Task Related to Anterior Cruciate Ligament injury



*Mahrokh Dheghian¹, Behzad Mohammadi Orangi², Saeedeh Shahriarpour³

1. Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Mohagegh Ardabili University, Iran.
2. Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University of Tehran, Iran.
3. Department of Rehabilitation, Faculty of Rehabilitation, Shahid Beheshti University, Tehran.



Citation 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 (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2023; 12(5):844-855. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.5.2>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.5.2>



ABSTRACT

Background and Aims In recent years, the use of motor learning training methods to reduce anterior cruciate ligament (ACL) injuries has been considered by researchers, and finding the best training method in this field has become very important. In this study, we aim to compare the effects of linear and non-linear motor learning methods on kinematic variables during a landing task.

Methods In this study, 24 students from Kharazmi University who were beginner basketball players, were selected by a convenience sampling method, and divided into two groups of linear pedagogy (LP) and non-linear pedagogy (NLP). They received training methods for two months, two sessions per week (each for 90-115 minutes). In the LP group, the presentation of movement patterns and feedback was used. In the NLP group, the manipulation of constraints (environmental factors and tasks) was used so that the individuals could discover their own unique performance. The measured kinematic variables were trunk flexion angle, hip flexion angle, knee flexion angle, knee valgus angle, ankle dorsiflexion angle, hip range of motion, knee range of motion, ankle range of motion, hip flexion range, and knee flexion range.

Results The results of the analysis of covariance showed that the NLP had significantly better effects on all kinematic variables compared to the LP ($P < 0.05$).

Conclusion The NLP, by focusing on exploration and finding optimal solutions, is a more effective strategy to prevent ACL injury by affecting kinematic variables. This emphasizes the role of constraint manipulation in training.

Keywords Linear learning method, Nonlinear learning method, Kinematic variables, Anterior cruciate ligament

Received: 24 Sep 2021

Accepted: 16 Oct 2021

Available Online: 23 Nov 2023

*** Corresponding Author:**

Mahrokh Dheghian, Associate Professor of Motor Behavior.

Address: Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Mohagegh Ardabili University, Iran.

Tel: +98 (914) 3544437

E-Mail: mahrokh.deghani@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

The knee joint is one of the largest joints in the body, whose ligaments are frequently injured in various sports. The most common knee injury is the anterior cruciate ligament (ACL) rupture, and about 70% of ACL ruptures occur due to non-contact mechanisms, such as cutting, pivoting, and landing movements in sports such as football, basketball, and handball. To reduce or prevent ACL damage, training methods, especially linear and non-linear methods, can be helpful. Studies have shown that the effect of non-linear pedagogy (NLP) on various variables is higher compared to linear pedagogy (LP). In the field of ACL injury, Mohammadi Orangi et al. [10] showed that the NLP was more effective than LP for ACL injury prevention. In their study, kinetic and kinematic variables were found to be effective factors in ACL injury prevention before and after training and in the cutting task. This is the only existing research in this field. Conducting a similar study using a landing task can expand the results of Mohammadi Orangi et al.' study [10]. Therefore, this study aims to compare the effect of LP and NLP on kinematic variables during a landing task to introduce an effective strategy to prevent ACL injury.

Materials and Methods

In this quasi-experimental study, the study population consists of all students of [Khorazmi University](#) in Tehran, Iran. The number of samples in two group of LP and NLP was 12 (24 in total) who were selected by a convenience sampling method. The samples were students aged 18-32 years who were beginner basketball players. Pre-test and post-test phases included the measurement of kinematic variables. The intervention included 16 training sessions, each for 90-115 minutes for two months.

To collect kinematic data, a 6-camera motion analysis system (Raptor-4 Digital Real Time System, United States) was used with an accuracy of 0.5 mm for translational motion and 0.5 degrees for rotation in a volume of 4×4 meters. For this purpose, 21 reflective markers with a diameter of 14 mm were installed according to the Vicon Plug-in-Gait marker set as well as trunk markers on the chest, clavicle, C7, T10 on the left and right sides. Using Cortex software version 2.5.0.1160, the kinematic data were recorded in the system. For performing the task, a step was placed in front of the person, and the person was asked to perform a single-leg landing from the step on their dominant foot. The height of the step was the same

for all the subjects, and each person performed the landing task three times, and the average score was considered as the final score. Each person was given a chance to practice the task once. The collected data were analyzed in MATLAB software.

Results

The results showed a significant difference between the two groups in all variables ($P < 0.05$). We found that the NLP group had significantly better scores than the LP group in all variables after training, since the knee joint angles had more flexion.

Conclusion

The results of this study emphasize the role of constraint manipulation in training and highlight the fact that NLP, by focusing on exploration and searching for optimal solutions, has more effect on kinematic variables.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles, such as obtaining informed consent from the participants, protecting their confidentiality, and giving them the right to leave the study, were considered in this research. Ethical approval was obtained from the Ethics Committee of [Kharazmi University](#) (Code: IR.KHU.REC.1398.032)

Funding

This study was extracted from a research project funded by the [University of Mohaghegh Ardabili](#).

Authors' contributions

Authors contributed equally to preparing this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all participants for their cooperation in this study.

This Page Intentionally Left Blank



مقاله پژوهشی

مقایسه تأثیر روش‌های خطی و غیرخطی بر متغیرهای کینماتیک در فرود: راهکاری برای پیشگیری از آسیب رباط صلیبی قدامی

* ماهرخ دهقانی^۱، بهزاد محمدی اورنگی^۲، سعیده شهریارپور^۳

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۳. گروه توانبخشی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.



Citation Dehghani 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 (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2023; 12(5):844-855. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.5.2>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.5.2>

چکیده



مقدمه و اهداف در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های آموزش یادگیری حرکتی برای کاهش پارگی لیگامان صلیبی قدامی مورد توجه محققین قرار گرفته است و یافتن بهترین شیوه آموزشی در این زمینه اهمیت و ضرورت فراوانی پیدا کرده است. در این مطالعه تأثیر روش‌های آموزش خطی و غیرخطی بر متغیرهای کینماتیک در فرود بسکتبال بررسی شد و تغییرات زوایای مفصلی از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها در این مطالعه ۲۴ دانشجوی مبتدی در بسکتبال از دانشگاه خوارزمی به روش در دسترس انتخاب و در ۲ گروه خطی و غیرخطی مهارت‌های بسکتبال را به مدت ۲ ماه، هر هفته ۲ جلسه (۹۰ تا ۱۱۵ دقیقه در هر جلسه) تمرین کردند. در روش خطی از ارائه الگو و بازخورد برای آموزش استفاده شد و در روش غیرخطی از دست‌کاری قیود بهره برده شد. به این صورت که عوامل محیطی و تکلیف دستکاری شد تا فرد خودش عملکرد منحصر به فرد خودش را کشف کند. متغیرهای مورد اندازه‌گیری شامل زاویه فلکشن تنه، زاویه فلکشن هیپ، زاویه فلکشن زانو، زاویه والگوس زانو، زاویه دورسی فلکشن مچ پا، دامنه حرکتی مچ پا، دامنه فلکشن هیپ و دامنه فلکشن زانو بودند.

یافته‌ها نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد روش غیرخطی به‌طور معناداری تأثیر بهتری بر همه متغیرهای کینماتیکی در مقایسه با روش خطی دارد ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری نتایج این مطالعه روش غیرخطی را استراتژی مؤثری در محیط‌های بالینی می‌داند و بر نقش دست‌کاری قیود در تمرین و یادگیری تأکید می‌کند و این نکته را برجسته می‌کند که روش‌های غیرخطی با تمرکز بر اکتشاف و جست‌وجوی راه‌حل، برای پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی با تأثیر بر متغیرهای کینماتیکی مؤثر است.

کلیدواژه‌ها روش آموزش خطی، روش آموزش غیرخطی، متغیرهای کینماتیکی، لیگامان صلیبی قدامی

تاریخ دریافت: ۰۲ مهر ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۲۴ مهر ۱۴۰۰

تاریخ انتشار: ۱۰ آبان ۱۴۰۲

* نویسنده مسئول:

دکتر ماهرخ دهقانی

نشانی: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه رفتار حرکتی.

تلفن: ۳۵۴۴۳۲۷ (۹۱۴) ۹۸+

رایانامه: mahrokh.dehghani@yahoo.com

مقدمه

از این رو این رویکرد تغییرپذیری را در تمرین مفید می‌داند و بیان می‌کند که هیچ ۲ حرکتی در محیط واقعی شبیه به هم نیستند و هر حرکتی متناسب با تعامل قیود، پاسخ منحصر به فرد خودش را خواهد داشت، از این رو یک فرد هر چقدر در یک محیط اکتشافی و چالشی متناسب با ویژگی‌های منحصر به فرد خود تمرین کند از درجات آزادی بیشتری در سیستم عصبی او بهره‌برداری می‌شود و این به بروز حرکات مناسب در محیط‌های گوناگون منجر می‌شود و از آسیب ناشی از تمرینات دیگته‌شده جلوگیری می‌کند [۸]. طرفداران این روش آموزش، متناسب با شرایط تمرینی آن ادعا می‌کنند در این رویکرد قرارگیری فرد در یک محیط اکتشافی انگیزه او را برای کشف الگوی حرکتی متناسب با ویژگی‌های بدنی منحصر به فرد خود بیشتر می‌کند. از این رو این روش لذت‌بخش است و با جلوگیری از اعمال فشارهای تمرینی اضافه بر فرد از آسیب دیدگی او جلوگیری می‌کند و فرد را برای ادامه تلاش در مسیر هدف سوق می‌دهد [۶].

در بررسی پیشینه مربوط به مقایسه روش‌های خطی و غیرخطی، مطالعات نشان می‌دهند که تأثیر روش غیرخطی بر متغیرهای گوناگون بهتر از روش خطی است [۹-۱۲]. در زمینه پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی هم محمدی اورنگی و همکاران نشان دادند روش غیرخطی در مقایسه با روش خطی برای پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی مؤثرتر است [۱۳]. در آن مطالعه متغیرهای کننتیکی و کینماتیکی به عنوان عوامل مؤثر بر پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی قبل و بعد از تمرین و در تکلیف برش ارزیابی شدند و نتایج آن‌ها نشان داد برای پیشگیری از این آسیب روش غیرخطی بهتر از روش خطی عمل می‌کند. باین حال مطالعه محمدی اورنگی و همکاران تنها تحقیق موجود در این زمینه است و براساس پیشنهاد مشخص نویسندگان آن مطالعه انجام چنین مطالعه‌ای برای تکلیفی مانند فرود، نتایج مطالعه قبلی را گسترش می‌دهد و برای مربیان در جهت تصمیم‌گیری بهتر کمک‌کننده است. بنابراین هدف این مطالعه مقایسه تأثیر روش‌های خطی و غیرخطی بر متغیرهای کینماتیک در فرود بسکتبال است تا از طریق آن راهکار مؤثری برای پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی معرفی شود.

مواد و روش‌ها

راهبرد پژوهش حاضر آزمایشی از نوع نیمه تجربی، طرح تحقیق مقطعی و مقایسه‌ای و روش تحقیق بالینی است. جامعه آماری تحقیق را کلیه دانشجویان دانشگاه خوارزمی تهران تشکیل دادند و نمونه آماری برای هریک از گروه‌های آموزشی ۱۲ (۲۴ نفر در کل) نفر بود که به روش در دسترس انتخاب شدند. این افراد همگی دانشجوی بودند و سن آن‌ها بین ۱۸ تا ۳۲ سال بود و همچنین همگی در بسکتبال مبتدی بودند. معیار مبتدی بودن: ۱. پرسش از شرکت‌کننده در پرسش‌نامه اطلاعات فردی؛ ۲. پاس نکردن واحد بسکتبال براساس پرینت ریزنمرات.

مفصل زانو یکی از بزرگ‌ترین مفاصل بدن است که لیگامان‌های آن به کرات در حرکات ورزشی مختلف صدمه می‌بینند. شایع‌ترین آسیب لیگامانی زانو، پارگی لیگامان صلیبی قدامی^۱ است [۱] و مکانیسم آن حدود ۷۰ درصد به صورت غیربرخوردی مانند حرکات برشی و چرخشی و فرود در ورزش‌هایی مثل فوتبال، بسکتبال و هندبال است که مستعد فرود و چرخش هستند [۲]. نقص و پارگی لیگامان صلیبی قدامی تأثیر شدیدی بر پایداری استاتیکی و دینامیکی زانو و اندام تحتانی و همچنین عملکرد ورزشی فرد می‌گذارد [۳]. از این رو تلاش برای کاهش پارگی لیگامان صلیبی قدامی و یا کمک به پیشگیری از این آسیب اهمیت فراوانی دارد.

یکی از راه‌های کاهش پارگی لیگامان صلیبی قدامی استفاده از روش‌های آموزش یادگیری حرکتی است. در این راستا بنجامین و همکاران نشان دادند شیوه‌های آموزشی مبتنی بر یادگیری حرکتی برای پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی در ورزشکاران بسکتبال مناسب است [۴]. باین حال هنوز به طور کامل مشخص نیست که آیا این استراتژی‌ها بهترین شیوه برای پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی است یا نه [۵] چرا که در یادگیری حرکتی روش‌های آموزش جدیدتری نیز مطرح است که در ابعاد مختلف بر عملکرد حرکتی مفید هستند [۶] و ادعا می‌شود برای پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی مفید باشند.

از روش‌های جدید آموزش در یادگیری حرکتی می‌توان به روش‌های خطی و غیرخطی اشاره کرد. روش خطی از دیدگاه شناختی نشئت می‌گیرد که یادگیری را حاصل شکل‌گیری رد ادراکی از الگوی حرکت در ذهن می‌داند که در نتیجه تمرین و تکرار همان الگوی رد ادراکی شکل گرفته تقویت می‌شود و فرد در حرکت به خودکاری می‌رسد؛ زیرا این دیدگاه تغییرپذیری را برای مهارت مضر می‌داند و بیان می‌کند که یادگیری هر چقدر نزدیک به محیط واقعی و تکلیف هدف تمرین شود نتیجه بهتری خواهد داشت [۷]. در این رویکرد چون تأکید بر ارائه الگوی بهینه است روش‌های آموزش آن نیز خطی است، یعنی فرد با تکرار الگوی حرکتی مطرح‌شده سعی در خودکاری دارد و مربی در طول فرایند یادگیری با ارائه بازخورد سعی در تقویت یادگیری فرد دارد و با پیشرفت فرد در تمرین از ارائه بازخورد کاسته می‌شود [۷]. در مقابل روش خطی، روش غیرخطی قرار می‌گیرد که از دیدگاه پویایی بوم‌شناختی نشئت می‌گیرد. در این دیدگاه چنین مطرح می‌شود که یادگیری به صورت مستقیم از ادراک فرد درباره محیط صورت می‌گیرد، به عبارت دیگر قرارگیری در محیط واقعی و تعامل قیود حاصل از محیط و توانایی‌های فرد به اجرای حرکت و یادگیری منجر می‌شود [۶] که فرد با قرارگیری در محیط و حل چالش‌های پیش‌رو به رشد و یادگیری دست پیدا می‌کند [۶].

1. Anterior Cruciate Ligament (ACL)

دلیل اینکه این تعداد انتخاب شد این بود که در صورت نیاز به بازی هر گروه بتواند در ۲ تیم مساوی بازی کنند [۱۳].

معیارهای ورود به مطالعه

۱. سلامت آزمودنی‌ها در زمان اجرای آزمون‌ها؛ ۲. عدم آسیب‌دیدگی در اندام تحتانی.

معیارهای خروج از مطالعه

۱. عدم همکاری در زمان مداخله و یا آزمون؛ ۲. عدم رضایت از مداخله و یا شرایط آزمون.

همچنین هیچ‌یک از آزمودنی‌های سابقه جراحی در اندام تحتانی و مشکلات پزشکی یا عصبی نداشتند. این مطالعه شامل پیش‌آزمون، شامل اندازه‌گیری متغیرهای کینماتیکی در یکی از آزمایشگاه‌های شهر تهران بود. مداخله نیز شامل ۱۶ جلسه تمرین و پس‌آزمون مشابه با پیش‌آزمون بود. قبل از انجام پژوهش پروپوزال این کار در دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه تربیت‌بدنی **دانشگاه محقق اردبیلی** تصویب و مجوزهای لازم برای انجام گرفته شد. همچنین قبل از شروع فرایند تحقیق کد اخلاق برای این مطالعه دریافت شد. برای جمع‌آوری داده‌های کینماتیک از یک سیستم تجزیه و تحلیل حرکت ۶ دوربین^۲، ساخت کشور آمریکا (کالیفرنیا) با دقت ۰/۵ میلی‌متر حرکت انتقالی و ۰/۵ درجه دوران در حجم ۴×۴ متر استفاده شد [۱۴]. همچنین با استفاده از نرم‌افزار Cortex (۲/۵/۰/۱۱۶۰) اطلاعات کینماتیک آزمودنی‌ها در سیستم ثبت شد. این نرم‌افزار اطلاعاتی که از دوربین‌ها دریافت می‌شد را در سیستم کامپیوتری ثبت می‌کرد. اطلاعات در نرم‌افزار اکسل متناسب با روش‌های آماری مناسب تحلیل شدند. برای جمع‌آوری این اطلاعات یک استپ در مقابل فرد قرار داده شد و از فرد خواسته شد تا با پای برتر

2. Raptor-4DigitalRealTimeSystem

جدول ۱. تفاوت‌های تمرینی در ۲ روش آموزش خطی و غیرخطی

روش	قوانین	خطی	غیرخطی
هدف	هدف مشخص است و آزمودنی باید به آن برسد.	هدف مشخص است و آزمودنی باید به آن برسد.	هدف مشخص است و آزمودنی باید به آن برسد.
الگو	یک الگوی ایستال وجود دارد که آزمودنی باید آن را انجام بدهد.	هیچ الگوی بهینه یا ایستال وجود ندارد.	هیچ الگوی بهینه یا ایستال وجود ندارد.
توصیف	توصیف چگونگی عملکرد و چگونگی انجام آن مجاز است و حتی نمایش داده می‌شود.	توصیف چگونگی انجام عمل وجود ندارد، اما چگونگی عملکرد ممکن است باشد.	توصیف چگونگی انجام عمل وجود ندارد، اما چگونگی عملکرد ممکن است باشد.
تکرار	تکرار وجود دارد.	تکرار وجود دارد.	تکرار وجود دارد.
تغییرپذیری	تغییرپذیری براساس تغییر فواصل تمرین است.	تغییرپذیری با دست‌کاری قیود و اضافه کردن محدودیت‌ها انجام می‌شود.	تغییرپذیری با دست‌کاری قیود و اضافه کردن محدودیت‌ها انجام می‌شود.
بازخورد	بازخورد داده می‌شود.	بازخورد داده نمی‌شود.	بازخورد داده نمی‌شود.
دستورالعمل	دستورالعمل برای رسیدن به الگوی ایستال است.	دستورالعمل برای تعیین حجومرز داده می‌شود، مثلاً گفته می‌شود شما نمی‌توانید از یک خط مشخص جلوتر بروید.	دستورالعمل برای تعیین حجومرز داده می‌شود، مثلاً گفته می‌شود شما نمی‌توانید از یک خط مشخص جلوتر بروید.

کلی. مثلاً در تکلیف پاس فرد علاوه بر اینکه فاصله‌های مختلف را تمرین می‌کرد توپ‌هایی با اندازه و وزن متفاوت در اختیارش قرار داده شد تا متناسب با ویژگی بدنی خود توپ را انتخاب و تمرین کند. درواقع محیط برای رسیدن بر اهداف تمرینی متناسب با ویژگی‌های تک‌تک افراد طراحی شد [۱۹]. برای این کار قبل از تمرین، ویژگی‌های بدنی از قبیل قد، وزن و سایر ویژگی‌های مؤثر بر طراحی تمرین اندازه‌گیری شدند. ازاین‌رو برای رسیدن به اهداف تمرینی، محیط متناسب با ویژگی‌های بدنی هر فرد طراحی شد. تصور می‌شد در این روش تمرینی، فرد الگوی غالب متناسب با ویژگی خودش را پیدا خواهد کرد [۶]. درنهایت پس از آزمون مشابه با پیش‌آزمون در همه متغیرها ارزیابی شد. هر ۲ روش آموزش در تحقیقات اخیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. داده‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ تحلیل شدند. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگوروف اسمیرنوف^{۱۳} در سطح ۰/۰۵ استفاده شد. برای مقایسه اطلاعات جمعیت‌شناختی ۲ گروه از آزمون تی مستقل^{۱۴} استفاده شد و برای بررسی اثر تمرین بر متغیرهای وابسته و اینکه تشخیص دهیم کدام گروه بهتر است از تحلیل کوواریانس^{۱۵} در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج آزمون کولموگوروف اسمیرنوف نشان داد داده‌ها نرمال هستند ($P > 0/05$). اطلاعات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها در **جدول شماره ۲** آمده است. همان‌طور که مشخص است بین ۲ گروه در اطلاعات جمعیت‌شناختی تفاوت معناداری وجود ندارد.

همان‌طور که در **جدول شماره ۳** مشخص است نتایج نشان داد برای همه متغیرها اختلاف معناداری بین ۲ گروه آموزشی وجود دارد ($P < 0/05$). با بررسی میانگین بین گروه‌ها در پیش و پس‌آزمون که در **تصویر شماره ۱** آمده است متوجه می‌شویم که گروه غیرخطی پس از تمرین در مقایسه با گروه خطی در همه متغیرها به‌طور معناداری بهتر از گروه خطی بوده است. به این صورت که زوایای مفصلی فلکشن بیشتری داشته است.

13. Kolmogorov-Smirnov
14. Independent sample t test
15. ANCOVA

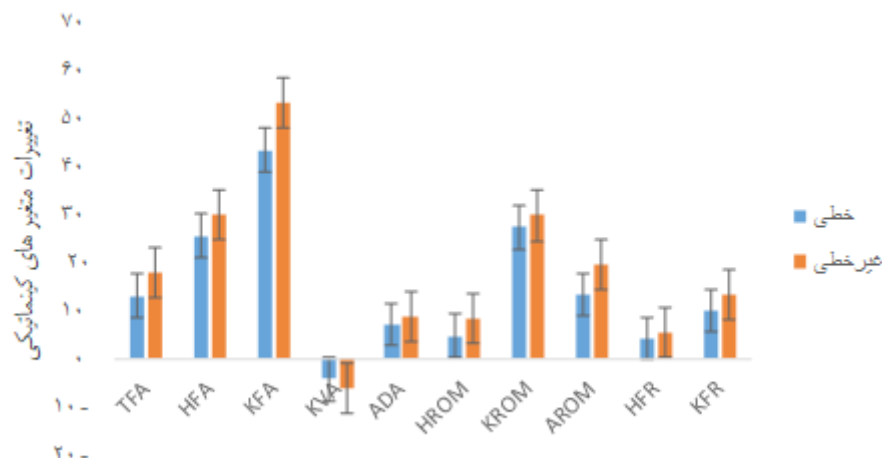
Plug-in-Gait و با نشانگرهای تنه‌ای بر روی سینه، کلاویکال، C7، T10 در چپ و راست نصب شدند [۴]. همه افراد شورت ورزشی و تی‌شرت ورزشی داشتند [۴]. سپس به‌منظور تعیین پای برتر و غیربرتر هر آزمودنی، توپی در مقابل آن‌ها قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد با پای خود آن را به دورترین مکان ممکن شوت کنند. پایی که آزمودنی توپ را با آن شوت می‌کند، به‌عنوان پای برتر و پایی که ترجیح می‌داد برای ضربه روی آن بایستد و از پای ضربه زنده حمایت کند، به‌عنوان پای غیر برتر او در نظر گرفته شد و نتایج ثبت شد [۱۵-۱۷]. پس از آن شرکت‌کنندگان با پای برتر خودشان فرود را از روی استپ انجام می‌دادند. این مراحل در پیش و پس‌آزمون یکسان بود. در این مطالعه شرکت‌کنندگان در یک دوره ۲ ماهه هر هفته ۲ جلسه (۱۶ جلسه) و هر جلسه ۹۰ تا ۱۱۵ دقیقه [۱۸] تمرین کردند.

در **جدول شماره ۱** تفاوت‌هایی که بین روش تمرینی خطی و غیرخطی وجود دارد و در مطالعات قبلی نیز به آن‌ها تأکید شده است [۹، ۱۳، ۱۷]، آورده شده است و در این مطالعه نیز مداخلات متناسب با این تفاوت‌ها پیش رفت. باین‌حال و به‌طور کلی در روش آموزش خطی، هریک از مهارت‌های بسکتبال به‌صورت مجزا تمرین شدند و درنهایت به‌صورت بازی درآوردند. در این شیوه مربی الگوی ایدئال را به اجراکنندگان معرفی کرد و از آن‌ها خواست که این الگو را تکرار کنند. چراکه مطالعات اخیر بازخورد بینایی را نسبت به بازخورد کلامی در معرفی الگو مناسب می‌دانند [۴]. در این روش آموزش، بازخورد جزئی به هر عمل داده شد. مثلاً در پاس دادن گفته شد توپ در چه فاصله از سینه باشد و شیوه قرارگیری دست چگونه باشد. در این روش همه مطالبی که در الگوی ایدئال باید در نظر گرفته می‌شد توسط مربی در نظر گرفته شد و قبل از شروع نیز خودش الگوی ایدئال را به آزمودنی‌ها نمایش داد. در این روش آموزش همه فراگیران الگوی ایدئال را در یک تمرین ثابت مثلاً پاس دادن به هم‌تیمی از فاصله ۲ متری تمرین کردند و سپس مهارت‌های دیگر تمرین شد [۶].

در روش آموزش غیرخطی هیچ الگوی ایدئالی به فرد داده نشد. به‌جای بازخورد جزئی، دستورالعمل کلی به عملکرد فرد داده شد. علاوه‌براین مربی در این روش فراگیر را در یک محیط اکتشافی متناسب با ویژگی‌های خود فرد تمرین داد نه به‌صورت

جدول ۲. اطلاعات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها (n=۱۲)

متغیر	میانگین \pm انحراف معیار		معناداری
	گروه خطی	گروه غیرخطی	
سن (سال)	۲۶/۲۱۴ \pm ۲/۵۰۴	۲۸/۱۹۷ \pm ۴/۳۵	۰/۹۶
وزن (کیلوگرم)	۷۹/۳۷۹ \pm ۲/۳۶۴	۷۹/۳۹۵ \pm ۴/۳۹۶	۰/۸۱
قد (سانتی‌متر)	۱۸۱/۵۰۱ \pm ۲/۵۸۸	۱۸۱/۹۱۶ \pm ۴/۹۲۱	۰/۱۲



طب توانبخش

تصویر ۱. تفاوت بین روش‌های خطی و غیرخطی در پس‌آزمون.

زاویه فلکشن تنه، زاویه فلکشن هیپ، زاویه فلکشن زانو، زاویه والگوس زانو، زاویه دورسی فلکشن مچ پا، دامنه حرکتی هیپ، دامنه حرکتی زانو، دامنه حرکتی مچ پا، دامنه فلکشن هیپ و دامنه فلکشن زانو

بحث

قدامی در روش غیرخطی جلوگیری می‌کند. گرچه مطالعات محدودی در این زمینه انجام شده است، اما نتایج مطالعه حاضر با مطالعه محمدی اورنگی و همکاران همسو است. در آن مطالعه نیز تأثیر روش‌های خطی و غیرخطی بر متغیرهای کینماتیکی بررسی شده بود و نتایج نشان داده بود روش غیرخطی برای کاهش زوایای مفصلی که مرتبط با پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی هستند بهتر از روش خطی است.

همان‌طور که مطرح شد نتایج این مطالعه نشان داد روش غیرخطی برای پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی بهتر از روش خطی است. در این زمینه می‌توان گفت رویکرد خطی

این مطالعه با هدف مقایسه تأثیر روش‌های خطی و غیرخطی بر متغیرهای کینماتیک در تکلیف فرود بسکتبالیست‌های مبتدی انجام شد. در حالت کلی نتایج نشان داد در همه متغیرهای بررسی شده روش غیرخطی به‌طور معناداری بهتر از روش خطی است؛ یعنی زوایای مفصلی از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون فلکشن بیشتری در روش غیرخطی داشته است و این به خنثی‌سازی نیروهای وارده توسط عضلات منجر می‌شود تا به رباط صلیبی قدامی کمتر نیرو وارد شود و این موضوع از پارگی لیگامان صلیبی

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس برای متغیرهای بررسی شده

متغیرهای کینماتیک	درجات آزادی	F ¹	ETA ²	معناداری
فلکشن تنه (°)	۱	۳۵/۴۱	۰/۴۱	۰/۰۰
فلکشن هیپ (°)	۱	۲۱/۱۱	۰/۴۸	۰/۰۰
فلکشن زانو (°)	۱	۷۲/۱	۰/۶۷	۰/۰۰
والگوس زانو (°)	۱	۳۱/۱۴	۰/۳۴	۰/۰۰
دورسی فلکشن مچ پا (°)	۱	۳۷/۱۲	۰/۴	۰/۰۰
حرکتی هیپ (°)	۱	۴۷/۱۱	۰/۶۸	۰/۰۰
حرکتی زانو (°)	۱	۱۸/۲۸	۰/۳۹	۰/۰۰
حرکتی مچ پا (°)	۱	۲۲/۹۴	۰/۵۴	۰/۰۰
فلکشن هیپ (°)	۱	۳۴/۷۱	۰/۹۸	۰/۰۰
فلکشن زانو (°)	۱	۳۷/۷۴	۰/۳۹	۰/۰۰

طب توانبخش

مهارت نمی‌تواند کمک‌کننده باشد و باید تمرین اکتشافی مدنظر قرار بگیرد [۲۳]. از آنجایی که در روش غیرخطی با استفاده از دست‌کاری قیود به فراگیر کمک می‌شود تا انواع مختلف راه‌حل‌ها را امتحان کند و راهکار اجرای مهارت را کشف کند (تغییرپذیری بالا)، بنابراین تأثیر تمرین به روش غیرخطی برای همه متغیرها (در این مطالعه متغیرهای کینماتیکی) بهتر از روش خطی نمایان می‌شود. این موضوع را با بحث درجات آزادی نیز می‌توان بررسی کرد. در بحث درجات آزادی این چنین مطرح می‌شود که تمرین به روش اکتشافی به کشف راحل‌های مختلف برای هر حرکت منجر می‌شود و یا به عبارت دیگر در تمرینات اکتشافی فرد آزادی عمل بیشتری برای انجام حرکت دارد [۲۴] و از آنجایی که در روش غیرخطی تمرین به صورت اکتشافی است، راه‌حل‌های زیادی هم برای انجام مهارت و حرکت در دسترس فراگیر است و چون پیشگیری از آسیب نیاز به راه‌حل‌های مختلف دارد تا مفیدترین و یا بهترین آن‌ها انتخاب شود، بنابراین روش غیرخطی برای متغیرهای کینماتیکی بهتر از روش خطی تأثیر می‌گذارد.

نتیجه‌گیری

در حالت کلی نتایج این مطالعه بر نقش دست‌کاری قیود در تمرین و یادگیری تأکید می‌کنند و این نکته را برجسته می‌کنند که روش‌های غیرخطی با تمرکز بر اکتشاف و جست‌وجوی راحل مناسب بر متغیرهای کینماتیکی مؤثر است.

این مطالعه از این جهت که یکی از معدود مطالعاتی است که استراتژی‌های یادگیری حرکتی را بر متغیرهای کینماتیکی بررسی کرده است حائز اهمیت است. باین حال ارزیابی نکردن متغیرهای کنتیکی مهم‌ترین محدودیت این مطالعه است و بهتر است در مطالعات بعدی موردتوجه قرار بگیرد. همچنین به دلیل مشکلات فرهنگی ما نتوانستیم مردان و زنان را با هم مورد ارزیابی قرار بدهیم. چون امکان ترکیب هر ۲ جنس و تمرین هم‌زمان آن‌ها وجود نداشت. از این‌رو بهتر است مطالعات بعدی با در نظر گرفت محدودیت‌های این مطالعه نتایج آن را گسترش دهند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

اصول اخلاقی تماماً در این مقاله رعایت شده است. شرکت‌کنندگان اجازه داشتند هر زمان که مایل بودند از پژوهش خارج شوند. همچنین همه شرکت‌کنندگان در جریان روند پژوهش بودند. اطلاعات آن‌ها محرمانه حفظ شد. همچنین قبل از شروع فرایند تحقیق کد اخلاق به شماره IR.KHU.REC.1398.032 برای این مطالعه از دانشگاه خوارزمی دریافت شد.

توسط رویکرد غیرخطی در زمینه اکتساب مهارت موردانتقاد قرار گرفته است. به دلیل اینکه در رویکرد خطی از پیوند اطلاعات و حرکت در محیط واقعی جلوگیری می‌شود [۲۰]. به این صورت که تکرار مهارت به شکل یکسان راحل‌های مختلف حرکتی را کشف نمی‌کند و باعث می‌شود فرد حرکت یکسانی انجام دهد و بنابراین حس‌های مختلف در یک عمل تجربه نمی‌شود و این اکتشاف در تمرین را مختل می‌کند [۱۷].

در رویکرد خطی معمولاً با معرفی و تکرار یک الگوی غالب و محدود کردن فرد برای تمرین آن فعالیت، فرصت اکتشاف و حل مسئله از یادگیرنده گرفته می‌شود و فراگیر تقریباً نقش غیرفعال دارد [۲۱]. اما در روش غیرخطی فراگیر این فرصت را دارد که خودش چالش‌های حرکتی را حل کند و همچنین در این روش فرد با گروه مقایسه نمی‌شود و متناسب با ویژگی‌های فردی خودش تمرین دریافت می‌کند که این برای اکتشاف راحل حرکتی فرد کمک‌کننده است [۲۱]. این نتایج را همچنین می‌توان از منظر تغییرپذیری تبیین کرد. تغییرپذیری در تمرین به فرد کمک می‌کند تا همه راه‌های ممکن برای حل یک مسئله حرکتی را یاد بگیرد [۲۲]. برعکس تصور قدیمی که فکر می‌شد تغییرپذیری برای یادگیری عملکرد مضر است، مطالعات مربوط به روش غیرخطی نشان داده است که تغییرپذیری نه تنها برای عملکرد مضر نیست بلکه مفید هم هست [۲۲]. به این صورت که یاد گرفتن راه‌های متعدد برای انجام یک عمل باعث می‌شود فرد حرکت را با روشی که فشار کمتری بر فرد وارد می‌کند انجام دهد و این به روان انجام دادن حرکت منجر می‌شود. این موضوع به فرد کمک می‌کند تا راهی را که با کمترین انرژی و هزینه است انتخاب کند و از آسیب‌دیدگی نیز جلوگیری می‌کند [۲۲]. در روش غیرخطی نیز فراگیر برای رسیدن به الگوی بهینه تلاش می‌کند و این کار منجر می‌شود تا فرد راه‌های متعدد را امتحان کند و بهترین راه (با فشار کمتر) برای رسیدن به هدف را انتخاب کند [۲۲]. این موضوع باعث می‌شود تا فرد پس از مدتی تمرین به روش غیرخطی حرکتی را انجام دهد که فلکشن بیشتری دارد و چون در فلکشن بیشتر نیرو بین عضلات تقسیم می‌شود پس می‌توان نتیجه گرفت که روش غیرخطی برای پیشگیری از پارگی لیگامان صلیبی قدامی مؤثر است.

نتایج این مطالعه را می‌توان با دیدگاه برنشتاین نیز تبیین کرد. برنشتاین مطرح کرد که در محیط واقعی و ورزشی هیچ ۲ حرکتی مشابه هم انجام نمی‌گیرد. این موضوع حتی در ضربه‌های یکسان بر روی چکش نیز صدق می‌کند. پس از آن ارائه بازخورد و الگو برای رسیدن به یک الگوی ایدئال (روش خطی) مورد انتقاد قرار گرفت و دست‌کاری قیود (روش غیرخطی) در تمرین مطرح شد. در بحث دست‌کاری قیود براساس دیدگاه برنشتاین ادعا می‌شود که چون الگوی ایدئالی برای حرکت وجود ندارد، بنابراین تمرین یکنواخت هم برای یادگیری و هم برای اجرا و

حامی مالی

پژوهش حاضر برگرفته از طرح درون دانشگاهی دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی است که با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده سازی این مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تقدیر و تشکر

از همه شرکت کنندگانی که در مطالعه حاضر شرکت کردند، تشکر می شود.

References

- [1] 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 (Auckland, N.Z.)*. 2019; 49(6):853-65. [DOI:10.1007/s40279-019-01078-w] [PMID]
- [2] Montgomery C, Blackburn J, Withers D, Tierney G, Moran C, Simms C. Mechanisms of ACL injury in professional rugby union: A systematic video analysis of 36 cases. *British Journal of Sports Medicine*. 2018; 52(15):994-1001. [DOI:10.1136/bjsports-2016-096425] [PMID]
- [3] Nessler T, Denney L, Sampley J. ACL injury prevention: What does research tell us? *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 2017; 10(3):281-8. [DOI:10.1007/s12178-017-9416-5] [PMID]
- [4] 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: Official Journal of the ESSKA*. 2017; 25(8):2365-76. [DOI:10.1007/s00167-015-3727-0] [PMID]
- [5] 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]
- [6] Chow JY, Davids K, Button C, Renshaw I. *Nonlinear pedagogy in skill acquisition: An introduction*. New York: Routledge; 2015. [Link]
- [7] Schmidt RA, Lee TD, Winstein C, Wulf G, Zelaznik HN. *Motor Control and Learning*. California: Human kinetics; 2018. [Link]
- [8] Krabben K, Orth D, van der Kamp J. Combat as an interpersonal synergy: An ecological dynamics approach to combat sports. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. 2019; 49(12):1825-36. [DOI:10.1007/s40279-019-01173-y] [PMID]
- [9] Orangi BM, Yaali R, Bahram A, van der Kamp J, Aghdasi MT. The effects of linear, nonlinear, and differential motor learning methods on the emergence of creative action in individual soccer players. *Psychology of Sport and Exercise*. 2021; 56:102009. [DOI:10.1016/j.psychsport.2021.102009]
- [10] Mohammadi Orangi B, Yaali R, Ackah-Jnr FR, Bahram A, Ghadiri F. The effect of nonlinear and linear methods and inclusive education on self-esteem and motor proficiency of ordinary and overactive children. *Journal of Rehabilitation Sciences & Research*. 2021; 8(2):69-78. [Link]
- [11] Ebrahimi Tavakolian M, Mohammadi Orangi B, Ghadiri F, Mohammad Nejad M. [The effect of nonlinear pedagogy on motor proficiency and self-esteem of hyperactive obese girls (Persian)]. *Journal of Fundamentals of Mental Health*. 2020; 22(3):185-93. [DOI:10.22038/jfmh.2020.16474]
- [12] Moy B, Renshaw I, Davids K. The impact of nonlinear pedagogy on physical education teacher education students' intrinsic motivation. *Physical Education and Sport Pedagogy*. 2016; 21(5):517-38. [DOI:10.1080/17408989.2015.1072506]
- [13] 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]
- [14] Ali N, Rouhi G, Robertson G. Gender, vertical height and horizontal distance effects on single-leg landing kinematics: Implications for risk of non-contact ACL injury. *Journal of Human Kinetics*. 2013; 37:27-38. [DOI:10.2478/hukin-2013-0022] [PMID]
- [15] Willems TM, Witvrouw E, Delbaere K, Mahieu N, De Bourdeaudhuij I, De Clercq D. Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in male subjects: A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*. 2005; 33(3):415-23. [DOI:10.1177/0363546504268137] [PMID]
- [16] Greig M. The influence of soccer-specific activity on the kinematics of an agility sprint. *European Journal of Sport Science*. 2009; 9(1):23-33. [DOI:10.1080/17461390802579129]
- [17] Faude O, Junge A, Kindermann W, Dvorak J. Risk factors for injuries in elite female soccer players. *British Journal of Sports Medicine*. 2006; 40(9):785-90. [DOI:10.1136/bjsm.2006.027540] [PMID]
- [18] 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]
- [19] Orth D, van der Kamp J, Button C. Learning to be adaptive as a distributed process across the coach-athlete system: Situating the coach in the constraints-led approach. *Physical Education and Sport Pedagogy*. 2019; 24(2):146-61. [DOI:10.1080/17408989.2018.1557132]
- [20] Mousavi SK, Yaali R, Bahram A, Abbasi A. [Comparison of the effect of nonlinear pedagogy on emergence of coordination patterns in low badminton backhand serve (persian)]. *Motor Behavior*. 2020; 12(39):107-24. [DOI:10.22089/mbj.2018.5609.1654]
- [21] Chow JY, Davids K, Button C, Renshaw I. *Nonlinear pedagogy in skill acquisition: An introduction*. New York: Routledge; 2021. [Link]
- [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] Bernstein N. *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press; 1967. [Link]
- [24] Gray R. Changes in movement coordination associated with skill acquisition in baseball batting: Freezing/Freeing degrees of freedom and functional variability. *Frontiers in Psychology*. 2020; 11:1295. [DOI:10.3389/fpsyg.2020.01295] [PMID]

This Page Intentionally Left Blank