



تأثیر تمرینات عصبی عضلانی بر قدرت عضلات هیپ، ناحیه مرکزی و مکانیک‌های پرش - فرود در ورزشکاران با بازسازی رباط صلیبی قدامی

کاظم نوروزی^۱، رضا مهدوی نژاد^{۲*}، محمدرضا محمدی^۳، امیرشهریار آریامنش^۴

۱. دانشجوی دکتری آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان
۲. دانشیار، گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان
۳. استادیار، گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری
۴. جراح زانو، دانشیار دانشگاه علوم پزشکی مشهد

دریافت ۱۴ بهمن ۱۳۹۷؛ پذیرش ۱۱ اردیبهشت ۱۳۹۸

واژگان کلیدی

بازسازی رباط صلیبی قدامی

آسیب مجدد

ناحیه مرکزی

مکانیک پرش - فرود

چکیده

زمینه و هدف: شیوع بالای آسیب مجدد رباط بازسازی شده یکی از مسائل پیچیده پس از عمل جراحی است. هدف از تحقیق حاضر تأثیر تمرینات عصبی عضلانی بر قدرت عضلات هیپ، ناحیه مرکزی و مکانیک‌های پرش - فرود در ورزشکاران با بازسازی رباط صلیبی قدامی بود.

روش بررسی: تعداد ۲۴ ورزشکار با سابقه بازسازی رباط صلیبی قدامی به صورت هدفمند و در دسترس انتخاب و به صورت تصادفی به دو گروه تجربی و کنترل تقسیم شدند. قبل و بعد از پروتکل تمرینات عصبی عضلانی (۸ هفته، ۳ جلسه در هفته) از هر دو گروه ارزیابی قدرت ایزومتریک عضلات هیپ، استقامت عضلات ناحیه مرکزی و مکانیک‌های پرش فرود به ترتیب با استفاده از دینامومتر ایزوکنتریک، آزمون‌های ثبات مرکزی مک گیل و پرسشنامه امتیازدهی خطای پرش - فرود به عمل آمد. اطلاعات با استفاده از آزمون تی همبسته و آزمون آنوا برای اندازه‌های تکراری در سطح معناداری ($P < 0.05$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج تغییرات درون گروهی گروه تجربی نشان داد که میزان قدرت ایزومتریک عضلات، استقامت عضلات ناحیه مرکزی و امتیاز خطای پرش - فرود در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون بهبود معنی‌داری داشت ($P < 0.05$) که این تغییرات در گروه کنترل معنی‌دار نبود. همچنین تغییرات بین گروهی در دو گروه تجربی و کنترل در تمام متغیرها ($P < 0.05$) تفاوت معناداری را نشان داد.

نتیجه‌گیری: براساس این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که بخش‌های بالای زانو اثر قابل توجهی روی استراتژی‌های کنترل حرکتی دارد. آگاهی از این امر می‌تواند عاملی برای طراحی بهتر برنامه‌های تمرینی جلوگیری از آسیب ACL و همچنین برنامه‌های جلوگیری از آسیب مجدد باشد.

* اطلاعات نویسنده مسئول. تلفن: ۰۳۱۳۷۹۳۲۵۸۱

✉ پست الکترونیکی: rezamahdavinejad45@gmail.com

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22084/RSR.2019.18377.1434

مقدمه

پارگی ACL یکی از شایع‌ترین، مخرب‌ترین و پرهزینه‌ترین صدمات ورزشی مربوط به زانو است (سیمینو و همکاران، ۲۰۰۵). تحقیقات شیوع سنجی نشان داده‌اند که میزان آسیب ACL در ایالات متحده در سال ۱۹۹۱ به میزان ۹۵۰۰۰ (میاساکا و همکاران، ۱۹۹۱)، ۱۰۰۰۰۰ در سال ۲۰۰۰ (هاستون و همکاران، ۲۰۰۰) و ۲۰۰۰۰۰ نفر در سال ۲۰۰۶ بوده است (ویجت و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین تعداد بازسازی این لیگامنت در سال ۱۹۹۴ به میزان ۵۰۰۰۰ نفر بود (جانسون و فو، ۱۹۹۴) که این میزان در سال ۲۰۰۶ به ۱۰۰۰۰۰ نفر رسیده است (ویجت و همکاران، ۲۰۰۶). این آسیب بیشتر در ورزش‌هایی که نیازمند حرکات برشی، چرخشی، ایستادن‌های ناگهانی و یا فرود پس از یک پرش است شایع بوده و اغلب به صورت غیر برخوردی اتفاق می‌افتد (بودن و همکاران، ۲۰۰۰؛ دلفیکو و گارت، ۱۹۹۸؛ تراینا و بومبرگ، ۱۹۹۷). پارگی رباط صلیبی قدامی اغلب منجر به افیوژن مفصل، ضعف عضلانی، تغییر حرکت و کاهش عملکرد فرد شده و باعث می‌شود که تعداد کمی از ورزشکاران بدون انجام عمل بازسازی بتوانند به سطح ورزشی قبل از آسیب برگردند (دانیل و همکاران، ۱۹۹۴).

بازسازی رباط صلیبی قدامی^۱ (ACLR) شیوه‌ای استاندارد برای حل مشکل آن دسته از ورزشکارانی است که می‌خواهند ورزش را در سطوح بالا انجام دهند (بینون و همکاران، ۲۰۰۵)، اما براساس گزارشات منتشر شده پیامدهای بازسازی از نظر اثربخشی بسیار متنوع (وایت، ۲۰۱۴) و ضعیف هستند (آردرن و همکاران، ۲۰۱۱؛ دان و همکاران، ۲۰۱۰؛ هارتینگان و همکاران، ۲۰۱۰) به طوری که در سال اول پس از جراحی کمتر از نیمی از ورزشکارانی که تحت عمل ACLR قرار می‌گیرند، توانایی بازگشت به ورزش را دارند (آردن و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین در تحقیقات برآورد کرده‌اند که از هر ۴ ورزشکاری که به صورت موفق به فعالیت برمی‌گردند یک ورزشکار دچار آسیب ثانویه زانو خواهد شد (های و همکاران، ۲۰۱۱؛ لیز و همکاران، ۲۰۱۲؛ پترنو و همکاران، ۲۰۱۰؛ شلبورن و همکاران، ۲۰۰۹) و دور از انتظار نیست که پیامدهای آسیب

ثانویه ACL و پس از آن رویژن^۲، نتایج مطلوبی نداشته باشد (اسپینلر و همکاران، ۲۰۱۱).

مطالعات قبلی در زمینه ACLR نشان دادند که احتمال تکرار آسیب ثانویه در زانویی که رباط آن بازسازی شده در حدود ۶ تا ۲۰ درصد گزارش شده (لیمن و همکاران، ۲۰۰۹؛ سالمون و همکاران، ۲۰۰۵؛ سمپسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ شلبورن و همکاران، ۲۰۰۹؛ رایست و همکاران، ۲۰۰۷) و این در حالی است که پارگی رباط بازسازی شده در مردان جوان حدود دو برابر زنان است (ویستر و فیلر، ۲۰۱۶). علاوه بر این مشاهدات اخیر نشان داده‌اند که افرادی که ACLR انجام داده‌اند، استراتژی‌های کنترل عصبی عضلانی متفاوتی را نسبت به کسانی که رباط آنها آسیب ندیده نشان داده‌اند (بودن و همکاران، ۲۰۰۹؛ دلهاننت، پرنودیول و همکاران، ۲۰۱۲؛ دلهاننت، سوینی و همکاران، ۲۰۱۲؛ لوماندر و همکاران، ۲۰۰۴؛ پترنو و همکاران، ۲۰۰۷) و جالب توجه است که این استراتژی و الگوی حرکتی پس از ACLR بسیار شبیه به الگوی حرکتی پیشنهادی برای مکانیسم پارگی غیربرخوردی ACL است (چادری و آندریاچی، ۲۰۰۶؛ دمپسی و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین گزارش شده است که بین ریسک فاکتورهای آسیب اولیه و ثانویه همپوشانی وجود دارد (هووت و همکاران، ۲۰۱۳)، به طوری که ریسک فاکتورهای آسیب اولیه و عوارض مداخله جراحی ممکن است همچنان پس از بازسازی باقی بمانند و احتمالاً به عنوان منبعی برای ریسک فاکتورهای آسیب پس از ACLR به شمار روند (وردمن و هووت، ۲۰۱۶).

الگوهای کینماتیک خاصی برای افرادی که دچار آسیب غیربرخوردی ACL می‌شوند؛ پیشنهاد شده است. ایرلند و همکاران برای درک عوامل بیومکانیکی پنهان در مکانیسم آسیب غیربرخوردی ACL، یک «وضعیت بدون برگشت^۳» را تعریف کردند (ایرلند، ۱۹۹۹). این وضعیت شامل فلکشن قدامی و یا جانبی تنه، چرخش تنه، آداکشن و چرخش داخلی هیپ، کاهش فلکشن زانو، ولگوس زانو، چرخش خارجی تیبیا، و پرونیشن پا می‌شود. آنها بیان کردند که تمرینات عصبی عضلانی عضلات پروگزیمال زانو مانند عضلات تنه و هیپ ممکن است بتواند از بکارگیری این

2. Revision (بازسازی مجدد گرفت بازسازی شده)

3. Position of no return

1. Anterior cruciate ligament reconstruction

موجب افزایش گشتاور آبداکتوری زانو شده و باعث می‌شود که زانو در وضعیت ولگوس قرار گیرد. فلکشن جانبی تنه مرکز ثقل بدن را نسبت به مفصل زانو به خارج هدایت می‌کند، از این رو گشتاور ولگوس خارجی بزرگتری روی زانو ایجاد می‌شود. در نتیجه با افزایش گشتاورهای خارجی ولگوس زانو در زاویه بین ۰ تا ۴۵ درجه فلکشن زانو مقدار بارگذاری روی ACL بیشتر می‌شود (فوکودا، ۲۰۰۳) و ثبات دینامیک زانو که به‌عنوان توانایی یک مفصل برای حفظ یک وضعیت پس از اغتشاش تعریف می‌شود به خطر می‌افتد. این ثبات مشروط به کنترل عصبی عضلانی همه‌ی بخش‌های بدن در حین حرکت است. نقص در کنترل عصبی عضلانی بخش‌های پروگزیمال زانو می‌تواند ثبات دینامیک اندام تحتانی را به خطر اندازد (لسی و همکاران، ۲۰۱۶؛ زازولاک و همکاران، ۲۰۰۷b).

الگوی کینماتیکی آسیب غیربرخوردی اولیه و نقش اثرگذار تنه و همچنین عوارض مداخله جراحی ممکن است پس از بازسازی باقی مانده و احتمالاً به‌عنوان منبعی برای ریسک فاکتورهای آسیب پس از ACLR به‌شمار روند (وردمن و هووت، ۲۰۱۶). تغییر در کنترل عصبی عضلانی یک ریسک فاکتور بسیار مهم برای آسیب ثانویه است (هووت و همکاران، ۲۰۱۳). فرض بر این است که هم در آسیب اولیه (هووت و همکاران، ۲۰۰۵؛ رادولف و همکاران، ۲۰۰۱؛ زازولاک و همکاران، ۲۰۰۷a؛ زازولاک و همکاران، ۲۰۰۷b) و هم آسیب مجدد ACL (پترنو و همکاران، ۲۰۱۰؛ تیمونی و همکاران، ۱۹۹۳)، نقص در کنترل عصبی عضلانی بخش‌های پروگزیمال زانو در هنگام حرکات دینامیک یکی از ریسک فاکتورهای اصلی است و می‌تواند بر تغییر بارگذاری روی زانو و ACL اثر نامطلوب بگذارد.

بدون تردید، سیستم‌های آنالیز حرکت آزمایشگاهی، دقیق‌ترین روش برای بررسی عوامل خطرزا هستند، با این وجود به علت محدودیت‌های زمانی و مالی، تحلیل داده‌های به‌دست آمده از این سیستم‌ها و استفاده از آنها برای شناسایی افراد با الگوهای حرکتی خطرزا در گروه‌های بزرگ عملی نمی‌باشد. آزمون سیستم امتیاز دهی خطای فرود (LESS)، یک ابزار میدانی بسیار ارزان قیمت بوده که خطاهای تکنیک پرش - فرود را در دامنه‌ای از آیت‌های مشهود در حرکت انسان محاسبه می‌کند (لیز و همکاران،

پاسچر خطرناک توسط ورزشکار در حین فعالیت ورزشی جلوگیری کند.

یکی از مهمترین مواردی که در بیومکانیک مکانیسم آسیب غیربرخوردی ACL خودنمایی می‌کند، اثر وضعیت تنه روی کینماتیک اندام تحتانی است (بلک بورن و پادوا، ۲۰۰۸). از آنجایی که تنه قسمت بسیار بزرگی از بدن است، لازم است در زمان فعالیت‌های ورزشی به‌طور کامل کنترل شود. زیرا هرگونه عدم کنترل ممکن است موجب افزایش بکارگیری گشتاور و نیازهای کینماتیکی عضلات اندام تحتانی شده و به‌طور بالقوه به آسیب منجر شود (جارویس، ۲۰۱۰). با این حال هنوز به‌طور کامل مشخص نیست که چگونه ثبات و حس عمقی تنه ممکن است به‌صورت مستقیم روی خطر آسیب ACL نقش داشته باشد (جارویس، ۲۰۱۰) ولی ثابت شده است که حرکت کنترل نشده و بیش از حد تنه در هنگام فعالیت‌های عملکردی روی حرکت و الگوهای بارگذاری نیرو اثر گذاشته و باعث می‌شود که تنه به‌عنوان یک جرم بسیار بزرگ در حین فعالیت‌های عملکردی در بالای پا قرار گیرد (جارویس، ۲۰۱۰). در همین راستا اسکیلی و دویتا (۱۹۹۲) پس از بررسی و مقایسه نیروهای عکس‌العمل زمین، موقعیت‌ها و گشتاورهای مفصل در حین فرودهای نرم و سفت در زنان بیان کردند که فلکشن تنه و هیپ در الگوهای حرکتی در صفحه ساجیتال مهم هستند و فلکشن کم در تنه و هیپ در هنگام فرود با افزایش نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در ارتباط است. همچنین زاویه کم فلکشن زانو نیز به میزان زیادی بارگذاری ACL را تحت تأثیر قرار می‌دهد زیرا انقباض عضلات چهارسررانی در زوایای کم فلکشن زانو (۰ تا ۳۰ درجه) می‌تواند مقدار قابل توجهی نیروی برشی قدامی در تیبیا تولید کند که این امر باعث ایجاد سطوح بالای بارگذاری روی ACL می‌شود (دی مورات و همکاران، ۲۰۰۴).

نتایج تحقیقات پیشین پیشنهاد می‌کند که حرکات تنه روی کینماتیک زانو اثر می‌گذارد و در نتیجه می‌تواند به‌طور بالقوه به‌عنوان یک ریسک فاکتور آسیب ACL شناخته شود و همچنین ارتباطی قوی بین فلکشن جانبی تنه و زاویه ولگوس زانو نشان داده شده است که در همین راستا دمپسی (۲۰۰۷) عنوان کرد که تمایل تنه به سمت جانب و قرارگیری پا دور از بدن در هنگام انجام حرکات برشی

مراحل تحقیق به طور کامل برای آزمودنی‌ها شرح داده شد و از آنها خواسته شد که در صورت تمایل برای شرکت در تحقیق فرم رضایت‌نامه و اطلاعات شخصی خود را کامل کنند.

اندازه‌گیری استقامت عضلات ناحیه مرکزی

برای این کار از پروتکل معتبر McGill که به منظور تعیین استقامت عضلات پایدارکننده تنه طراحی شده است استفاده شد (مگ گیل و همکاران، ۱۹۹۹). این پروتکل شامل سه آزمون است که استقامت تمامی عضلات تنه را می‌سنجد: آزمون اکستنسور تنه و آزمون‌های پلانک از جلو و به پهلو. از یک زمان‌سنج دستی برای ثبت مدت زمان حفظ وضعیت ایزومتریک توسط آزمودنی‌ها استفاده گردید. در بین هر آزمون، حداقل پنج دقیقه استراحت تعیین می‌شد. برای اندازه‌گیری استقامت عضلات اکستنسور تنه از تست اصلاح شده سورنسن استفاده شد. برای انجام این تست آزمودنی به صورت دمر روی تخت دراز می‌کشید بطوری که بدن از ناحیه لگن از لبه تخت آویزان بود. سپس اندام تحتانی شامل قسمت ران‌ها و ساق پاها به وسیله دو استرپ به صورت محکم به تخت ثابت شد. قبل از انجام تست و زمان استراحت بین هر تست یک تخت در جلوی آزمودنی قرار داده شده بود که بالاتنه را روی آن قرار دهد. برای شروع تست، دست‌ها به صورت ضربدری روی سینه قرار می‌گرفت و آزمودنی تنه خود را به سمت بالا حرکت می‌داد و زمانی که تمام بدن در یک راستا قرار می‌گرفت تست شروع می‌شد. از آزمودنی خواسته شد که بدن خود را تا هر زمانی که می‌تواند در این حالت نگه دارد. مدت زمان استقامت به صورت دستی و با استفاده از کرونومتر ثبت شد (تصویر الف). تست پلانک از پهلو برای اندازه‌گیری استقامت عضلات جانبی تنه این‌گونه بود که آزمودنی به پهلو روی یک مت (با ۲/۵ سانتی‌متر قطر) دراز می‌کشید و پاهای خود را به طور کامل صاف می‌کرد. پایی که در بالا قرار داشت برای حمایت در جلو پای پایینی قرار می‌گرفت. از آزمودنی خواسته شد هیپ خود را از روی مت بلند کند و تمام بدنش را به صورت صاف در یک خط مستقیم روی ساعد دستی که در پایین بود، قرار دهد. دستی که در بالا قرار داشت نیز به صورت ضربدری روی شانه سمت مخالف قرار می‌گرفت. تست زمانی به پایان می‌رسید که هیپ روی مت قرار می‌گرفت (تصویر ب). برای اجرای پلانک از جلو،

۲۰۱۲). محققان، روایی همزمان LESS را در مقایسه با سیستم آنالیز حرکت ۳ بعدی تأیید کردند (شلیورن و همکاران، ۲۰۰۹).

با توجه به شیوع بالای آسیب ثانویه ACL و همچنین کمبود تحقیقات در حوزه شناسایی فاکتورهای دخیل در آسیب ثانویه رباط و تمرینات مؤثری که در جلوگیری از آسیب ثانویه وجود دارد، ضروری به نظر می‌رسد که درمانگران و محققان به طور یکسان باید احساس نیاز به وجود یک برنامه تمرینات عصبی عضلانی برای پیشگیری از آسیب مجدد ACL را داشته باشند. بنابراین هدف از تحقیق حاضر تأثیر تمرینات عصبی عضلانی بر قدرت عضلات هیپ، ناحیه مرکزی و مکانیک‌های پرش - فرود در ورزشکاران با بازسازی رباط صلیبی قدامی بود.

روش بررسی

این تحقیق از نوع نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود. آزمودنی‌های تحقیق حاضر را ۲۴ نفر از ورزشکاران با بازسازی رباط صلیبی قدامی که معیارهای ورود به تحقیق را داشتند تشکیل و این افراد به طور تصادفی به دو گروه کنترل (۱۲ آزمودنی) و تجربی (۱۲ آزمودنی) تقسیم شدند. معیارهای ورود به تحقیق شامل: (۱) پارگی رباط آنها به صورت غیربرخوردی اتفاق افتاده باشد. (۲) ۱۵-۶ ماه از عمل بازسازی آنها گذشته باشد. (۳) ورزشکار با دامنه سنی ۲۰-۳۰ سال (۲-۳ سال شرکت منظم در تمرینات ورزشی قبل از آسیب یکی از رشته‌های فوتبال، فوتسال، هندبال، والیبال و بسکتبال، سه جلسه در هفته) که دارای حداقل تجربه شرکت در مسابقات استانی باشند. (۴) تنها بازسازی رباط ACL داشته باشند و سایر رباط‌ها، PCL^۱، MCL^۲ و LCL^۳ سالم باشد. (۵) هیچ‌گونه آسیب‌دیدگی قبلی در اندام تحتانی و تنه نداشته باشند. (۶) از نظر بیماری‌های عضلانی و اسکلتی و مشکلات قلبی تنفسی در سلامت کامل باشند و در نهایت به منظور یکسان بودن مراحل توانبخشی پس از عمل، توانبخشی و فیزیوتراپی خود را در مرکز فیزیوتراپی و تمرین درمانی مهرگان در شهرستان مشهد انجام داده باشند. پس از انتخاب آزمودنی‌ها و پیش از شروع آزمون،

1. Posterior cruciate ligament
2. Medial collateral ligament
3. lateral collateral ligament

همراستا باشند. زمانی که بدن از وضعیت خمی خارج شد (انحنای بیش از حد در ستون فقرات) آزمون متوقف می‌شد (تصویر ۱ج).

آزمودنی در وضعیت دمر قرار می‌گرفت، در حالی که قسمت مرکزی را در وضعیت خمی حفظ، بدن را توسط بازوها و انگشتان پا حمایت می‌کند و در حفظ این وضعیت می‌کوشد. باید توجه داشت که بالاتنه، ران‌ها و پاها باید



ج: استقامت عضلات قدامی تنه



ب: استقامت عضلات جانبی تنه



الف: استقامت عضلات خلفی

تصویر ۱

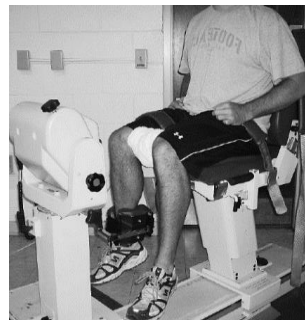
خلفی ران و پنج سانتی‌متر بالای زانو ثابت شده بود. از آزمودنی خواسته شد که زانوی خود را تا زاویه ۹۰ درجه خم کند و با حداکثر قدرت در جهت اکستنشن هیپ به اهرم فشار وارد کند (تصویر ۲ الف). برای ارزیابی قدرت عضلات اکسترنال روتاتور هیپ از آزمودنی خواسته شد که روی صندلی دینامومتر بشیند و زانو و هیپ او در زاویه ۹۰ درجه فلکشن تنظیم شد. ران پای مورد ارزیابی و تنه با استفاده از استرپ به دستگاه ثابت شد و بازوی اهرم نیز به قسمت داخلی ساق پا و پنج سانتی‌متر بالاتر از قوزک داخلی متصل گردید. برای کنترل آداکشن هیپ یک بالش بین پاهای آزمودنی قرار داده شد. محور چرخش دینامومتر همراستا با خط مفصل زانو تنظیم شد و سپس از آزمودنی خواسته شد که با حداکثر قدرت در جهت چرخش خارجی ران به اهرم فشار وارد کند (تصویر ۲ ب).

اندازه‌گیری قدرت ایزومتریک عضلات هیپ

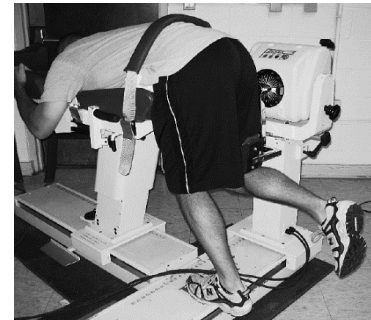
قدرت ایزومتریک عضلات اکستنسور، اکسترنال روتاتور و آداکتور هیپ اندامی که رباط آن بازسازی شده با استفاده از دینامومتر ایزوکنیتیک (KinCom 500H isokinetic dynamometer) ارزیابی شد. به آزمودنی‌ها اجازه داده شد که سه مرتبه تست را با قدرت زیر بیشینه تمرین کنند. برای تست قدرت عضلات هیپ سه تست با حداکثر قدرت و به مدت پنج ثانیه برای هر تست انجام شد و بین هر تست به آزمودنی به مدت دو دقیقه اجازه استراحت داده می‌شد (بولینگ و همکاران، ۲۰۰۹). برای اندازه‌گیری قدرت عضلات اکستنسور هیپ آزمودنی به شکم تنه را ۹۰ درجه خم می‌کرد و روی تخت قرار می‌گرفت و برای ثابت سازی تنه با استفاده از دست‌ها، صندلی دینامومتر را محکم می‌گرفت. محور چرخش دینامومتر با تروکانتر بزرگ استخوان فمور هم راستا بود و بازوی اهرم نیز به قسمت



ج: تست قدرت آداکتورهای هیپ



ب: تست قدرت اکسترنال روتاتورهای هیپ



الف: تست قدرت اکستنسورهای هیپ

تصویر ۲

فاصله افقی تعیین شده نمی رسد یا پس از فرود پرش عمودی حداکثری را انجام نمی داد، آن نوبت حذف و تست پرش - فرود یک بار دیگر تکرار می شد. جهت ثبت تصاویر دو دوربین فیلمبرداری پایه‌دار (HQ sport action camera) در نمای فرونتال و ساجیتال در فاصله ۳/۴۵ متری از نقطه فرود قرار داشتند (تصویر ۳) (پادوآ و همکاران، ۲۰۰۹). آزمون LESS به منظور ارزیابی تکنیک فرود بر اساس هفت ویژگی پرش - فرود و با استفاده از یک سیستم امتیازدهی ۰ و ۱ (دو آیتم آخر ۰ تا ۲) انجام گرفته و دارای ۱۷ آیتم است (در این تحقیق از دو سؤال آخر پرسشنامه یعنی ۱۶ و ۱۷ بدلیل همراستا نبودن با سایر سؤالات و کلی بودن سنجش‌شان چشمپوشی شد) که وضعیت اندام تحتانی و تنه را در لحظه برخورد پا با زمین و همچنین حداکثر فلکشن زانو را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. امتیاز نهایی برای هر فرود، از مجموع امتیازات تمامی آیتم‌ها محاسبه می‌شد، به طوری که امتیازات بیشتر (خطاهای بیشتر) نشانگر تکنیک‌های فرود خطرناک برای آسیب ACL بود (پادوآ و همکاران، ۲۰۰۹). لازم به ذکر است که تمام متغیرها مربوط به اندام تحتانی سمت برتر بود.

برای تست قدرت آبداکشن هیپ آزمودنی روی تخت دینامومتر به پهلو روی پای سالم دراز می‌کشید. پای سالم و تنه به وسیله استرپ به تخت ثابت شد. محور چرخش دینامومتر همراستا با خار خاصه‌ای قدامی فوقانی و هم سطح با تروکانتر بزرگ تنظیم شد. بازوی اهرم نیز به قسمت خارجی دیستال ران و پنج سانتی‌متر بالای اپی کندیل خارجی نصب شد و سپس از آزمودنی خواسته شد که با حداکثر قدرت در جهت آبداکشن ران به اهرم فشار وارد کند (تصویر ۲ ج) (بولینگ و همکاران، ۲۰۰۹).

آزمون پرش-فرود

برای ارزیابی تکنیک پرش فرود آزمودنی‌ها از پروتکل سیستم امتیازدهی خطای فرود (LESS) استفاده شد. از آزمودنی‌ها خواسته شد که روی یک سکوی ۳۰ سانتی‌متری بایستند و سپس با یک پرش به سمت جلو و در فاصله ای تقریباً برابر با ۵۰ درصد قد خود با هر دو پا فرود آیند و بلافاصله بعد از آن با حداکثر تلاش یک پرش عمودی را انجام دهند. هنگام انجام تست هیچ بازخورد یا آموزشی به فرد داده نمی‌شد. قبل از انجام تست آزمودنی‌ها سه مرتبه تست را به صورت تمرینی انجام دادند و بعد از آن سه پرش را به عنوان تست اصلی انجام دادند. در صورتی که فرد به



تصویر ۳: آزمون امتیازدهی خطای فرود

بهبود توانایی ورزشکاران در کنترل تنه و ثبات مرکزی در هنگام فعالیت‌های دینامیک، این تمرینات در پنج مرحله طراحی شد که سطح پیشرفت تمرینات به تدریج افزوده می‌شد. در هر مرحله برای افزایش شدت، تکنیک تمرین به تدریج افزایش پیدا می‌کرد.

حجم ابتدایی تمرینات از کم شروع می‌شد تا این فرصت به ورزشکار داده شود تا تکنیک تمرین را به نحو احسن یاد گرفته و اجرا نماید. اگر در حین انجام تمرینات خستگی

پروتکل تمرینی

در تحقیق حاضر از یک برنامه تمرینی عصبی عضلانی که هدف اصلی آن برطرف کردن نقص کنترل عصبی عضلانی هیپ و تنه بود، استفاده شد (میر و همکاران، ۲۰۰۸). طراحی این پروتکل به گونه‌ای است که با ایجاد شرایط اغتشاشی خاص کنترل تنه و ثبات مرکزی را افزایش می‌دهد و باعث کاهش مکانیسم‌های آسیب‌زایی مانند گشتاور خارجی آبداکتور زانو در ورزشکاران می‌شود. برای

بودن توزیع داده‌ها از آزمون کلموگروف اسمیرنوف استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌های درون گروهی، از آزمون‌های آماری تی همبسته و برای مقایسه میانگین‌های بین گروهی از واریانس برای اندازه‌های تکراری استفاده شد.

نتایج

مشخصات آنتروپومتریک آزمودنی‌های تحقیق در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است. آزمون‌های آماری نشان داد که دو گروه کنترل و تجربی از نظر شاخص‌های آنتروپومتریک تفاوت معناداری نداشتند ($P \geq 0.05$). نرمال بودن تمامی داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف تأیید شد ($P \geq 0.05$).

باعث می‌شد که ورزشکار نتواند تمرینات را با تکنیک صحیح اجرا نماید از او خواسته می‌شد که از انجام تمرین خودداری نماید.

براین اساس با توجه به هدف تحقیق، گروه تجربی به مدت ۶۰ تا ۹۰ دقیقه در هر جلسه و سه جلسه در هفته، برای مدت هشت هفته تمرینات عصبی عضلانی ناحیه مرکزی و هیپ را انجام دادند. از آنجایی که در مراحل انتهایی، تمرینات نسبت به مراحل اولیه از لحاظ تکنیک مشکل‌تر است، پروتکل اجرایی در این تحقیق از نظر تقسیم زمانی هر مرحله نسبت به مراحل قبلی زمان بیشتری را به خود اختصاص می‌داد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ تجزیه و تحلیل شدند. به‌طوری‌که با استفاده از آماره‌های توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) داده‌ها محاسبه و برای اطمینان یافتن از نرمال

جدول ۱: آماره‌های توصیفی متغیرهای آنتروپومتریک

متغیر	گروه	میانگین \pm انحراف معیار (M \pm SD)
قد (سانتی‌متر)	تجربی	۱۸۷/۵ \pm ۹/۲
	کنترل	۱۸۶/۵ \pm ۹/۲
جرم (کیلوگرم)	تجربی	۸۳/۴ \pm ۵/۷
	کنترل	۸۵/۴ \pm ۲/۸
سن (سال)	تجربی	۲۵/۳ \pm ۹/۶
	کنترل	۲۳/۲ \pm ۲/۴
شاخص توده‌ی بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	تجربی	۲۵/۲ \pm ۸/۴
	کنترل	۲۴/۲ \pm ۲/۳

جدول ۲: بررسی تغییرات درون گروهی و اختلاف بین گروهی متغیرهای وابسته

شاخص	متغیر	گروه	مرحله		تغییرات درون گروهی		اختلاف بین گروهی		اندازه اثر
			پیش‌آزمون M \pm SD	پس‌آزمون M \pm SD	t	P	F	P	
استقامت عضلات خلفی تنه	تجربی	۱/۷۸ \pm ۰/۰۳	۲/۰ \pm ۲۷/۱۵	-۱۸/۴۵	*۰/۰۰۱	۶۳/۹۱	**۰/۰۰۱	۰/۷۴	
	کنترل	۱/۷۵ \pm ۰/۰۳	۱/۰ \pm ۷۲/۲۴	-۱/۳۳	۰/۲۰۹				
	تجربی	۱/۳۳ \pm ۰/۱۶	۲/۰ \pm ۱۸/۲۳	-۹/۸۶	*۰/۰۰۱	۲۵/۳۳	**۰/۰۰۱	۰/۵۳	
	کنترل	۱/۰ \pm ۴۰/۱۱	۱/۴۶ \pm ۰/۳۲	-۰/۶۷	۰/۵۱۷				
استقامت عضلات قدامی تنه	تجربی	۱/۰ \pm ۱۰/۰۷	۱/۳۵ \pm ۰/۰۹	-۸/۳۰	*۰/۰۰۱	۱۲/۷۰	**۰/۰۰۲	۰/۳۷	
	کنترل	۱/۰ \pm ۱۴/۰۶	۱/۰ \pm ۱۳/۰۸	۱/۴۱	۰/۱۸۷				
	تجربی	۴۲۰/۹ \pm ۱۲۹/۵	۵۹۸/۱ \pm ۸۹/۶	-۹/۷۵	*۰/۰۰۱	۴/۹۸	**۰/۰۳۶	۰/۱۹	
	کنترل	۳۹۹/۱ \pm ۱۳۶/۸	۳۹۶/۶ \pm ۱۳۶/۶	۰/۷۰	۰/۵۰۰				
استقامت عضلات جانبی تنه	تجربی	۳۳۵/۹ \pm ۳۳/۲	۳۷۶/۷ \pm ۴۸/۰	-۵/۳۸	*۰/۰۰۱	۶/۴۷	**۰/۰۱۸	۰/۲۳	
	کنترل	۳۲۱/۳۹ \pm ۵/۰	۳۲۴/۱ \pm ۲۹/۶	-۰/۱۷	۰/۸۶۵				
	تجربی	۱۳۸/۶ \pm ۱۸/۲	۱۶۹/۱۲ \pm ۳/۴	-۹/۸۵	*۰/۰۰۱	۴/۸۲	**۰/۰۳۹	۰/۱۸	
	کنترل	۱۴۰/۱۲ \pm ۴/۸	۱۴۳/۱۳ \pm ۶/۴	-۰/۹۷	۰/۳۵۱				
استرنال روتیشن	تجربی	۷/۱ \pm ۱۷/۴	۳/۱ \pm ۵/۴	۵/۷۰	*۰/۰۰۱	۲۷/۲۹	**۰/۰۰۱	۰/۵۵	
	کنترل	۷/۲ \pm ۴۲/۱	۷/۱ \pm ۹۲/۲	-۰/۷۶	۰/۴۶۳				

*معناداری در سطح $P \leq 0.05$ برای مقایسه بین گروهی

**معناداری در سطح $P \leq 0.05$ برای تغییرات درون گروهی

ارتباط بالقوه بین ثبات مرکزی و آسیب‌های ACL را در زنان به‌طور برجسته بیان کرد. در این تحقیق ۱۴۰ زن و ۱۳۷ مرد ورزشکار دانشگاهی که دارای هیچ سابقه آسیب قبلی در زانوی خود نبودند، شرکت نمودند. در یک مطالعه توانایی فرد در برگشت تنه به وضعیت شروع بعد از یک چرخش در صفحه افقی (حس عمقی تنه) (زازولاک و همکاران، ۲۰۰۷b) و در مطالعه دیگر توانایی فرد در متوقف کردن حرکت تنه پس از یک اغتشاش سریع را در ۱۳۰ میلی‌ثانیه پس از اغتشاش و حداکثر جابجایی تنه (کنترل عصبی عضلانی تنه) (زازولاک و همکاران، ۲۰۰۷a) مورد ارزیابی قرار گرفت.

آنها نشان دادند کنترل عصبی عضلانی تنه در هر دو حالت حداکثر جابجایی تنه و ۱۳۰ میلی‌ثانیه پس از اغتشاش در افراد سالم نسبت به افرادی که دچار یکی یا ترکیبی از آسیب‌های زانو، آسیب‌های لیگامنتی زانو و یا آسیب ACL شده بودند، بیشتر بود. علاوه بر این، زنان ورزشکاری که دچار آسیب لیگامنتی شده بودند نسبت به زنان سالم، جابجایی بیشتری را در تنه نشان دادند که این اختلاف در مردان آسیب دیده نسبت به مردان سالم با وجود افزایش میانگین، معنادار نبود.

به‌طور کلی نتایج تحقیقات زازولاک نشان داد که فاکتورهای مربوط به ثبات مرکزی می‌تواند خطر آسیب‌های زانو، رباط صلیبی و دیگر آسیب‌های لیگامنتی زانو را پیش‌بینی کند. این یافته‌ها از این نظریه که افزایش جابجایی تنه در پاسخ به حرکات ناگهانی در تنه باعث افزایش خطر آسیب می‌شود، حمایت می‌کند. کاهش کنترل عصبی عضلانی تنه روی ثبات دینامیک زانو اثر گذاشته و خطر آسیب زانو را در مانورهای ورزشی افزایش می‌دهد. همچنین عبور با فاصله نیروی عکس‌العمل زمین از مرکز ثقل بدن همراه با کاهش کنترل عصبی عضلانی تنه می‌تواند ثبات دینامیک زانو را به خطر بیندازد.

اغلب تحقیقات آینده‌نگری که رابطه ثبات مرکزی و آسیب ACL را بررسی کردند، روی مشاهده تجربی برای شناسایی ارتباط بین اندازه‌گیری‌های ثبات مرکزی و شیوع آسیب‌های ACL تمرکز داشتند. مطالعاتی از این دست برای درک کردن میزان بزرگی مشکل آسیب ضروری هستند و این مطالعات به‌طور معمول به‌عنوان اولین گام در جلوگیری از آسیب‌های ورزشی شناخته شده است (وان

تغییرات درون گروهی متغیرهای قدرت ایزومتریک عضلات، استقامت عضلات ناحیه مرکزی و امتیاز خطای پرش - فرود در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون فقط در گروه تجربی بهبود معناداری داشت ($P \leq 0.05$) (جدول ۲). همچنین تغییرات بین گروهی در دو گروه تجربی و کنترل در قدرت ایزومتریک عضلات، استقامت عضلات ناحیه مرکزی امتیاز خطای پرش - فرود ($P \leq 0.05$) تفاوت معناداری را نشان داد (جدول ۲)؛ به عبارت دیگر برنامه تمرینی موجب بهبود معنی‌دار متغیرهای وابسته (قدرت ایزومتریک عضلات، استقامت عضلات ناحیه مرکزی امتیاز خطای پرش - فرود) شد.

بحث

هدف از تحقیق حاضر تأثیر تمرینات عصبی عضلانی بر قدرت عضلات هیپ، ناحیه مرکزی و مکانیک‌های پرش - فرود در ورزشکاران با بازسازی رباط صلیبی قدامی بود. نتایج نشان داد که تمرینات عصبی عضلانی به‌طور معناداری روی قدرت عضلات هیپ و ناحیه مرکزی و متعاقب آن مکانیک‌های پرش - فرود آزمودنی‌ها تأثیر داشته است.

نتایج پیش‌آزمون تست خطای پرش - فرود نشان داد که بد راستایی اندام‌ها در ورزشکاران با بازسازی ACL با ویژگی‌های کینماتیکی که از آنها به‌عنوان کینماتیک‌های آسیب‌زای زانو نام برده می‌شود (ایرلند، ۱۹۹۹)، یکسان بود. این بد راستایی‌ها مؤید این نکته است که ریسک فاکتورهای آسیب مجدد پس از ACLR همانند آسیب اولیه ACL است (چادری و آندرکاپچی، ۲۰۰۶؛ دمپسی و همکاران، ۲۰۰۷)، به‌طوری‌که الگوی کینماتیکی آسیب غیربرخوردی اولیه و نقش اثرگذار تنه و هیپ در وقوع آن و همچنین عوارض مداخله جراحی ممکن است پس از بازسازی باقی مانده، و احتمالاً به‌عنوان منبعی برای ریسک فاکتورهای آسیب پس از ACLR به‌شمار روند (وردمن و هووت، ۲۰۱۶). با این حال پس از هشت هفته تمرینات عصبی عضلانی ناحیه مرکزی و هیپ به‌طور معناداری قدرت عضلات این ناحیه افزایش یافت و باعث شد بد راستایی‌های ذکر شده به‌طور معناداری کاهش یابد.

مطالعه آینده‌نگر زازولاک و همکاران (۲۰۰۷) اثر ثبات مرکزی روی آسیب اندام تحتانی ارزیابی کرد. این مطالعات

مرکزی و هیپ، همزمان با افزایش قدرت عضلات این ناحیه کینماتیک‌های آسیب‌زای تنه نیز به‌طور معناداری کاهش یافت.

در زمینه ارتباط بین قدرت عضلات هیپ و اثر آن روی آسیب‌های زانو نیز تحقیقات تأیید کرده‌اند که ضعف عضلات این ناحیه می‌تواند به‌صورت مستقیم روی آسیب‌های زانو تأثیر داشته باشد. خیام‌باشی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای آینده‌نگر قدرت عضلات هیپ (آبداکتورها و اکسترنال روتیتورها) را در ۵۰۱ ورزشکار (۱۳۸ زن و ۳۶۳ مرد) که در رشته‌های مختلف ورزشی فعالیت می‌کردند، مورد ارزیابی قرار دادند. در طول فصل مسابقات محققان وضعیت آسیب ACL ورزشکاران و همچنین مکانیسم آسیب (برخوردی و غیربرخوردی) را ثبت کردند. نتایج آنها نشان داد که در طول فصل مسابقات ۱۵ آسیب غیربرخوردی (۶ زن و ۹ مرد) رخ داده است. مقایسه قدرت عضلات هیپ ورزشکاران آسیب‌دیده نسبت به ورزشکاران سالم نشان داد که قدرت این عضلات در سطح پایین‌تری قرار داشته است. آنها به این نتیجه رسیدند که قدرت عضلات هیپ با آسیب غیربرخوردی ACL رابطه‌ای مستقیم دارد و با اندازه‌گیری آن در پیش فصل می‌توان این آسیب را پیش‌بینی کرد. بورنهام و همکاران (۲۰۱۶) نیز ارتباط بین عضلات تنه و هیپ با عملکرد تست پایین آمدن تک پا از پله را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور محققین ۷۱ آزمودنی سالم (۳۸ مرد و ۳۳ زن) و بدون تاریخچه قبلی آسیب ACL و یا اندام تحتانی را با تست پایین آمدن تک پا از پله ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که رابطه معکوسی بین حداکثر نیروی ایزومتریک آبداکشن، اکسترنال روتیشن، اکستنشن هیپ، پلانک و پهلوی با تست پایین آمدن تک پا از پله وجود دارد.

در همین زمینه تات و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که تقویت عضلات اکستنسور هیپ نقش مهمی در کاهش زاویه آداکشن هیپ در اندامی که ACL آن بازسازی شده است، دارد و این در حالی است که به نظر می‌رسد قدرت عضلات آبداکتور هیپ در تسهیل فلکشن هیپ حین مرحله فرود پس از پرش در هر دو اندام نقش اساسی را بر عهده داشته باشد. به همین خاطر محققین و درمانگران باید به اهمیت نقش عضلات این ناحیه روی کینماتیک‌های اندام تحتانی در صفحه فرونتال و ساجیتال توجه زیادی داشته باشند.

مکلین، (۱۹۹۲). با این حال این مطالعات هنوز نتوانسته‌اند به این سؤال پاسخ دهند که آیا ثبات مرکزی اثر مکانیکال روی مفصل زانو و ACL دارد؟ اخیراً مشاهدات ویدئویی رخدادهای آسیب ACL نشان داده است که وضعیت تنه ممکن است روی خطر آسیب ACL نقش مهمی ایفا کند (هووت و همکاران، ۲۰۰۹؛ شیهان و همکاران، ۲۰۱۲). تحقیقات با استفاده از دستگاه‌های آنالیز حرکت و وسایل شبیه‌سازی کامپیوتری به توضیح دقیق رابطه مستقیم بین ثبات مرکزی و بارگذاری زانو پرداخته‌اند.

در همین راستا چند مطالعه به بررسی ارتباط بین وضعیت بالاتنه و پارامترهای بارگذاری روی زانو، که به‌عنوان ریسک فاکتور آسیب ACL شناخته شده‌اند، پرداخته‌اند. این مطالعات حداکثر گشتاور خارجی آبداکتوری زانو را در حین حرکات برشی (که از وضعیت‌های آسیب‌زای ACL در میداین ورزشی به‌حساب می‌آید) (بودن و همکاران، ۲۰۰۰) مورد ارزیابی قرار داده‌اند. گشتاور خارجی آبداکتوری زانو زمانی اتفاق می‌افتد که نیروهای تولیدی بین زمین و اندام تحتانی، زانو را به سمت داخل می‌کشد و باعث ولگوس زانو می‌شود. افزایش در گشتاور آبداکتوری زانو باعث افزایش استرین (افزایش طول) ACL در زانوی جسد می‌شود (فلمینگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ مارکولوف و همکاران، ۱۹۹۵) و این رابطه در شبیه‌سازی‌های کامپیوتری هم مشاهده شده است (شین و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱).

جامیسون و همکاران (۲۰۱۲) حداکثر گشتاور خارجی آبداکتوری زانو را در ارتباط با تیلت جانبی تنه مورد ارزیابی قرار دادند. پس از بررسی بیومکانیک حرکت برشی غیرقابل پیش‌بینی بیان کردند که حداکثر گشتاور خارجی آبداکتوری زانو رابطه مثبتی با تیلت جانبی تنه دارد. ارتباط مثبت تیلت تنه و حداکثر گشتاور خارجی آبداکتوری زانو نشان می‌دهد که با افزایش تیلت تنه، حداکثر گشتاور خارجی آبداکتوری زانو نیز افزایش پیدا می‌کند و باعث افزایش استرین روی ACL و در نتیجه پارگی آن می‌شود.

یافته‌های بالا نشان می‌دهد که افراد از طریق تقویت ثبات مرکزی و جلوگیری از حرکات اضافی تنه می‌توانند از زانوهایشان در مقابل بارگذاری‌های مضر و در نتیجه افزایش خطر آسیب حفاظت کنند. این امر در تحقیق حاضر به وضوح تأیید شد به‌طوری‌که در آزمودنی‌های گروه تجربی پس از انجام تمرینات عصبی عضلانی اختصاصی ناحیه

را کاهش دهد، حتی زمانی که فاکتورهای غیرقابل اصلاح وجود داشته باشند.

نتیجه‌گیری

براساس این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که قسمت‌های بالای زانو به‌ویژه ناحیه مرکزی و هیپ اثر قابل توجهی روی استراتژی‌های کنترل حرکتی دارد. این نتایج از نظر بالینی می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد زیرا آگاهی از تغییراتی که ضعف این نواحی در کینماتیک تنه و اندام تحتانی به‌وجود می‌آورد، می‌تواند عاملی برای طراحی بهتر برنامه‌های تمرینی که هدف آنها جلوگیری از آسیب ACL و همچنین برنامه‌های جلوگیری از آسیب مجدد رباط صلیبی قدامی است، باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته شده از رساله دکتری دانشجو کاظم نوروزی در سال ۱۳۹۷ می‌باشد که با حمایت دانشکده علوم ورزشی دانشگاه اصفهان اجرا شده است که بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از آن معاونت محترم ابراز می‌داریم.

References

- Arderm, C. L., Webster, K. E., Taylor, N. F., & Feller, J. A. (2011), Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *The American journal of sports medicine*, 39(3), 538-543.
- Beynon, B. D., Johnson, R. J., Abate, J. A., Fleming, B. C., & Nichols, C. E. (2005), Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *The American journal of sports medicine*, 33(10), 1579-1602.
- Blackburn, J. T., & Padua, D. A. (2008), Influence of trunk flexion on hip and knee joint kinematics during a controlled drop landing. *Clinical Biomechanics*, 23(3), 313-319.
- Boden, B. P., Dean, G. S., Feagin, J. A., & Garrett, W. E. (2000), Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 23(6), 573-578.
- Boden, B. P., Torg, J. S., Knowles, S. B., & Hewett, T. E. (2009), Video analysis of anterior cruciate ligament injury abnormalities in hip and ankle kinematics. *The American journal of sports medicine*, 37(2), 252-259.
- Boling, M. C., Padua, D. A., & Alexander Creighton, R. (2009), Concentric and eccentric torque of the hip musculature in individuals with and without patellofemoral pain. *Journal of Athletic Training*, 44(1), 7-13.
- Burnham, J. M., Yonz, M. C., Robertson, K. E., McKinley, R., Wilson, B. R., Johnson, D. L., . . . Noehren, B. (2016), Relationship of Hip and Trunk Muscle Function with Single Leg Step-Down Performance. *Physical Therapy in Sport*.
- Chaudhari, A. M., & Andriacchi, T. P. (2006), The mechanical consequences of dynamic frontal plane limb alignment for non-contact ACL injury. *Journal of biomechanics*, 39(2), 330-338.
- Cimino, F., Volk, B. S., & Setter, D. (2010), Anterior cruciate ligament injury: diagnosis, management, and prevention. *Am Fam Physician*, 82(8), 917-922.
- Daniel, D. M., Stone, M. L., Dobson, B. E., Fithian, D. C., Rossman, D. J., & Kaufman, K. R. (1994), Fate of the ACL-injured patient a prospective outcome study. *The American journal of sports medicine*, 2(5), 632-644.

نتایج این تحقیقات احتمالاً بتواند تغییرات کینماتیکی ایجاد شده در اندام تحتانی تحقیق حاضر را تبیین کند. زیرا در تحقیق حاضر پس از انجام تمرینات عصبی عضلانی قدرت عضلات هیپ در گروه تجربی نسبت به گروه کنترل به‌طور معنی‌داری افزایش و در مقابل کینماتیک‌های آسیب‌زای اندام تحتانی کاهش پیدا کرده بود.

اجرای موفق تمرینات عصبی عضلانی برای جلوگیری از آسیب مجدد ACL نیازمند توجه به جزئیات این مکانیسم و درک کامل فاکتورهای بیومکانیکی است که باعث کاهش و یا ایجاد خطر آسیب می‌شوند. ارزیابی بیومکانیکی افراد با بازسازی ACL قسمت مهمی از فرایند غربالگری است. کاهش گشتاور خارجی آبداکتوری زانو، کاهش گشتاور داخلی اکستنسوری زانو و نیروی برشی قدامی تیپیا از طریق تمرینات عصبی عضلانی ممکن است به میزان قابل توجهی از آسیب ثانویه ACL بکاهد. درک کامل و اساسی و کاهش این سه نوع بارگذاری در زانو به یک اندازه مهم است.

از آنجایی که عوامل قابل اصلاح و غیرقابل اصلاح در هر نوع از بارگذاری‌های خطرناک وجود دارند، کاهش هدفمند عوامل دخیل ممکن است به اندازه کافی خطر آسیب ثانویه

- Delahunt, E., Prendiville, A., Sweeney, L., Chawke, M., Kelleher, J., Patterson, M., & Murphy, K. (2012), Hip and knee joint kinematics during a diagonal jump landing in anterior cruciate ligament reconstructed females. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 598-606.
- Delahunt, E., Sweeney, L., Chawke, M., Kelleher, J., Murphy, K., Patterson, M., & Prendiville, A. (2012), Lower limb kinematic alterations during drop vertical jumps in female athletes who have undergone anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research*, 30(1), 72-78.
- Delfico, A. J., & Garrett, W. E. (1998), Mechanisms of injury of the anterior cruciate ligament in soccer players. *Clinics in sports medicine*, 17(4), 779-785.
- DeMorat, G., Weinhold, P., Blackburn, T., Chudik, S., & Garrett, W. (2004), Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *The American journal of sports medicine*, 32(2), 477-483.
- Dempsey, A. R., Lloyd, D. G., Elliott, B. C., Steele, J. R., Munro, B. J., & Russo, K. A. (2007), The effect of technique change on knee loads during sidestep cutting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(10), 1765-1773.
- Devita, P., & Skelly, W. A. (1992), Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Med Sci Sports Exerc*, 24(1), 108-115.
- Dugan, S. A. (2005), Sports-related knee injuries in female athletes: what gives? *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 84(2), 122-130.
- Dunn, W. R., Spindler, K. P., & Consortium, M. (2010). Predictors of Activity Level 2 Years After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction (ACLR) A Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) ACLR Cohort Study. *The American journal of sports medicine*, 38(10), 2040-2050.
- Fleming, B. C., Renstrom, P. A., Beynon, B. D., Engstrom, B., Peura, G. D., Badger, G. J., & Johnson, R. J. (2001), The effect of weightbearing and external loading on anterior cruciate ligament strain. *Journal of biomechanics*, 34(2), 163-170.
- Fukuda, Y., Woo, S. L. Y., Loh, J. C., Tsuda, E., Tang, P., McMahon, P. J., & Debski, R. E. (2003). A quantitative analysis of valgus torque on the ACL: a human cadaveric study. *Journal of Orthopaedic Research*, 21(6), 1107-1112.
- Hartigan, E. H., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2010), Time line for noncopers to pass return-to-sports criteria after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 40(3), 141-154.
- Hewett, T. E., Di Stasi, S. L., & Myer, G. D. (2013), Current concepts for injury prevention in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 41(1), 216-224.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., . . . Succop, P. (2005), Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes a prospective study. *The American journal of sports medicine*, 33(4), 492-501.
- Hewett, T. E., Torg, J. S., & Boden, B. P. (2009), Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *British journal of sports medicine*, 43(6), 417-422.
- Hui, C., Salmon, L. J., Kok, A., Maeno, S., Linklater, J., & Pinczewski, L. A. (2011), Fifteen-year outcome of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft for "isolated" anterior cruciate ligament tear. *The American journal of sports medicine*, 39(1), 89-98.
- Huston, L. J., Greenfield, M. L. V., & Wojtys, E. M. (2000), Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete: potential risk factors. *Clinical orthopaedics and related research*, 372, 50-63.
- Ireland, M. L. (1999), Anterior cruciate ligament injury in female athletes: epidemiology. *Journal of Athletic Training*, 34(2), 150.
- Jamison, S. T., Pan, X., & Chaudhari, A. M. (2012), Knee moments during run-to-cut maneuvers are associated with lateral trunk positioning. *Journal of biomechanics*, 45(11), 1881-1885.
- Jarvis, A. S. (2010), The association between measures of core stability and biomechanics of the trunk and knee during a single leg squat: The University Of North Carolina At Chapel Hill.
- Johnson, D., & Fu, F. (1994), Anterior cruciate ligament reconstruction: why do failures occur? *Instructional course lectures*, 44, 391-406.
- Khayambashi, K., Ghoddosi, N., Straub, R. K., & Powers, C. M. (2016), Hip Muscle Strength Predicts Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Male and Female Athletes A Prospective Study. *The American journal of sports medicine*, 44(2), 355-361.
- Lessi, G. C., dos Santos, A. F., Batista, L. F., de Oliveira, G. C., & Serrão, F. V. (2016), Effects of fatigue on lower limb, pelvis and trunk kinematics and muscle activation: Gender differences. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.
- Leys, T., Salmon, L., Waller, A., Linklater, J., & Pinczewski, L. (2012), Clinical results and risk factors for Reinjury 15 Years After anterior cruciate ligament reconstruction a prospective study of hamstring and patellar tendon grafts. *The American journal of sports medicine*, 40(3), 595-605.
- Lohmander, L. S., Englund, P. M., Dahl, L. L., & Roos, E. M. (2007), The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries osteoarthritis. *The American journal of sports medicine*, 35(10), 1756-1769.
- Lohmander, L., Östenberg, A., Englund, M., & Roos, H. (2004), High prevalence of knee osteoarthritis,

- pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis & Rheumatism*, 50(10), 3145-3152.
- Lyman, S., Koulouvaris, P., Sherman, S., Do, H., Mandl, L. A., & Marx, R. G. (2009), Epidemiology of anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*, 91(10), 2321-2328.
- Markolf, K. L., Burchfield, D. M., Shapiro, M. M., Shepard, M. F., Finerman, G. A., & Slauterbeck, J. L. (1995), Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *Journal of Orthopaedic Research*, 13(6), 930-935.
- McGill, S. M., Childs, A., & Liebensohn, C. (1999), Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 80(8), 941-944.
- Miyasaka, K., Daniel, D., Stone, M., & Hirshman, P. (1991), The incidence of knee ligament injuries in the general population. *Am J Knee Surg*, 4(1), 3-8.
- Myer, G. D., Chu, D. A., Brent, J. L., & Hewett, T. E. (2008), Trunk and hip control neuromuscular training for the prevention of knee joint injury. *Clinics in sports medicine*, 27(3), 425-448.
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett Jr, W. E., & Beutler, A. I. (2009), The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump landing biomechanics: the JUMP-ACL study. *The American journal of sports medicine*, 37(10), 1996-2002.
- Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., Heyl, R., & Hewett, T. E. (2007), Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(4), 258-262.
- Paterno, M. V., Schmitt, L. C., Ford, K. R., Rauh, M. J., Myer, G. D., Huang, B., & Hewett, T. E. (2010), Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *The American journal of sports medicine*, 38(10), 1968-1978.
- Rudolph, K. S., Axe, M. J., Buchanan, T. S., Scholz, J. P., & Snyder-Mackler, L. (2001), Dynamic stability in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9(2), 62-71.
- Salmon, J. L., Russell, V., Musgrove, T., Pinczewski, L., & Refshauge, K. (2005), Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 21(8), 948-957.
- Sampson, N. R., Beck, N. A., Baldwin, K., Ganley, T., & Wells, L. (2011), Knee injuries in children and adolescents: has there been an increase in ACL and meniscus tears in recent years. Paper presented at the American Academy of Pediatrics National Conference and Exhibition, Boston, MA.
- Sheehan, F. T., Sipprell, W. H., & Boden, B. P. (2012), Dynamic sagittal plane trunk control during anterior cruciate ligament injury. *The American journal of sports medicine*, 40(5), 1068-1074.
- Shelbourne, K. D., Gray, T., & Haro, M. (2009), Incidence of subsequent injury to either knee within 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *The American journal of sports medicine*, 37(2), 246-251.
- Shin, C. S., Chaudhari, A. M., & Andriacchi, T. P. (2009), The effect of isolated valgus moments on ACL strain during single-leg landing: a simulation study. *Journal of biomechanics*, 42(3), 280-285.
- Shin, C. S., Chaudhari, A. M., & Andriacchi, T. P. (2011), Valgus plus internal rotation moments increase anterior cruciate ligament strain more than either alone. *Med Sci Sports Exerc*, 43(8), 1484-1491.
- Spindler, K. P., Huston, L. J., Wright, R. W., Kaeding, C. C., Marx, R. G., Amendola, A., . . . Harrell, F. E. (2011), The prognosis and predictors of sports function and activity at minimum 6 years after anterior cruciate ligament reconstruction a population cohort study. *The American journal of sports medicine*, 39(2), 348-359.
- Tate, J., Suckut, T., Wages, J., Lyles, H., & Perrin, B. (2017), The Associations Between Hip Strength And Hip Kinematics During A Single Leg Hop In Recreational Athletes Post Acl Reconstruction Compared To Healthy Controls. *International journal of sports physical therapy*, 12(3), 341.
- Timoney, J. M., Inman, W. S., Quesada, P. M., Sharkey, P. F., Barrack, R. L., Skinner, H. B., & Alexander, A. H. (1993), Return of normal gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 21(6), 887-889.
- Traina, S. M., & Bromberg, D. F. (1997), ACL injury patterns in women. *Orthopedics*, 20(6), 545-549.
- van Mechelen, W. (1992), Running injuries. *Sports medicine*, 14(5), 320-335.
- Voigt, C., Schönaich, M., & Lill, H. (2006), Anterior cruciate ligament reconstruction :state of the art. *European Journal of Trauma*, 32(4), 332-339.
- Von Porat, A., Roos, E., & Roos, H. (2004), High prevalence of osteoarthritis 14 years after an anterior cruciate ligament tear in male soccer players: a study of radiographic and patient relevant outcomes. *Annals of the rheumatic diseases*, 63(3), 269-273.
- Webster, K. E., & Feller, J. A. (2016), Exploring the high reinjury rate in younger patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction. *The American journal of sports medicine*, 0363546516651845.
- White, K. (2014), The effects of neuromuscular training on the ability to return-to-activity for the ACL reconstructed athlete. University of Delaware.
- Wordeman, S. C., & Hewett, T. E. (2016), Research-Based and Clinical Considerations for Effective Neuromuscular Training to Prevent Second Anterior Cruciate Ligament Injury. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 24(1), 7-11.

- Wright, R. W., Dunn, W. R., Amendola, A., Andrish, J. T., Bergfeld, J., Kaeding, C. C., . . . Wolcott, M. (2007), Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction A prospective MOON cohort study. *The American journal of sports medicine*, 35(7), 1131-1134.
- Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007a), Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk a prospective biomechanical-epidemiologic study. *The American journal of sports medicine*, 35(7), 1123-1130.
- Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007b), The effects of core proprioception on knee injury a prospective biomechanical-epidemiological study. *The American journal of sports medicine*, 35(3), 368-373.