

تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر متغیرهای بیومکانیکی ورزشکاران با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی طی حرکات انتقالی: مروری سیستماتیک

شیرین عالی^۱، فرهاد رضازاده^{۲*}، فریبرز ایمانی^۱، نسترن مرادزاده^۱، فاطمه رضایی عرفان^۲

مقاله مروری

مقدمه: آسیب رباط صلیبی قدامی (Anterior Cruciate Ligament) یکی از شایع‌ترین آسیب‌های ورزشی است که اغلب منجر به اختلال در متغیرهای بیومکانیکی حرکات انتقالی می‌شود. این مطالعه مروری سیستماتیک با هدف بررسی تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر بهبود این متغیرها در ورزشکاران با سابقه آسیب ACL انجام شده است.

روش بررسی: این مطالعه مروری سیستماتیک بر اساس دستورالعمل پریسما و با جستجو در پایگاه‌های پابمد، اسکوپوس، وب‌آف‌ساینس، مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی، نورمگز و موتور جستجوی گوگل اسکالر از ژانویه ۲۰۰۵ تا فوریه ۲۰۲۵ انجام شد. از ۸۶۹ مقاله شناسایی شده، ۱۰ مطالعه واجد معیارهای ورود (کارآزمایی‌های بالینی، مطالعات نیمه‌تجربی و یا کوهورت) با حداقل ۶ هفته مداخله انتخاب و با پرسش‌نامه داون و بلک ارزیابی کیفیت شدند.

نتایج: در این پژوهش مروری سیستماتیک، تنها ۱۰ مطالعه واجد معیارهای ورود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تمرینات عصبی-عضلانی و متقاطع در بازه ۶ تا ۱۲ هفته با تکرار ۳ جلسه در هفته، بهبود معناداری در کنترل عصبی-عضلانی (افزایش فعالیت الکتریکی عضلات، کاهش خطای حس عمقی زانو و بهبود مکانیک پرش)، عملکرد حرکتی و بیومکانیک زانو ایجاد کردند.

نتیجه‌گیری: تمرینات عصبی-عضلانی با بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی، تعادل پویا و حس عمقی، متغیرهای بیومکانیکی را در ورزشکاران دارای آسیب ACL اصلاح کردند. این تمرینات هم‌چنین با کاهش زاویه فلکشن زانو و گشتاورهای مخرب، در پیشگیری از آسیب مجدد مؤثر بودند، اگرچه ناهمگونی پروتکل‌ها و تفاوت‌های فردی، تعمیم نتایج را محدود ساخته بود.

واژه‌های کلیدی: آسیب رباط صلیبی قدامی، تمرینات عصبی-عضلانی، عملکرد حرکتی، مروری سیستماتیک

ارجاع: شیرین عالی، فرهاد رضازاده، فریبرز ایمانی، نسترن مرادزاده، فاطمه رضایی عرفان. تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر متغیرهای بیومکانیکی ورزشکاران با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی طی حرکات انتقالی: مروری سیستماتیک. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد ۱۴۰۴؛ ۳۳ (۱۰): ۷۱-۹۴۵۶.

۱- گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی تهران، ایران.

۲- گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

* (نویسنده مسئول): تلفن: ۰۰۹۱۲۰۱۹۸۰۲۶، پست الکترونیکی: rezazadeh.farhad@uma.ac.ir، صندوق پستی: ۸۸۹-۱۴۶۶۵

بازسازی ACL، ورزشکاران با مشکلات سلامتی بلندمدت روبه‌رو می‌شوند (۱۳) و خطر شکست پیوند یا آسیب به ACL پای دیگر در دو سال اول بین ۱۰ تا ۲۵ درصد گزارش شده است (۱۴). دوره بازتوانی این آسیب در حدود ۶ ماه یا طولانی‌تر به طول می‌انجامد و به ازای هر آسیب در حدود ۱۷ تا ۲۵ هزار دلار هزینه جراحی و بازتوانی را به همراه دارد (۱۵). این آسیب علاوه بر هزینه درمان زیاد موجب از دست دادن مشارکت ورزشی و حتی از دست دادن فصل ورزشی و نیز ایجاد آسیب‌های ثانویه مثل استئوآرتریت (افزایش بیش از ۱۰ برابر)، پارگی منیسک و نیز مشکلات و مسائل روحی و روانی در ورزشکاران می‌گردد (۱۶). به همین دلیل، بازتوانی مناسب و تمرینات هدفمند برای ورزشکارانی که سابقه آسیب ACL دارند، از اهمیت بالایی برخوردار است. با این حال، با وجود پیشرفت‌ها در توان بخشی پس از بازسازی ACL، بسیاری از ورزشکاران نمی‌توانند به سطح عملکرد پیش از آسیب‌شان برگردند و خطر آسیب ثانویه (آسیب دوم) همچنان بالاست (۱۷). یکی از روش‌های کاهش آسیب‌های ACL، اجرای تمرینات عصبی-عضلانی است (۱۸). در سال‌های اخیر، تمرینات عصبی-عضلانی (Neuromuscular Training) به دلیل تأثیر بر بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی، کنترل حرکتی و پایداری مفاصل، به عنوان یک روش کلیدی در بازتوانی ورزشکاران مبتلا به آسیب ACL مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱۹). این تمرینات می‌تواند به بازگرداندن عملکرد مربوط به زانو و به حداقل رساندن مکانیک فرود نابه‌جا در ورزشکاران با سابقه بازسازی ACL کمک کند (۲۰). لازم به ذکر است که تمرینات عصبی-عضلانی نیازمند پاسخ‌های کنترل حرکتی در سطح ساقه مغز هستند؛ اما با استفاده از این تمرینات می‌توان کنترل حرکت را در تمامی سطوح آن بهبود بخشید که این امر از اصول مهم توان بخشی حس عمقی است (۲۱). به همین دلیل درک مکانیسم‌های آسیب ACL غیرتماسی گامی حیاتی در جهت توسعه و اعتبارسنجی تمرینات عصبی-عضلانی برای جلوگیری از آسیب دوم است (۱۲). به‌طور کلی برنامه‌های جامع پیشگیری از آسیب که شامل چندین مؤلفه (مانند تمرینات

پارگی رباط صلیبی قدامی (Anterior Cruciate Ligament) به‌عنوان یکی از شایع‌ترین و ناتوان‌کننده‌ترین آسیب‌های ورزشی زانو شناخته می‌شود که علاوه بر عوارض جسمانی، هزینه‌های اقتصادی سنگینی را به ورزشکاران تحمیل می‌کند (۱). این آسیب بیشتر در ورزش‌هایی که برای انجام دادن آن‌ها به حرکات برشی، چرخشی، ایستادن‌های ناگهانی و یا فرود پس از یک پرش نیاز است، شایع است و حدود ۷۰ درصد این آسیب‌ها غیربرخوردی و ۳۰ درصد برخوردی هستند (۲، ۳). امروزه شیوع آسیب‌های ACL به سرعت در حال افزایش است (۴). مطالعات بیومکانیکی نشان می‌دهند که سه عامل اصلی بارگذاری روی ACL عبارتند از: نیروی برشی قدامی تیبیا، گشتاور ابداکشن خارجی زانو، گشتاور چرخش داخلی تیبیا. این بارگذاری‌ها در حین حرکات پویا (مانند پرش و فرود) به‌طور قابل‌توجهی خطر پارگی ACL را افزایش می‌دهند (۵-۸). رباط صلیبی قدامی تثبیت‌کننده اصلی مفصل زانو است، به‌طوری‌که جابجایی‌های قدامی و چرخش داخلی استخوان تیبیا نسبت به کندیل‌های استخوان فمور را محدود می‌کند و نقص کارایی آن منجر به بی‌ثباتی قدامی و چرخشی در مفصل می‌شود (۹). پارگی این رباط منجر به کاهش حس عمقی، تعادل، قدرت و عملکرد عضلانی و همچنین تغییرات گسترده در سیستم عصبی مرکزی و انعطاف‌پذیری عصبی و تغییرات بیومکانیکی می‌شود (۱۰). پارگی ACL معمولاً باعث برون‌ریزی مفصل (خروج مایع سینوویال یا خون)، ضعف عضلانی، اختلال در حرکت و کاهش توانایی فرد می‌شود. علاوه بر این، بیشتر ورزشکاران بدون انجام درمان‌های توان بخشی نمی‌توانند به سطح عملکردی قبل از آسیب بازگردند (۱۱). ورزشکاران ممکن است حتی ۱۸ تا ۲۶ ماه پس از جراحی بازسازی ACL، همچنان در انجام حرکات غیرقابل پیش‌بینی (مانند تغییر جهت ناگهانی یا واکنش به شرایط غیرمنتظره) دچار نقص عملکردی شوند. ارزیابی این‌گونه حرکات می‌تواند مشکلات باقی‌مانده در سیستم عصبی-عضلانی را که پس از عمل جراحی وجود دارند، شناسایی کند (۱۲). به‌علاوه، پس از

اصلاحی، آموزش تکنیک‌های حرکتی و تقویت عضلات) هستند، نه تنها خطر آسیب‌های بیومکانیکی در اندام تحتانی را کاهش می‌دهند، بلکه به طور چشمگیری عملکرد ورزشی را نیز بهبود می‌بخشند (۱۵). در همین راستا، پژوهش‌های متعددی به بررسی اثرات این تمرینات پرداخته‌اند. برای نمونه، الموتی و لطافت‌کار در سال ۲۰۲۴ در مطالعه‌ای بر روی زنان ورزشکار مستعد آسیب ACL نشان دادند که تمرینات بازخوردی می‌تواند با اصلاح الگوی حرکتی، تعادل و حس عمقی را بهبود بخشد و از این طریق خطر آسیب‌های آینده را کاهش دهد. نتایج آنان نشان داد تمرینات اصلاح الگوی حرکت از طریق تأثیر بر عضلات و اصلاح راستای مناسب اندام تحتانی می‌تواند منجر به کنترل حرکاتی که آسیب لیگامان صلیبی قدامی را ایجاد می‌کند، می‌شود. با در نظر گرفتن اثر این تمرینات فیدبکی بر بهبود تعادل، حس عمقی و عملکرد گروه آسیب‌دیده، پیشنهاد می‌شود که این تمرینات در پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی در آینده مورد استفاده قرار گیرند (۲۲). در مطالعه‌ای دیگر توسط جمهوری و همکاران در سال ۲۰۲۰، نتایج مطالعه نشان داد که تمرینات اغتشاشی مکانیکی به دلیل شبیه‌سازی چالش‌های مشابه با شرایط واقعی، به عنوان گزینه‌ای مناسب برای انتقال ورزشکاران مبتلا به پارگی ACL به وضعیت پیش از آسیب شناخته می‌شوند. این نوع تمرینات می‌توانند به بهبود عملکرد و افزایش اعتماد به نفس ورزشکاران در بازگشت به فعالیت‌های ورزشی کمک کنند (۲۳). شواهد موجود حاکی از آن است که تمرینات عصبی-عضلانی نه تنها در پیشگیری اولیه از آسیب ACL مؤثرند، بلکه با بهبود متغیرهای بیومکانیکی و عصبی-عضلانی، می‌توانند خطر آسیب‌های ثانویه را در ورزشکاران بازگشته به فعالیت پس از جراحی ACL کاهش دهند، اما نقص‌های عملکردی و عصبی-عضلانی که حتی پس از توانبخشی باقی می‌مانند، چالش بزرگی برای بازگشت ایمن به ورزش ایجاد می‌کنند. مطالعه آینده‌نگری که ورزشکاران را در آستانه بازگشت به میادین ورزشی ارزیابی کرد، نشان داد که ضعف‌های عصبی-عضلانی در ناحیه لگن و زانو می‌تواند به طور دقیق، احتمال بروز آسیب‌های

مجدد ACL را پیش‌بینی کند. این نقص‌های فراگیر نشان می‌دهند که توانبخشی فعلی برای برگرداندن ورزشکاران به سطح سلامت پیش از آسیب کافی نیست و لازم است توان بخشی با برنامه‌های تمرینی تقویت شوند تا نقص‌های حرکتی قبل از بازگشت به ورزش برطرف شوند (۱۷). این موضوع نیاز به یک بررسی سیستماتیک برای ارزیابی تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر تغییرات بیومکانیکی در ورزشکاران با سابقه بازسازی ACL را برجسته می‌کند، بنابراین، یک مرور سیستماتیک می‌تواند با جمع‌آوری شواهد موجود، نقش تمرینات عصبی-عضلانی را در کاهش نقص‌های بیومکانیکی و بهبود عملکرد ورزشکاران روشن کند. این پژوهش به تدوین راهکارهای مؤثر برای توان بخشی و بازگشت ایمن به ورزش کمک خواهد کرد. هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر متغیرهای بیومکانیکی ورزشکاران با سابقه آسیب ACL طی حرکات انتقالی است. با توجه به اهمیت بهبود متغیرهای بیومکانیکی در فرآیند توانبخشی و پیشگیری از آسیب‌های مجدد، این سوال مطرح می‌شود که آیا تمرینات عصبی-عضلانی می‌توانند به بهبود این متغیرها کمک کنند؟ این مطالعه به دنبال بررسی نظام‌مند تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر متغیرهای بیومکانیکی ورزشکاران با سابقه بازسازی ACL در حرکات پویا است تا میزان بهبودی الگوهای حرکتی پس از این تمرینات را دقیقاً ارزیابی کند. همچنین ارتباط بین اصلاح متغیرهای بیومکانیکی و کاهش خطر آسیب مجدد را تحلیل نماید.

روش بررسی

پژوهش حاضر از نوع مروری و سیستماتیک بود که بر مطالعات موجود با موضوع بررسی اثر تمرینات عصبی-عضلانی بر تغییرات بیومکانیکی ورزشکاران با سابقه آسیب ACL در حین انجام حرکات انتقالی در بازه زمانی ژانویه ۲۰۰۵ تا فوریه ۲۰۲۵ انجام شد. پروتکل بررسی در فهرست بین‌المللی بررسی‌های سیستماتیک آینده‌نگر (PROSPERO) با شماره ثبت CRD420251244169 ثبت شده است.

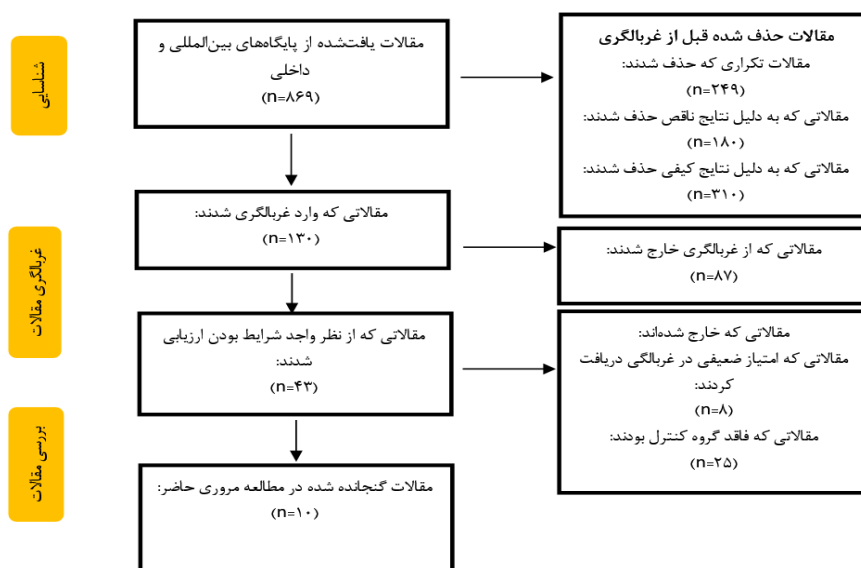
زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ و استفاده از کلیدواژه‌هایی مانند «ACL Injury» در عنوان و ترکیب عباراتی نظیر «Neuromuscular Training» و «Biomechanics» انجام شد که ۳۳۴ مقاله را بازیابی کرد. در این مسیر در نهایت ۸۶۹ مقاله در پایگاه‌های داخلی و بین‌المللی شناسایی و در نهایت ۱۰ مطالعه انتخاب شدند. غربالگری اولیه توسط دو محقق به صورت مستقل انجام شد و اختلافات نظر بین محققین با نظر محقق سوم حل گردید. هرگونه اختلاف نظر از طریق بحث و اجماع با کمک نفر سوم حل و فصل گردید. داده‌های استخراج شده از مقالات در بخش نتایج شامل نام نویسنده، نام مجله و سال انتشار، نوع تحقیق، نمونه آماری، هدف مطالعه، نوع مداخله، تعداد آزمودنی‌ها و نتایج بیومکانیکی بود. هم‌چنین از نرم‌افزار EndNote نسخه ۲۱ برای مدیریت منابع و حذف مقالات تکراری استفاده گردید.

معیارهای ورود و خروج

معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از: ۱- تنها مقالاتی که از نوع نیمه تجربی، کارآزمایی‌های بالینی و یا کوهورت باشند، ۲- مطالعات مقایسه‌ای که داده‌های کمی یا کیفی مرتبط ارائه می‌دهند، ۳- مقالات باید به زبان انگلیسی یا فارسی منتشر شده باشند، ۴- مطالعات باید پیگیری حداقل ۶ هفته‌ای از برنامه تمرینی را داشته باشند. معیارهای خروج نیز عبارت بودند از: ۱- مقالاتی که از نظر روش‌شناسی ضعیف هستند یا دارای خطاهای جدی در طراحی تحقیق می‌باشند (مطالعاتی که نمره کیفیت آن‌ها در پرسش‌نامه داون و بلک کمتر از ۵۰ درصد (۱۴ از ۲۸) بود)، ۲- مقالاتی که به بررسی سایر نوع تمرینات (غیر از عصبی-عضلانی) پرداخته‌اند، ۳- مطالعات تکراری ۴- پایان‌نامه‌ها (به علت کاهش خطر سوگیری و داده‌های تکراری)، مقالات مروری، مقالات همایشی و مطالعات حیوانی/آزمایشگاهی و ۵- مطالعاتی که متن کامل آن‌ها در دسترس نبودند (فقط چکیده موجود بود) و حتی پس از تماس با نویسندگان نیز متن کامل قابل دستیابی نبود، از تحلیل نهایی حذف شدند. در این راستا، مقالات باقی‌مانده بر اساس موضوع و محتوای آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت، ۱۰ مقاله مرتبط با موضوع تحقیق شناسایی و برای تجربه و تحلیل نهایی انتخاب شدند.

راهبرد جستجو: این مرور سیستماتیک بر اساس دستورالعمل پریسما (موارد گزارش ترجیحی برای بررسی‌های سیستماتیک و متآنالیز) انجام شد (۲۴). نمودار پریسما مراحل شناسایی، غربالگری، ارزیابی شایستگی و انتخاب نهایی مقالات را در (نمودار ۱) نشان می‌دهد. برای گردآوری داده‌های مرتبط با موضوع آسیب‌های ACL و نقش تمرینات عصبی-عضلانی، از کلیدواژه‌هایی چون «تمرینات عصبی-عضلانی»، «آسیب رباط صلیبی قدامی»، «حرکات انتقالی»، «ورزشکاران»، «Neuromuscular Training»، «ACL Injury»، «Athletes»، «Movements Transitional» به دو زبان فارسی و انگلیسی بهره گرفته شد. جستجو در پایگاه‌های تخصصی و پایگاه‌های کتاب‌شناختی بین‌المللی (PubMed، WOS، Scopus)، پایگاه‌های داده داخلی (Noormags و SID) و هم‌چنین موتور جستجوی Google Scholar انجام پذیرفت. در پایگاه PubMed، کلیدواژه‌هایی نظیر «Anterior Cruciate Ligament Injuries» (با استفاده از اصطلاحات Mesh و جستجوی متن آزاد)، «Muscle Stretching Exercises»، «Neuromuscular Training» و «Biomechanical Phenomena» با عملگرهای بولی (AND/OR) ترکیب شدند. محدودیت‌های اعمال شده شامل بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ و مقالات به زبان‌های انگلیسی و فارسی بود که منجر به شناسایی ۱۲۰ مقاله شد. در پایگاه Scopus، جستجو در عنوان، چکیده و کلیدواژه‌ها با تمرکز بر عباراتی مانند «Anterior Cruciate Ligament Injury»، «Neuromuscular Training»، «Biomechanics»، «Kinematics» و «Kinetics» انجام شد. این جستجو با همان محدودیت‌های زمانی و زبانی، ۱۲۱ مقاله را بازیابی کرد. در Web of Science، از کلیدواژه‌های مشابه با استفاده از عملگر TS برای جستجوی موضوعی بهره گرفته شد که ۹۴ مقاله مرتبط را در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ نشان داد. در پایگاه‌های داده داخلی Noormags نیز ۸۷ مقاله مرتبط و در پایگاه SID با همان محدودیت‌های زمانی ۱۱۳ مقاله مرتبط یافت شد. در موتور جستجوی Google Scholar نیز جستجو با محدودیت

شناسایی مقالات از طریق پایگاه‌های داده WOS, PubMed, Scopus, Noormags, SID و موتور جستجوی Google Scholar



استراتژی جستجو برای پایگاه‌های Google Scholar و Web of Science, Scopus, PubMed

پایگاه داده	استراتژی جستجو	محدودیت‌ها	تعداد مقالات یافت شده
PubMed	("Anterior Cruciate Ligament Injuries"[Mesh] OR "ACL Injury"[tiab]) AND ("Muscle Stretching Exercises"[Mesh] OR "Neuromuscular Training"[tiab] OR "Plyometric Exercise"[Mesh]) AND ("Biomechanical Phenomena"[Mesh])	- بازه زمانی: ۲۰۰۵-۲۰۲۵ - زبان: انگلیسی/فارسی	۱۲۰
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("Anterior Cruciate Ligament Injury" OR "ACL Injury") AND ("Neuromuscular Training" OR "Proprioceptive Training") AND ("Biomechanics" OR "Kinematics" OR "Kinetics")	- بازه زمانی: ۲۰۰۵-۲۰۲۵ - زبان: انگلیسی/فارسی	۱۲۱
Web of Science	TS= ("Anterior Cruciate Ligament Injury" OR "ACL Injury") AND ("Neuromuscular Training") AND ("Biomechanics" OR "Kinematics" OR "Kinetics")	- بازه زمانی: ۲۰۰۵-۲۰۲۵	۹۴
Google Scholar	intitle:"ACL Injury" AND ("Neuromuscular Training" OR "Proprioceptive Exercise") AND ("Biomechanics" OR "Kinematics" OR "Kinetics")	- بازه زمانی: ۲۰۰۵-۲۰۲۵	۳۳۴
Noormags	به صورت دستی کلمات کلیدی فارسی و انگلیسی جستجو شد.	- بازه زمانی: ۲۰۰۵-۲۰۲۵	۸۷
SID	به صورت دستی کلمات کلیدی فارسی و انگلیسی جستجو شد.	- بازه زمانی: ۲۰۰۵-۲۰۲۵	۱۱۳

ارزیابی کیفیت: از پرسش‌نامه داون و بلک (۲۵)، نسخه فارسی که برای مطالعات کمی به منظور ارزیابی کیفیت روش‌شناسی مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این تحقیق استفاده شد (جدول ۱). این پرسش‌نامه شامل ۲۷ سؤال است که به بررسی جنبه‌های مختلف کیفیت مطالعه، از جمله گزارش‌دهی، اعتبار خارجی، اعتبار داخلی و توان آماری می‌پردازد (۲۶). این ابزار به دلیل ساختار منظم و جامع خود، امکان ارزیابی دقیق و استاندارد مطالعات را فراهم می‌کند. نحوه امتیازدهی در این پرسش‌نامه به صورت عددی و بر اساس معیارهای مشخص انجام می‌شود. از مجموع ۲۷ سؤال، ۲۶ سؤال با مقیاس ۰ و ۱ امتیازدهی می‌شوند؛ به این ترتیب که امتیاز ۱ به پاسخ مثبت (رعایت معیار) و امتیاز ۰ به پاسخ منفی یا نامشخص (عدم رعایت معیار یا فقدان اطلاعات کافی) اختصاص می‌یابد.

سؤال آخر، که به توان آماری مربوط است، از مقیاس گسترده‌تری (۰ تا ۵) برخوردار است؛ امتیاز ۰ نشان‌دهنده عدم گزارش توان آماری و امتیاز ۵ بیانگر محاسبه دقیق و مناسب آن است. حداکثر امتیاز قابل کسب ۳۲ است که نشان‌دهنده کیفیت بالای روش‌شناسی مطالعه خواهد بود، این روش امتیازدهی، ارزیابی عینی و قابل‌تکایی از مطالعات را ممکن می‌سازد. با توجه به اینکه حداکثر نمره قابل کسب در این پرسش‌نامه ۳۲ است، نمره ۱۴ معادل ۵۰ درصد از کل امتیاز در نظر گرفته شد. این معیار بر اساس استانداردهای مرسوم در مطالعات مروری تعیین گردید تا اطمینان حاصل شود که تنها مطالعات با کیفیت روش‌شناسی متوسط به بالا وارد تحلیل نهایی می‌شوند (جدول ۲). درصد امتیاز بر اساس فرمول ذیل محاسبه گردید:

$$100 * \frac{\text{امتیاز کسب شده}}{32} = \text{درصد کیفیت}$$

جدول ۱: پرسش‌نامه داون و بلک

۱	آیا فرضیات و اهداف مطالعه به وضوح شرح داده شده است؟
۲	آیا نتایج اصلی به وضوح شرح داده شده است؟
۳	آیا ویژگی بیماران به وضوح شرح داده شده است؟
۴	آیا مداخلات شرح داده شده است؟
۵	آیا در خصوص عوامل مخدوش‌کننده توضیحاتی ارائه شده است؟
۶	آیا یافته‌ها به وضوح شرح داده شده است؟
۷	آیا داده‌های این مطالعه به صورت تصادفی برای پیامدهای اصلی ارائه شده است؟
۸	آیا عوارض جانبی گزارش شده است؟
۹	آیا در خصوص ترک بیماران از مطالعه و عوارض آن اطلاعاتی ارائه شده است؟
۱۰	آیا مقادیر واقعی داده‌ها گزارش شده است (به صورت دقیق نه تخمینی)؟
۱۱	آیا در خصوص نحوه انتخاب نمونه‌های مطالعه اطلاعاتی ارائه شده است؟
۱۲	آیا آزمودنی‌ها آمادگی لازم را برای اجرای آزمون داشتند؟
۱۳	آیا در مورد خصوصیات مکان و امکانات اطلاعاتی ارائه شده است؟
۱۴	آیا در خصوص تلاش مداخلات که بیماران داشتند اطلاعاتی ارائه شده است؟
۱۵	آیا برای یکسان سازی مطالعه اطلاعاتی ارائه شده است؟
۱۶	آیا نتایج مطالعه پس از نرمال کردن داده‌ها به وضوح شرح داده شده است؟
۱۷	آیا اطلاعاتی از نتایج دوره مداخلات تمرینی و گروه کنترل ارائه شده است؟
۱۸	آیا از آزمون‌های آماری مناسبی برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است؟
۱۹	آیا مداخلات قابل اعتماد بود؟
۲۰	آیا معیار نتایج اصلی قابل اعتماد بود؟

- ۲۱ آیا گروه‌ها تحت مداخلات متفاوتی قرار داشتند؟
- ۲۲ آیا آزمودنی‌ها یکسان‌سازی شدند؟
- ۲۳ آیا آزمودنی‌ها به صورت تصادفی در گروه‌ها قرار گرفتند؟
- ۲۴ آیا مداخلات به صورت تصادفی اعمال شد؟
- ۲۵ آیا شرایطی برای عوامل کنترل نشده در نظر گرفته شده بود؟
- ۲۶ آیا برنامه خاصی برای از دست دادن بیماران داشتید؟
- ۲۷ آیا مقالات قابل اعتماد و استناد هستند؟

جدول ۲: نتایج ارزیابی کیفیت مقالات

آیتم‌های پرسش‌نامه داون و بلک	پاینده و همکاران (۱۰)	قادری و همکاران (۲۰)	گیلکریست و همکاران (۲۷)	افضلی‌نسب و همکاران (۱۵)	نوروزی و همکاران (۲)	نوروزی و همکاران (۱۱)	برزگر و همکاران (۹)	محمدی ده چشمه و همکاران (۲۱)	دانیل نیدرر و همکاران (۱۴)	ناگلی و همکاران (۱۷)
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰
۹	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱
۱۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱
۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۲	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۴	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰
۱۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۱۶	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱
۱۷	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۲۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰
۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰
۲۵	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰
۲۶	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱
۲۷	۴	۵	۵	۴	۴	۴	۵	۵	۴	۳
مجموع امتیازات/ درصد کیفیت	۲۶	۲۵	۲۸	۲۴	۲۱	۲۱	۲۸	۲۶	۳۰	۱۹
	٪۸۱/۲۵	٪۷۸/۱۲	٪۸۷/۵۰	٪۷۵/۰۰	٪۶۵/۶۲	٪۶۵/۶۲	٪۸۷/۵۰	٪۸۱/۲۵	٪۹۳/۷۵	٪۵۹/۳۸

نتایج

در این پژوهش، یافته‌های به‌دست‌آمده از ۱۰ مقاله بررسی شد. در مطالعه حاضر ۸۶۹ مقاله با استفاده از کلمات کلیدی جستجو شد. با توجه به معیارهای ورود مطالعه تنها ۱۰ مقاله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هر یک از مطالعات به جنبه‌های مختلفی از تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی و بازخوردی در افراد با آسیب یا بازسازی ACL پرداخته‌اند. بررسی داده‌ها در این مطالعه مروری نشان داد که میانگین امتیاز مطالعات ۲۴/۷ است که نشان‌دهنده کیفیت روش‌شناسی متوسط به بالا در اکثر مطالعات است، از طرفی در مجموع کل میانگین نمرات کسب شده برای مقالات مورد بررسی از کیفیت ۷۷/۱۹ درصدی برخوردار بود. بالاترین کیفیت مربوط به یک مقاله با کسب نمره کیفیت ۹۳/۷۵ درصد و کمترین کیفیت مقاله نیز مربوط به یکی از مقالات با کیفیت ۵۹/۳۸ درصدی بود (جدول ۲). بر اساس تحلیل جامع ۱۰ مطالعه منتخب (شامل کارآزمایی‌های بالینی، نیمه‌تجربی و کوهورت)، می‌توان نتیجه گرفت که تمرینات عصبی-عضلانی و متقاطع به‌ویژه در بازه زمانی ۶ تا ۱۲ هفته با تکرار ۳ جلسه در هفته، تأثیرات بالینی معناداری بر بهبود متغیرهای کلیدی پس از آسیب ACL دارند. این تأثیرات شامل: بهبود کنترل عصبی-عضلانی:

افزایش فعالیت الکتریکی عضلات در مطالعه پاینده و همکاران، کاهش خطای حس عمقی زانو در مطالعات قادری و همکاران و بهبود مکانیک پرش در مطالعه نوروزی و همکاران، بهبود عملکرد حرکتی: ارتقای تعادل پویا در مطالعات افضلی‌نسب و برزگر و همکاران و کاهش خطر آسیب مجدد در مطالعه گیلکریست و همکاران و بهینه‌سازی بیومکانیک: تنظیم زوایای مفصل زانو و توزیع گشتاور در مطالعه ناگلی و همکاران بوده است. ترکیب تمرینات با تکالیف دوگانه توسط محمدی ده‌چشمه و همکاران هم‌چنین در مطالعه برزگر و همکاران به‌عنوان یک رویکرد نوین، عملکرد حرکتی را نسبت به تمرینات استاندارد بهینه‌تر کرده است. تفاوت‌های جنسیتی در برنامه‌های پیشگیرانه مانند (Prevent Injury and Enhance Performance) در زنان در مطالعه گیلکریست و همکاران و تمرینات قدرتی در مردان در مطالعه نوروزی و همکاران نتایج متمایزی داشته‌اند. چالش پایداری نتایج در برخی مداخلات مثل (Stop-X) در مطالعه نیدر و همکاران اگرچه در کوتاه‌مدت مؤثر بودند، اما نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت داشتند. نتایج حاصل از بررسی مقالات به‌طور خلاصه در (جدول ۳)، ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج مقالات ارزیابی شده

ردیف	نام نویسنده	نام مجله و سال انتشار	نوع تحقیق	نمونه آماری، سن، جنس	هدف مطالعه	نوع تمرین، مدت مداخله و تعداد جلسات	تعداد آزمودنی‌ها و نوع عارضه	نتایج اصلی
۱	پاینده و همکاران (۱۰)	Journal of Bodywork & Movement Therapies (۲۰۲۴)	نیمه تجربی	مردان دارای آسیب ACL در سنین ۱۸-۴۰ سال	بررسی تأثیر تمرین متقاطع بر فعالیت الکتریکی عضلانی و کیفیت عملکردی در ورزشکاران با آسیب ACL	تمرینات متقاطع، (Cross-Training) ۸ هفته	۳۰ نفر (۱۵) تمرین ۱۵، ACL، کنترل	تمرین متقاطع باعث افزایش فعالیت عضلانی و بهبود کنترل حرکتی در پای آسیب‌دیده شده است.
۲	قادری و همکاران (۲۰)	Clinical Biomechanics (۲۰۲۰)	کارآزمایی بالینی تصادفی	مردان دارای آسیب ACL در سنین ۱۸-۳۰ سال	تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر حس عمقی زانو پس از بازسازی ACL	۸ هفته، ۲-۳ جلسه/هفته	۲۴ ورزشکار (۱۲) تمرین، ۱۲ کنترل	کاهش معنادار خطای حس موقعیت زانو که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تمرینات بر بهبود حس موقعیت زانو در ورزشکاران پس از جراحی ACLR بوده است.
۳	گیلکریست و همکاران (۲۷)	The American Journal of Sports Medicine (۲۰۰۸)	کارآزمایی تصادفی کنترل شده	زنان دارای آسیب ACL در سنین ۱۸-۲۳ سال	کاهش آسیب ACL غیرتماسی با برنامه گرم کردن جایگزین	تمرینات PEP (Prevent Injury and Enhance Performance)، ۱۲ جلسه در فصل	۱۴۳۵ ورزشکار (۵۸۳) مداخله، ۸۵۲ کنترل	برنامه که بر کنترل عصبی-عضلانی تمرکز دارد، موجب کاهش خطر آسیب ACL در فوتبالیست‌های زن دانشگاهی شده است
۴	افضلی نسب و مکاران (۱۵)	Research in Sport Medicine and Technology (۲۰۲۴)	نیمه تجربی کاربردی	زنان دارای آسیب ACL در سنین ۱۳-۱۸ سال	تأثیر تمرینات بازخوردی عصبی-عضلانی بر تعادل و قدرت در بسکتبالیست‌های دختر	۸ هفته، ۳ جلسه/هفته	۲۰ نفر (۱۰) مداخله، ۱۰ کنترل	تمرینات با بازخورد خارجی به طور مؤثری بهبود تعادل پویا و قدرت زانو با بازخورد خارجی در بسکتبالیست‌های دختر شده است
۵	نوروزی و همکاران (۲)	Sports Medicine Studies (۲۰۱۸)	نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون	مردان دارای آسیب ACL در سنین ۲۰-۳۰ سال	تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر حس وضعیت زانو و تعادل پس از بازسازی ACL	۸ هفته، ۳ جلسه/هفته	۲۴ ورزشکار (۱۲) تمرین، ۱۲ کنترل	تمرینات عصبی-عضلانی در ناحیه مرکزی بدن و ران توانسته تأثیر قابل توجهی بر بهبود حس وضعیت مفصل زانو و تعادل ایستا در ورزشکاران دارای سابقه بازسازی رباط صلیبی قدامی داشته باشد
۶	نوروزی و همکاران (۱۱)	Journal of Research in Sport Rehabilitation (۲۰۱۸)	نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون	مردان دارای آسیب ACL در سنین ۲۰-۳۰ سال	تأثیر تمرینات قدرتی بر قدرت مرکزی و مکانیک پرش پس از جراحی ACL	۸ هفته، ۳ جلسه/هفته	۲۴ ورزشکار (۱۲) تمرین، ۱۲ کنترل	تمرینات قدرتی بهبود قابل توجهی در قدرت عضلانی و مکانیک‌های پرش و فرود ایجاد کرده و موجب بهبود قدرت عضلانی و کاهش خطر آسیب مجدد ACL شده است.

۷	Research in Sport Medicine and Technology (۲۰۲۴)	برزرگر و همکاران (۹)	نیمه تجربی	مردان دارای آسیب ACL در سنین ۳۰-۱۸ سال	مقایسه تمرینات عصبی-عضلانی با/بدون تکالیف دوگانه بر حس عمقی و تعادل	۸ هفته، ۳ جلسه/هفته	۳۹ فوتبالیست (۱۳ کنترل، ۱۳ تمرین، ۱۳ تمرین+تکالیف)	تمرینات عصبی-عضلانی همراه با تکالیف دوگانه به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود عملکرد اندام تحتانی، بر اساس آزمون تعادلی Y، در ورزشکارانی که دچار نقص در لیگامان صلیبی قدامی شناخته شد
۸	Ilam University of Medical Sciences (۲۰۲۳)	محمدی ده‌چشمه و همکاران (۲۱)	نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون	مردان دارای آسیب ACL در سنین ۳۰-۲۰ سال	تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر حس عمقی زانو و مچ پا در فوتبالیست‌های مستعد آسیب ACL	۶ هفته، ۳ جلسه/هفته	۲۴ دانشجو (۱۲ تمرین، ۱۲ کنترل)	تمرینات عصبی-عضلانی، به‌ویژه وقتی با تکالیف دوگانه ترکیب شدند، تأثیر مثبت و معناداری بر حس عمقی و تعادل دینامیک ورزشکاران مبتلا به نقص لیگامان صلیبی قدامی داشتند. این تمرینات نه تنها عملکرد کمی، بلکه کیفیت حرکات اندام تحتانی را نیز بهبود بخشیدند. استفاده از این رویکرد می‌تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر در بازتوانی ورزشکاران در نظر گرفته شود.
۹	Annals of Physical and Rehabilitation Medicine (۲۰۲۴)	دانیل نیدرر و همکاران (۱۴)	کارآزمایی تصادفی شده دوسوکور، چند مرکزی	مردان و زنان دارای آسیب ACL در سنین ۳۵-۱۸ سال	مقایسه برنامه توانبخشی عصبی- عضلانی (Stop-X) با مراقبت معمول پس از جراحی ACL	۵ ماه، ۳ جلسه/هفته	۱۱۲ نفر Stop-X، ۵۵ کنترل)	مداخله Stop-X توانست به بهبود عملکرد حرکات پرش و جست‌وخیز کمک کند، اما این تأثیرات در همه ورزشکاران مشاهده نشد، این روش در مقایسه با مراقبت‌های معمول نتایج بهتری ارائه داد، اما این مزیت پس از ۵ ماه پایدار نبود
۱۰	Clinical Journal of Medicine (۲۰۱۹)	ناگلی و همکاران (۱۷)	مطالعه کوهورت	(۱۶ مرد، ۱۲ زن) دارای آسیب ACL با میانگین ۱۹ سال	بهبود نقایص بیومکانیکی زانو پس از بازسازی ACL	۱۲ هفته، ۳ جلسه/هفته	۲۸ نفر (۱۸ تمرین، ۱۰ کنترل)	ورزشکاران با سابقه ACLR پس از تمرین، زاویه فلکشن زانو را افزایش و گشتاور فلکشن زانو را کاهش دادند و هم‌چنین زاویه آداکشن زانو در آن‌ها بیشتر بود.

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر تمرینات عصبی-عضلانی بر تغییرات بیومکانیکی ورزشکاران با سابقه آسیب رباط صلیبی ACL طی حرکات انتقالی بود. بررسی سه مقاله نشان داد که این تمرینات به بهبود قدرت ایزومتریک عضلات و کاهش خطای پرش-فرود کمک می‌کنند. هم‌چنین یافته‌های دو مقاله حاکی از بهبود تعادل دینامیک در جهت‌های مختلف طی حرکات انتقالی بود. نتایج یک مقاله نشان داد که تمرینات عصبی-عضلانی زاویه فلکشن زانو را افزایش و گشتاور فلکشن را کاهش می‌دهند، که می‌تواند خطر آسیب مجدد را کم کند. یافته‌های دو مقاله نیز تأیید کرد که حس عمقی زانو و مچ پا در حرکات انتقالی بهبود می‌یابد. در نهایت، بررسی یک مقاله نشان داد که برنامه‌هایی مثل Stop-X در کوتاه‌مدت عملکرد بیومکانیکی را طی حرکات انتقالی تقویت می‌کنند، هرچند این اثر در طولانی‌مدت پایدار نماند. همگرایی یافته‌ها در بهبود متغیرهای عصبی-عضلانی مطالعات نشان داد که تمرینات عصبی-عضلانی (Neuromuscular Training) به‌طور معناداری بر بهبود تعادل پویا، قدرت عضلانی، حس عمقی (proprioception) و کنترل حرکتی در ورزشکاران، به‌ویژه افرادی با سابقه آسیب ACL، تأثیرگذار بود. این یافته‌ها از طریق مکانیسم‌های متعددی قابل توجیه بودند: بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی: مطالعاتی مانند پاینده و همکاران در سال ۲۰۲۴ (۱۰) و Gilchrist و همکاران در سال ۲۰۰۸ (۲۷) نشان دادند که NMT با افزایش فعالیت همزمان عضلات همسترینگ (بایسپس فموریس) و کوادریسپس، منجر به کاهش جابجایی قدامی تیبیا و نیروهای برشی روی ACL می‌شود. این امر با نتایج هیووت و همکاران در سال ۲۰۱۳ همسوست که کاهش ۶۰ درصدی خطر آسیب ACL را با تقویت این عضلات گزارش کردند.

بهبود پایداری دینامیک: برنامه‌هایی مانند PEP که ترکیبی از تمرینات پلايومتریک، تعادلی و تقویتی هستند، نه‌تنها نوسانات مرکز فشار (COP) را کاهش می‌دهند، بلکه با افزایش سفتی عضلانی-تاندونی، از حرکات پرخطر (مثل

والگوس زانو) در حرکات انتقالی جلوگیری می‌کنند. تمرینات عصبی-عضلانی در تعدیل بیومکانیک حرکات انتقالی نقش بسیار مهمی داشت. حرکات انتقالی (مثل تغییر جهت ناگهانی، پرش و فرود) نیازمند کنترل عصبی-عضلانی دقیق هستند. یافته‌های این مرور نشان داد که NMT با دو مکانیسم اصلی بر این حرکات تأثیر می‌گذارد: کاهش نیروهای مخرب: مطالعاتی که از صفحه نیرو (Force Plate) استفاده کرده‌اند (مثل پاینده و همکاران، در سال ۲۰۲۴ (۱۰)، کاهش معنادار نیروی عمودی عکس‌العمل زمین (vGRF) و نیروی برشی قدامی را گزارش کردند که مستقیماً با کاهش بار روی ACL مرتبط است.

بهبود حس عمقی و بازخورد حسی: پژوهش قادری و همکاران در سال ۲۰۲۰ (۲۰) تأکید کردند که NMT با جبران نقص حس عمقی پس از آسیب ACL، خطاهای حرکتی را در حرکات پویا کاهش می‌دهد. این یافته با نظریه «کنترل پیش‌بینانه‌ی حرکتی» سازگار است که نشان می‌دهد مغز با دریافت بازخوردهای حسی دقیق‌تر، الگوهای حرکتی را اصلاح می‌کند. برخی ناهمخوانی‌ها، ناهمگونی‌ها و چالش‌های روش‌شناختی با وجود شواهد قانع‌کننده، در نتایج نشان می‌دهد که عمدتاً ناشی از عوامل زیر است: تفاوت در ابزارهای سنجش: مطالعاتی مانند افضل‌نسب و همکاران در سال ۲۰۲۴ (۱۵) که از سیستم‌های ساده تعادل مثل (BESS) استفاده کردند، بهبودهای ایستا را گزارش داده‌اند، در حالی‌که پژوهش‌های مبتنی بر تحلیل سه‌بعدی حرکت (مثل مطالعات پاینده) تغییرات دینامیک را ارزیابی کرده‌اند.

تنوع در پروتکل‌های تمرینی: مدت زمان مداخلات (از ۶ تا ۱۲ هفته)، نوع تمرینات (پلايومتریک در مقابل مقاومتی) و شدت آن‌ها می‌تواند بر نتایج تأثیر بگذارد. برای مثال، برنامه PEP که ۳ جلسه در هفته به مدت ۸ هفته اجرا شد، تأثیر بهتری نسبت به برنامه‌های کوتاه‌مدت داشت. تفاوت در تعداد آزمودنی‌های مطالعه: ورزشکاران زن (با ریسک بالاتر آسیب ACL) نسبت به مردان، پاسخ متفاوتی به NMT نشان داده‌اند. هم‌چنین، ورزش‌های پربرخورد (مثل فوتبال) در مقایسه با ورزش‌های کم‌برخورد (مثل شنا) نیاز به پروتکل‌های

بتوانند به راهکارهای عملی و مؤثر برای کاهش آسیب ACL و بهبود عملکرد ورزشکاران دست یابند.

نتیجه گیری

این بررسی سیستماتیک نشان می‌دهد که تمرینات عصبی-عضلانی (NMT) به عنوان یک راهکار مؤثر در بهبود متغیرهای بیومکانیکی ورزشکاران با سابقه آسیب ACL عمل می‌کنند. این تمرینات با مکانیسم‌های کلیدی از جمله بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی (کاهش جابجایی قدامی تیبیا و نیروهای برشی روی ACL)، تقویت تعادل پویا (کاهش نوسانات مرکز فشار) و بازسازی حس عمقی، منجر به تعدیل الگوهای حرکتی پرخطر در حرکات انتقالی می‌شوند. همچنین، تأثیر مثبت NMT بر کاهش زاویه فلکشن زانو و گشتاورهای مخرب، از عوامل کلیدی در پیشگیری از آسیب‌های مجدد است. با این حال، ناهمگونی در پروتکل‌های تمرینی و تفاوت‌های جمعیت‌شناختی (مانند جنسیت و نوع ورزش) چالش‌هایی را در تعمیم‌پذیری نتایج ایجاد کرده می‌کند.

سپاس‌گزاری

از تمامی افرادی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند، قدردانی می‌کنیم.

حامی مالی: ندارد.

تعارض در منافع: وجود ندارند.

ملاحظات اخلاقی

پروپوزال این تحقیق توسط دانشگاه محقق اردبیلی تایید شده است (کد اخلاق کد پراسپرو CRD420251244169).

مشارکت نویسندگان

دکتر فرهاد رضازاده در ارائه ایده، دکتر شیرین عالی در طراحی مطالعه، آقای فریبرز ایمانی در جمع‌آوری داده‌ها، خانم نسترن مرادزاده و خانم فاطمه رضایی عرفان در تجزیه و تحلیل داده‌ها مشارکت داشته و همه نویسندگان در تدوین، ویرایش اولیه و نهایی مقاله و پاسخگویی به سوالات مرتبط با مقاله سهیم هستند.

اختصاصی‌تری دارند. تحلیل این نتایج بیانگر آن است که تمرینات عصبی-عضلانی می‌توانند ابزار مؤثری برای بهبود تغییرات بیومکانیکی در ورزشکاران با سابقه آسیب ACL باشند، به‌ویژه در حرکات انتقالی که نیاز به هماهنگی و کنترل دقیق دارند. این تمرینات با تقویت عضلات کلیدی مثل بایسپس فموریس و کوادریسپس، فشارهای وارد بر زانو را کاهش می‌دهند و با بهبود تعادل و حس عمقی، پایداری مفصل را طی فعالیت‌های پویا افزایش می‌دهند. مکانیسم اصلی این اثرگذاری، افزایش هماهنگی عصبی-عضلانی بین عضلات آگونیست و آنتاگونیست است که منجر به کاهش نیروهای برشی قدامی تیبیا و محافظت از ACL می‌شود. همسویی این یافته‌ها با مطالعات قبلی نشان می‌دهد که این روش می‌تواند در برنامه‌های توانبخشی و پیشگیری از آسیب مجدد به کار رود. برای مثال، بهبود قدرت ایزومتریک عضلات همسترینگ و کوادریسپس در مطالعه نوروزی و همکاران در سال ۲۰۱۸ (۱۱) با یافته‌های Hewitt Classic و همکاران در سال ۲۰۱۳ همسو است که نشان دادند تقویت این عضلات خطر آسیب ACL را تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد. مربیان و متخصصان توانبخشی می‌توانند از این تمرینات برای کاهش خطر آسیب و کمک به ورزشکاران برای بازگشت ایمن‌تر و مؤثرتر به سطح عملکرد قبلی‌شان استفاده کنند، به شرطی که برنامه‌ها با تکرار کافی و تمرکز بر جنبه‌های عصبی و حرکتی اجرا شوند.

محدودیت‌های مطالعه : تنوع روش‌شناختی مطالعات مرور شده (تفاوت در ابزارهای ارزیابی)، تفاوت در پروتکل‌های تمرینی (مدت زمان مداخلات، تنوع در نوع تمرینات و شدت اجرا)، ویژگی‌های جمعیت‌شناختی (عدم یکنواختی در جنسیت شرکت‌کنندگان)، تنوع در سطح مهارت و نوع ورزش (ورزش‌های پربرخورد در مقابل کم‌برخورد) و عدم وجود پیگیری بلندمدت.

پیشنهادات برای تحقیقات آینده: اولویت اصلی در پژوهش‌های آینده باید بر روی استانداردسازی پروتکل‌های تمرینی، استفاده از ابزارهای پیشرفته مانند تحلیل سه‌بعدی حرکت و صفحه نیرو برای ارزیابی دقیق‌تر تغییرات بیومکانیکی، شخصی‌سازی برنامه‌ها (تطبیق تمرینات با ویژگی‌های فردی)، تأکید بر پایداری نتایج در بلندمدت، افزایش آگاهی مربیان و متخصصان متمرکز باشد تا

References:

- 1-Gamble Ch, Atassi M, Hoggett L, Barkatali B. *The Socioeconomic Impact of Anterior Cruciate Ligament Injury: The Patients Perspective*. Journal of Orthopedics and Sports Medicine 2024; 6(3): 152-5.
- 2-Norouzi K, Mahdavi Nejad R, Mohammadi M. *Effect of Core and Hip Neuromuscular Training on Knee Joint Position Sense and Static Balance of Male Athletes with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*. SSM 2019; 11(25): 109-26.
- 3-Torabi Z, Norasteh A, Mottaghtalab M. *The Effect of Dynamic Neuromuscular Stability (DNS) Exercises on Knee Functional Tests in Female Athletes*. JPSR 2024; 13(2): 51-62.
- 4-Belkhehladi M, Cierson T, Martineau PA. *Biomechanical Risk Factors for Increased Anterior Cruciate Ligament Loading and Injury: A Systematic Review*. Orthop J Sports Med 2025; 13(2): 23259671241312681.
- 5-Amis AA. *The Functions of the Fibre Bundles of the Anterior Cruciate Ligament in Anterior Drawer, Rotational Laxity and the Pivot Shift*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2012; 20(4): 613-20.
- 6-Inoue M, McGurk-Burleson E, Hollis JM, Woo SL. *Treatment of the Medial Collateral Ligament Injury: I: The Importance of Anterior Cruciate Ligament on the Varus-Valgus Knee Laxity*. AJSM 1987; 15(1): 15-21.
- 7-Levine JW, Kiapour AM, Quatman CE, Wordeman SC, Goel VK, Hewett TE, et al. *Clinically Relevant Injury Patterns after an Anterior Cruciate Ligament Injury Provide Insight into Injury Mechanisms*. Am J Sports Med 2013; 41(2): 385-95.
- 8-Matsumoto H, Suda Y, Otani T, Niki Y, Seedhom BB, Fujikawa K. *Roles of the Anterior Cruciate Ligament and the Medial Collateral Ligament in Preventing Valgus Instability*. J Orthop Sci. 2001; 6(1): 28-32.
- 9-Barzegar M, Hadadnezhad M, Sadraddin Sh, Lotfatkhar A, Fouladi R. *Comparison of the Effect of Eight Weeks of Neuromuscular Training with and without Cognitive Dual Tasks on Proprioception and Balance in Athletes with Anterior Cruciate Ligament Deficiency*. SMT 2023; 21(26): 141-58.
- 10-Payandeh M, Daneshmandi H. *Investigating the Effect of a Cross-Training Program on the Intensity and Quality of Activity in Selected Muscles of Athletes with Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury*. J Bodyw Mov Ther 2025; 42: 265-73.
- 11-Norouzi K, Mahdavinezhad R, Mohammadi M, Ariamanesh A. *The Effect of Neuromuscular Training on Hip Strength, Core and Jump-Landing Mechanics in Athletes with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*. SR 2019; 7(13): 77-89.
- 12-Niederer D, Giesche F, Janko M, Niemeyer P, Wilke J, Engeroff T, et al. *Unanticipated Jump-Landing Quality in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: How Long after the Surgery and Return to Sport Does the Re-Injury Risk Factor Persist?* Clin Biomech (Bristol) 2020; 72: 195-201.
- 13-Niederer D, Engeroff T, Wilke J, Vogt L, Banzer W. *Return to Play, Performance, And Career*

- Duration after Anterior Cruciate Ligament Rupture: A Case-Control Study in the Five Biggest Football Nations in Europe.* Scand J Med Sci Sports 2018; 28(10): 2226-33.
- 14- Niederer D, Keller M, Schüttler KF, Schoepp C, Petersen W, Best R, et al. *Late-Stage Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Multicentre Randomised Controlled Trial (Prep).* Ann Phys Rehabil Med 2024; 67(4): 101827.
- 15- Afzalinasab R, Daneshjoo A, Sahebozamani M. *The Effect of 8 Weeks of Feedback and Feed Forward Neuromuscular Training on Balance and Strength in Female with High Risk of Injury.* Research in Sport Medicine and Technology 2024; 22(28): 31-51.
- 16- Mohammadi H, Daneshmandi H, Alizadeh M. *Effect of Corrective Exercises Program on Strength ROM, And Performance In Basketball Players with Dynamic Knee Valgus.* J Rehab Med 2019; 8(3): 29-41.
- 17- Nagelli CV, Wordeman SC, Di Stasi S, Hoffman J, Marulli T, Hewett TE. *Neuromuscular Training Improves Biomechanical Deficits at the Knee in Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Athletes.* Clin J Sport Med. 2021; 31(2): 113-19.
- 18- Söderman K, Werner S, Pietilä T, Engström B, Alfredson H. *Balance Board Training: Prevention of Traumatic Injuries of the Lower Extremities in Female Soccer Players? A Prospective Randomized Intervention Study.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2000; 8(6): 356-63.
- 19- Arundale AJ, Bizzini M, Giordano A, Hewett TE, Logerstedt DS, Mandelbaum B, et al. *Exercise-Based Knee and Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Academy of Orthopaedic Physical Therapy and the American Academy of Sports Physical Therapy.* J Orthop Sports Phys Ther 2018; 48(9): A1-A42.
- 20- Ghaderi M, Letafatkar A, Almonroeder TG, Keyhani S. *Neuromuscular Training Improves Knee Proprioception in Athletes with a History of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial.* Clin Biomech (Bristol) 2020; 80: 105157.
- 21- Dehcheshmeh RM, Shojaedin S, Abbasi A. *Investigating the Effect of Neuromuscular Training on the Proprioception of Knee and Ankle Joints in Male Soccer Player Students Prone to Anterior Cruciate Ligament Injury in Khorazmi University, Tehran, 2018.* J Ilam Uni Med Sci 2023; 31(4): 22-35.
- 22- Alamouti G, Letafatkar A. *Effect of Movement Pattern Correction on Performance, Balance, and Proprioception in Active Females Prone to Anterior Cruciate Ligament Injury.* SciJRehMed 2020; 9(1): 102-13.
- 23- Jomhouri S, Talebian S, VaezMousavi MK, Sadjadi-Hazaveh SH. *Training Modifies Corticomotor Function in Walking Activity in Athletes with Anterior Cruciate Ligament Rupture.* Scientific Journal of Rehabilitation Medicine 2024; 13(5): 1002-21.
- 24- Barker KL, Dawes H, Hansford P, Shamley D. *Perceived and Measured Levels of Exertion of Patients with Chronic Back Pain Exercising in a Hydrotherapy Pool.* Arch Phys Med Rehabil 2003; 84(9): 1319-23.

- 25- Hargrave MD, Carcia CR, Gansneder BM, Shultz SJ. *Subtalar Pronation Does Not Influence Impact Forces or Rate of Loading during a Single-Leg Landing*. J Ath Train 2003; 38(1): 18-23.
- 26- Hormati AH, Piri E, Jafarnejhadgero AA. *A Review of Physiological and Biomechanical Injuries in Wrestling*. J Sports Biomech 2023; 9(2): 90-111.
- 27- Gilchrist J, Mandelbaum BR, Melancon H, Ryan GW, Silvers HJ, Griffin LY, et al. *A Randomized Controlled Trial to Prevent Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Collegiate Soccer Players*. Am J Sports Med 2008; 36(8): 1476-83.

Effect of Neuromuscular Training on Biomechanical Variables of Athletes with a History of Anterior Cruciate Ligament Injury During Transitional Movements: A Systematic Review

Shirin Aali¹, Farhad Rezazadeh^{*2}, Fariborz Imani¹, Nastaran Moradzadeh¹, Fatemeh Rezaee Erfan²

Original Article

Introduction: Anterior Cruciate Ligament (ACL) injury is one of the most common sports injuries that often leads to disruption of biomechanical variables of transitional movements. This systematic review aimed to investigate the effect of neuromuscular training on improving these variables in athletes with a history of ACL injury.

Methods: This systematic review was conducted following the PRISMA guidelines and involved searching PubMed, Scopus, Web of Science, SID, Noormags, and Google Scholar search engine from January 2005 to February 2025. Out of the 869 identified articles, 10 studies that fulfilled the inclusion criteria (clinical trials, semi-experimental and/or cohort studies) with a minimum of 6 weeks of intervention were selected, and quality was assessed using the Down and Black questionnaire.

Results: This systematic review examined only 10 studies that fulfilled the inclusion criteria. Neuromuscular and cross-training exercises for 6 to 12 weeks, conducted 3 times per week, resulted in significant improvements in neuromuscular control (increased muscle electrical activity, reduced knee proprioception error, and improved jumping mechanics), motor function, and knee biomechanics.

Conclusion: Neuromuscular training improved biomechanical variables in athletes with ACL injuries by improving neuromuscular coordination, dynamic balance, and proprioception. It was also effective in preventing re-injury by reducing knee flexion angle and destructive torques, although heterogeneity of protocols and individual differences limited the generalizability of the results.

Keywords: Anterior cruciate ligament injury, Motor function, Neuromuscular training, Systematic review.

Citation: Aali SH, Rezazadeh F, Imani F, Moradzadeh N, Rezaee Erfan. **Effect of Neuromuscular Training on Biomechanical Variables of Athletes with a History of Anterior Cruciate Ligament Injury During Transitional Movements: A Systematic Review.** J Shahid Sadoughi Uni Med Sci 2026; 33(10): 9456-71.

¹Department of Physical Education, Farhangian University, Tehran, Iran.

²Department of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

***Corresponding author:** Tel: 09120198026, email: rezazadeh.farhad@uma.ac.ir