

مقایسه اثر خستگی بر ریسک فاکتورهای آسیب ACL در جوانان دارای ضعف نوروماسکولار

خورشید مقدس بیدآبادی، پرستو شمسکهان*

گروه علوم ورزشی، واحد خوراسگان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ وصول: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲

شماره ثبت در مرکز کارآزمایی بالینی ایران: IR.IAU.KHUISF.REC.1403.161

چکیده

زمینه و هدف: آسیب رباط صلیبی قدامی زانو (ACL یا Anterior cruciate ligament) یکی از شایع‌ترین آسیب‌های ورزشی به شمار می‌آید. خستگی جسمانی اندام تحتانی می‌تواند در تغییر الگوی حرکتی این بخش از بدن مؤثر باشد و ریسک فاکتورهای آسیب ACL را افزایش دهد. لذا هدف از مطالعه حاضر تعیین و مقایسه اثر خستگی بر ریسک فاکتورهای آسیب ACL در جوانان دارای ضعف نوروماسکولار بود.

روش بررسی: این مطالعه نیمه تجربی و از نوع کاربردی که در سال ۱۴۰۳ انجام شد، جامعه آماری شامل ۱۶ پسر جوان غیر فعال دچار ضعف نوروماسکولار به صورت هدفمند و در دسترس انتخاب و به عنوان نمونه آماری در این تحقیق شرکت کردند. آزمودنی‌های پیش‌آزمون را که شامل: مولفه‌های کینماتیکی، کینتیکی، فاکتورهای عملکردی، حس عمقی و قدرت عضلانی بود، از طریق آزمون‌های اسکوات تک پا و دراپ جامپ و سیستم موشن کپچر و صفحه نیرو اجرا کردند. بعد از اجرای پروتکل خستگی پس‌آزمون به عمل آمد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آزمون‌های شاپیروویک نرمال سازی شد و آزمون تی زوجی تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده نشان داد خستگی موضعی بر مؤلفه‌های کینماتیکی زانو حین تکلیف اسکوات تک پا، مؤلفه‌های عملکردی؛ حداکثر فلکشن زانو ($p=0/027$)، ارتفاع پرش ($p=0/035$)، شاخص قدرت واکنشی ($p=0/000$)، زمان رسیدن به ثبات ($p=0/038$)، مدت زمان کل پرش ($p=0/032$)، تکلیف دراپ جامپ تک پا ($p=0/044$)، قدرت عضله همسترینگ ($p=0/020$) تفاوت معنی‌داری وجود داشت، ولی بر سایر مؤلفه‌های کینماتیکی و کینتیکی دراپ جامپ تک پا و نرخ توسعه نیروی عضله همسترینگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد خستگی موضعی می‌تواند عملکرد پسران غیر فعال دچار ضعف نوروماسکولار را تحت تأثیر قرار دهد و موجب کاهش عملکرد آنها به خصوص در مؤلفه‌های کینماتیکی زانو حین تکلیف اسکوات تک پا، مولفه‌های عملکردی (ارتفاع پرش، شاخص قدرت واکنشی، زمان رسیدن به ثبات و مدت زمان کل پرش) تکلیف دراپ جامپ تک پا و قدرت عضله همسترینگ شود.

واژه‌های کلیدی: خستگی، آسیب ACL، نوروماسکولار

*نویسنده مسئول: پرستو شمسکهان، اصفهان، دانشگاه بوعلی سینا، واحد خوراسگان، گروه علوم ورزشی

Email: shamsehkohan@khuif.ac.ir

"نشریه علمی پژوهشی ارمغان دانش وابسته به دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، یک نشریه با دسترسی آزاد است و تمامی مقالات منتشر شده در این نشریه به صورت دسترسی آزاد منتشر می‌شوند."

مقدمه

پایدار است، حتی در شرایط خستگی ورزشکار، به طوری که تمام بخش‌های بدن به صورت هم افزایی عمل می‌کنند و احتمال آسیب را کاهش دهند (۱۱). عوامل مختلفی می‌توانند باعث اختلال در عملکرد عضلات و بروز نقص در الگوهای حرکتی شوند که «خستگی» یکی از آنهاست (۱۲). خستگی را به صورت ناتوانی زودگذر در حفظ و استمرار نیروی لازم برای انجام فعالیت‌های فیزیکی تعریف می‌کنند (۱۳). خستگی سبب کاهش قدرت ارادی، ظرفیت عملکردی عضلات، اختلال در فعال‌سازی هم‌زمان عضلات موافق و مخالف، تغییر در الگوی حرکت و در نهایت، کاهش عملکرد و کارایی سیستم عصبی عضلانی می‌شود که افزایش احتمال آسیب دیدگی را به همراه خواهد داشت (۱۴).^۱

در دهه اخیر پژوهشگران علوم ورزشی به مقوله خستگی به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر آسیب توجه زیادی داشته‌اند (۱۵). در پژوهش‌های مختلف نشان داده شده است که خستگی موضعی در مفاصل، از جمله مفصل زانو باعث تغییر در الگوهای بیومکانیکی در مفصل مورد نظر می‌شود (۱۶). لاروسکاین و همکاران به مکانیسم‌های آسیب غیر تماسی ACL که شامل تغییرات در جهت، چرخش و فرود می‌شوند که با خم شدن تحتانی ران و زانو و

لیگامان صلیبی قدامی (ACL)^(۱) یکی از پراسیب‌ترین لیگامان‌های زانو است که آسیب‌پذیری آن در ورزشکاران جوان ۱۵ تا ۲۵ ساله شیوع بیشتری دارد (۱). وقوع آسیب ACL، ۱/۶ در ۱۰۰۰ آسیب ورزشکار در هر ساعت بازی در ورزشکاران نخبه گزارش شده است (۲). پژوهش‌های اپیدمیولوژیکی نشان داده‌اند که زنان ورزشکار ۲ تا ۱۰ برابر بیشتر از مردان ورزشکار در معرض آسیب ACL قرار دارند (۳). فرود از جمله حرکات ورزشی متداول است که می‌تواند نیروی برخوردی به بزرگی ۲ تا ۱۲ برابر وزن بدن ایجاد نماید (۴). میزان فلکشن زانو در هنگام فرود، تعیین کننده فرود نرم یا سخت است (۵). نگایی و همکاران دریافتند میانگین حداکثر زاویه فلکشن زانو در هنگام فرود تک پا کمتر از فرود دو پا است (۶). محققان حداکثر زاویه فلکشن زانو در افت را حدود ۴۵/۵۶ الی ۷۷ درجه گزارش کردند (۷). از این رو می‌توان مشاهده نمود که ضعف نوروماسکولار در پرش و فرود می‌تواند موجب آسیب ACL شود (۸). از سوی دیگر خستگی می‌تواند این آسیب را افزایش دهد (۹). از آن جایی که آسیب‌های رباط صلیبی قدامی (ACL) هم‌چنان در ورزشکار افزایش می‌یابد، بررسی شرایط ورزشکاران برای جلوگیری از آسیب یا شرایطی که میزان آسیب را افزایش می‌دهد ضروری است (۱۰). کلید اجتناب از آسیب، توانایی یک ورزشکار برای ایجاد بازده حرکتی

1-Anterior Cruciate Ligament
2-Dynamic Knee Valgus
3-Proximal Tibia

همچنین والگوس پویای زانو^(۳) رخ می‌دهد، اشاره کردند، این الگوی حرکتی نیروی برشی قدامی تیپیا پروگزیمال^(۳) را تشدید می‌کند و فشار وارده بر رباط را افزایش می‌دهد و به طور بالقوه منجر به آسیب رباط صلیبی قدامی می‌شود^(۱۷). همچنین فورت و همکاران بیان نمودند که شش نقص عصبی عضلانی مختلف در طول فعالیت‌های ضربه‌ای زیاد، مانند پریدن و فرود آمدن منجر به افزایش آسیب ACL می‌شود. این شش نقص عصبی عضلانی شامل موارد زیر است؛ ۱- تسلط پویا والگوس یا رباط(افزایش اتکا به کنترل صفحه فرونتال نسبت به صفحه ساجیتال)، ۲- تسلط بر عضلات چهارسر ران(کمک کمتر عضلات همسترینگ که منجر به آسیب عضله چهارسر برای تثبیت مفصل زانو می‌شود)، ۳- تسلط پا(قدرت، تعادل و هماهنگی بیشتر در پای غالب)، ۴- تسلط تنه(کاهش ثبات و حس عمقی تنه)، ۵- خستگی عصبی عضلانی و ۶- کسری مکانیسم‌های پیشخور. از این رو می‌توان مشاهده نمود که ضعف نوروماسکولار در پرش و فرود می‌تواند موجب آسیب ACL شود^(۱۸). از سوی دیگر خستگی می‌تواند این آسیب را افزایش دهد^(۱۹). از آن جایی که آسیب‌های رباط صلیبی قدامی (ACL) همچنان در ورزشکار افزایش می‌یابد، بررسی شرایط ورزشکاران برای جلوگیری از آسیب یا شرایطی که میزان آسیب را افزایش می‌دهد ضروری است^(۲۰). کلید اجتناب از آسیب، توانایی یک ورزشکار برای ایجاد بازده حرکتی پایدار است، حتی در شرایط

خستگی ورزشکار به طوری که تمام بخش‌های بدن به صورت هم افزایی عمل می‌کنند و احتمال آسیب را کاهش دهند^(۲۱). لذا هدف از مطالعه حاضر تعیین و مقایسه اثر خستگی بر ریسک فاکتورهای آسیب ACL در جوانان دارای ضعف نوروماسکولار بود.

روش بررسی

این یک مطالعه نیمه تجربی با طرح پژوهشی پیش‌آزمون - پس‌آزمون بود. جامعه آماری مطالعه حاضر را پسران جوان با میانگین سنی ۲۴ تا ۳۰ سال غیرفعال و دچار ضعف نوروماسکولار تشکیل دادند. از درون جامعه آماری، ۱۶ پسر جوان غیر فعال دچار ضعف نوروماسکولار به صورت هدفمند و در دسترس انتخاب و به عنوان نمونه آماری در این تحقیق شرکت کردند. معیار ورود به تحقیق افراد، غیر فعال بودن و دچار ضعف نوروماسکولار در اندام تحتانی بود و معیار خروج عدم علاقه و احساس و ایجاد درد در زانو می‌باشد. پس از یک جلسه توجیهی که هدف تحقیق و شیوه اجرای برنامه برای آزمودنی‌ها شرح داده شد. آزمودنی‌ها پیش‌آزمون را که شامل؛ مؤلفه‌های کینماتیکی، کینتیکی، فاکتورهای عملکردی، حس عمقی و قدرت عضلانی بود، از طریق آزمون‌های اسکوات تک پا و دراپ جامپ با پای اتکاء اجرا کردند. بعد از اجرای پروتکل خستگی پس‌آزمون به عمل آمد. برای بررسی ضعف نوروماسکولار در پرش فرود و انتخاب آزمودنی‌ها برای حضور در

مطالعه از تست توک جامپ استفاده شد. این فرآیند بدین ترتیب بود که از آزمودنی‌ها از دو نمای جلویی و جانبی به کمک دوربین ویدئویی فیلم گرفته شد و خطاهای ۱۰ گانه در بازبینی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت آزمودنی‌هایی که در شش و یا بیشتر از شش مورد دچار خطا شدند، برای ورود به مطالعه و تشکیل گروه دچار ضعف نوروماسکولار پرش - فرود انتخاب شدند. برای اجرای پروتکل خستگی و بررسی ریسک فاکتورهای آسیب رباط صلیبی قدامی از پله‌ای ۳۰ سانتی‌متری استفاده شد که آزمودنی‌ها می‌بایست از آن بالا و پایین می‌رفتند. با توجه به بررسی عملکرد پای برتر آزمودنی‌ها، پروتکل خستگی نیز روی این پا اعمال شد. این پروتکل بدین صورت بود که آزمودنی با پای برتر از پله بالا و با پای غیر برتر پایین می‌آمد. این فرآیند ۵۰ مرتبه به وسیله آزمودنی‌ها اجرا می‌شد و سپس ارتفاع پرش تک پای وی سنجیده می‌شد. در صورتی که ارتفاع پرش به ۸۰ درصدی ارتفاع قبل از خستگی می‌رسید، فرد به حد مناسبی از خستگی رسیده بود. در غیر این صورت مجدداً بالا و پایین رفتن از پله را ادامه می‌داد تا در تست بعدی پرش تک پا، ارتفاع پرشش از ۸۰ درصد آغازین نزول کند. از دستگاه ثبت و آنالیز حرکت MoCap جهت محاسبه فاکتورهای کینماتیکی (ولگوس دینامیک زانو، حداکثر فلکشن و حرکت قدامی زانو بالای پنجه پا حین فرود) استفاده شد. همچنین حس عمقی با استفاده از سیستم موشن کپچر سه بعدی اوپتی تراک Optitrack مدل

Duo ۱۲۰۷ ساخت آمریکا با رزولیشن ۶۴۰*۴۸۰ VGA که خطایی کمتر از ۱/۱ میلی‌متر دارد، محاسبه شد. از صفحه نیرو ساخت شرکت راسا پژوهان کشور ایران، مدل سیستم ثبت نیرو با جرم ۵۰ کیلوگرم و فضای کاری ۷۰ در ۷۰ سانتی‌متر، دارای حداکثر خطای ۲۰ گرم برای نیرو و قادر به ثبت داده‌ی نیرو با فرکانس ۵۸۰ هرتز استفاده شد. جهت سنجش فاکتورهای آمادگی جسمانی (ارتفاع پرش، شاخص قدرت واکنشی، زمان رسیدن به ثبات و مدت زمان کل پرش) و به منظور ارزیابی مؤلفه‌های کینتیکی (حداکثر نیروی بندینگ) استفاده شد. در انتها نرم‌افزار متلب جهت پردازش اطلاعات و تبدیل داده‌های خام به داده‌های پردازش شده مورد استفاده قرار گرفت.

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های شاپیروویک نرمال سازی شد و آزمون تی زوجی تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها

اطلاعات مربوط به سن، قد و وزن آزمودنی‌ها در جدول ۱ آورده شده است. آزمودنی‌های این تحقیق را ۱۶ نفر پسر غیر فعال با مشخصات دموگرافی سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی (BMI) تشکیل دادند. میانگین سنی آزمودنی‌ها $1/4 \pm 20/3$ سال و دامنه سنی آن‌ها بین ۱۹ تا ۲۴ سال قرار دارد. میانگین قد آزمودنی‌ها

۷/۳ ± ۱۷۸/۹ سانتی متر و بین ۱۶۸ تا ۱۹۴ سانتی متر متغیر است. همچنین، میانگین وزن بدن آزمودنی‌ها ۶۸/۳ ± ۱۳/۲ در دامنه ۵۲ تا ۱۰۸ کیلوگرم است. در نهایت، شاخص توده بدنی (BMI) آزمودنی‌ها ۲۱/۶ ± ۳/۸ و دامنه آن بین ۱۷ تا ۳۳ متغیر است.

متغیرهای عملکردی آزمودنی‌ها در دو نوبت پیش‌آزمون و پس‌آزمون (قبل و بعد از انجام مداخله خستگی)، در گروه تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفتند. از آمار توصیفی برای محاسبه میانگین و انحراف استاندارد عملکرد آزمودنی‌ها استفاده شد. برای مقایسه متغیرها ابتدا از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف برای تعیین طبیعی بودن توزیع داده‌ها و سپس از آزمون تی زوجی برای مقایسه افراد استفاده شد. که کلیه اطلاعات مربوط به هر یک از آنها در جدول ۲ درج شده است.

نتایج آزمون تی همبسته در جدول ۲ نشان داد که بین دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون (قبل و بعد از انجام مداخله خستگی)، در مؤلفه‌های اسکوات و

دراپ جامپ تک پا در حین اجرای تکلیف قدرتی اسکوات تک پا، تنها در مؤلفه حداکثر فلکشن زانو تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p=0/027$). همچنین در دراپ جامپ تک پا در فاکتورهای عملکردی ارتفاع پرش ($p=0/035$)، شاخص قدرت واکنشی ($p=0/0001$)، زمان رسیدن به ثبات ($p=0/038$) و مدت زمان کل پرش ($p=0/032$) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نتایج بررسی مؤلفه خطای بازسازی زاویه زانو در دو مرحله قبل و بعد نشان داد که خستگی منجر به کاهش معنی‌دار حس عمقی زانو شده است ($p=0/044$). همچنین نتایج بررسی اثر خستگی بر قدرت گروه عضلات همسترینگ نشان داد که کاهش قدرت عضلات همسترینگ در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون منجر به ایجاد تفاوت آماری معنی‌داری شده است ($p=0/020$). در ضمن در مؤلفه نرخ توسعه نیرو با وجود کاهش ۱۲ درصدی پس از خستگی، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد.

جدول ۱: میانگین و انحراف مربوط به سن، قد و وزن آزمودنی‌ها

متغیرها	میانگین ± انحراف معیار	دامنه تغییرات
سن (سال)	۲۰/۳ ± ۱/۴	۱۹-۲۴
قد (سانتی متر)	۱۷۸/۹ ± ۷/۳	۱۶۸-۱۹۴
وزن (کیلو گرم)	۶۸/۳ ± ۱۳/۲	۵۲-۱۰۸
شاخص توده بدنی (BMI)	۲۱/۶ ± ۳/۸	۱۷-۳۳

جدول ۲: میانگین مقایسه آماری مقادیر پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه تحقیق

تکلیف	متغیر	همبستگی	نمره تی	معنی‌داری
اسکوات تک پا	حداکثر ولگوس	۰/۶۹۴	۱/۵۰۸	۰/۱۵۲
	حداکثر فلکشن زانو	۰/۶۶۶	۲/۴۵۴	*۰/۰۲۷
	حداکثر حرکت زانو بالای پنجه	۰/۸۷۵	۱/۴۸۸	۰/۱۵۸
دراپ جامپ تک پا	حداکثر ولگوس	۰/۵۴۶	۱/۲۴۷	۰/۲۳۱
	حداکثر فلکشن زانو	۰/۶۷۹	-۰/۲۰۲	۰/۸۴۳
	حداکثر حرکت زانو بالای پنجه	۰/۵۲۲	۰/۰۹۹	۰/۹۲۲
اسکوات تک پا	حداکثر نیروی فرود	۰/۰۳۵	۰/۹۱۱	۰/۳۷۷
	ارتفاع پرش	۰/۷۷۵	۲/۳۱۷	*۰/۰۳۵
	شاخص قدرت واکنشی	۰/۸۷۷	۴/۴۵۳	*۰/۰۰۰
دراپ جامپ تک پا	زمان رسیدن به ثبات	۰/۴۶۱	-۲/۲۷۱	*۰/۰۳۸
	مدت زمان کل پرش	۰/۶۷۳	-۲/۳۷۱	*۰/۰۳۲
	خطای بازسازی زاویه زانو	۰/۳۰۲	-۲/۲۰۱	*۰/۰۴۴
اجرای آزمون ایزومتریک	قدرت همسترینگ	۰/۶۲۲	۲/۶۱۱	*۰/۰۲۰
	نرخ توسعه نیرو همسترینگ	۰/۳۴۶	۱/۵۵۷	۰/۱۴۰

بحث

آسیب ACL در بین آسیب‌های ورزشی دارای شیوع بالایی می‌باشد. با وجود آن که هم مردان و هم زنان در معرض این آسیب قرار می‌گیرند. در این راستا پارگی رباط صلیبی قدامی (ACL) به عنوان یکی از جدی‌ترین آسیب‌ها در ورزش شناخته می‌شود که بیشتر آنها بدون هیچ گونه تماس با دیگران رخ می‌دهد (۱۳)، لذا هدف از مطالعه حاضر تعیین و مقایسه اثر خستگی بر ریسک فاکتورهای آسیب ACL در جوانان دارای ضعف نوروماسکولار بود.

ضعف نوروماسکولار می‌تواند باعث اختلال در هماهنگی بین عضلات مختلف و کاهش دقت در اجرای حرکات شود، اما در این پژوهش مشاهده شد

که خستگی موضعی بر مؤلفه‌های کینماتیکی زانو حین تکلیف دراپ جامپ تک پا دچار ضعف نوروماسکولار تأثیر ندارد. در این راستا می‌توان گفت که با وجود این که خستگی موضعی می‌تواند تأثیرات زیادی بر کینماتیک زانو داشته باشد، تطابق‌های فردی و استراتژی‌های جبرانی ممکن است در افراد با ضعف نوروماسکولار نقش محافظتی داشته باشند، همچنین افراد با ضعف نوروماسکولار ممکن است الگوهای حرکتی محافظه‌کارانه‌تری را اتخاذ کنند که به کاهش تأثیر خستگی بر کینماتیک زانو کمک می‌کند (۲۲). در پژوهشی کلانتریان و همکاران تأثیر خستگی بر عملکرد و مکانیک فرود تکواندوکاران نوجوان را بررسی کردند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که پس

از اعمال خستگی، عملکرد آزمودنی‌ها کاهش یافته و خطای بیومکانیکی اندام تحتانی افزایش یافته است. خستگی می‌تواند به طور قابل توجهی بر عملکرد و بیومکانیک تکناندوکاران نوجوان تأثیر بگذارد. بنابراین مربیان تکناندو باید راهکارهای مؤثری را برای کاهش خستگی، تقویت آمادگی ورزشکاران و بهینه سازی عملکرد آنها در تمرینات و مسابقات به کار گیرند (۲۳). از سوی دیگر خستگی باعث کاهش هماهنگی عضلات و تغییر در الگوهای حرکتی می‌شود که می‌تواند باعث توزیع ناهماهنگ نیروها در طول فرود شود. در واقع خستگی الگوهای نیروهای وارد شده به مفاصل را تغییر می‌دهد. همچنین کادنز و همکاران بیان کردند که خستگی بر فاکتورهای کینتیکی فرود تأثیرگذار است. به عبارتی دیگر خستگی موضعی می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر فاکتورهای کینتیکی فرود در افراد دارای ضعف نوروماسکولار داشته باشد. این تأثیرات می‌توانند منجر به افزایش خطر آسیب‌دیدگی، کاهش کنترل حرکتی و تغییرات در الگوهای حرکتی شوند (۲۴). از این رو به نظر می‌رسد اثر خستگی بر ارتفاع پرش در افراد دارای ضعف عصبی عضلانی می‌تواند به شدت قابل توجه باشد. افراد دارای ضعف نوروماسکولار اغلب به طور طبیعی قدرت عضلانی کمتری دارند. شاخص قدرت واکنشی یک معیار مهم در ارزیابی عملکرد پرش و توانایی واکنش سریع به نیروی وارد بر بدن است. در افراد دارای ضعف نوروماسکولار، خستگی می‌تواند اثرات

منفی بیشتری بر این شاخص بگذارد. این افراد معمولاً توانایی کمتری در تولید نیرو دارند. خستگی می‌تواند این توانایی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد، که منجر به کاهش شاخص قدرت واکنشی می‌شود. همچنین خستگی می‌تواند سرعت واکنش عصبی و زمان واکنش را کاهش دهد که قدرت واکنشی آنها را تضعیف می‌نماید. این امر در افراد دارای ضعف نوروماسکولار بیشتر مشهود است، زیرا سیستم عصبی آنها از قبل تحت فشار است و به خستگی حساس‌تر می‌باشد. همچنین مدت زمان کل پرش به معنی زمان تماس با زمین و زمان پرواز است که خستگی در افراد دارای ضعف نوروماسکولار به دلایلی از قبیل کاهش قدرت عضلانی، اختلال در هماهنگی عصبی - عضلانی و افزایش حساسیت به خستگی کمتر می‌گردد. افراد دارای ضعف نوروماسکولار معمولاً به خستگی حساس‌تر هستند (۲۵). این حساسیت بیشتر می‌تواند به کاهش عملکرد کلی و افزایش زمان تماس با زمین و کاهش مدت زمان پرواز منجر شود. در تحقیقی دیگر گودروچاس بیان کردند که حس عمقی به توانایی بدن برای درک موقعیت و حرکت مفاصل بدون نیاز به دیدن آنها اشاره دارد. این حس از طریق گیرنده‌های حسی در عضلات، تاندون‌ها و مفاصل به مغز ارسال می‌شود و نقش بسیار مهمی در کنترل حرکات و حفظ تعادل دارد (۲۶). در تحقیق مشابه دیگر ازویدو و همکاران گزارش دادند که خستگی می‌تواند تأثیرات

منفی بر حس عمقی زانو داشته باشد و این تأثیرات می‌تواند منجر به مشکلاتی در تعادل و عملکرد حرکتی شود. خستگی باعث می‌شود که دقت در حس عمقی زانو کاهش یابد، به طوری که فرد قادر به تشخیص دقیق موقعیت و حرکت زانو نباشد. در واقع خستگی می‌تواند عملکرد گیرنده‌های حسی و مسیرهای عصبی مرتبط با حس عمقی را مختل کند. در واقع کاهش دقت حس عمقی و افزایش تأخیر در انتقال سیگنال‌های عصبی می‌تواند باعث کاهش توانایی در واکنش سریع به تغییرات محیطی شود که این امر در افراد دارای ضعف عصبی - عضلانی نمود بیشتری دارد (۲۷). از این رو می‌توان نتیجه گرفت که خستگی بر حس عمقی افراد دارای ضعف عصبی - عضلانی تأثیر می‌گذارد. دیامانوئل و همکاران بیان کردند که نرخ توسعه نیروی عضله همسترینگ به معنای سرعت و میزان تغییر در قدرت عضلانی در طول زمان است. این نرخ می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله؛ نوع تمرینات، میزان استراحت، تغذیه و ویژگی‌های فردی مانند سن و وضعیت سلامتی قرار گیرد. در واقع خستگی موضعی باعث کاهش توانایی عضله برای انقباض مؤثر و تولید نیروی کافی می‌شود که می‌تواند به کاهش نرخ توسعه نیروی عضلانی منجر شود. در افراد دارای ضعف نوروماسکولار، سیستم عصبی ممکن است به طور مؤثری قادر به تحریک و فعال‌سازی عضلات نباشد. به این ترتیب، حتی در شرایط خستگی موضعی، قدرت عضله همسترینگ

ممکن است به طور کامل تحت تأثیر قرار نگیرد (۲۸). همچنین می‌توان دلیل این امر را سازگاری‌های عصبی - عضلانی دانست که به عضلات کمک می‌کند تا در برابر خستگی موضعی مقاومت کنند یا پاسخ‌دهی خود را حفظ کنند. این سازگاری‌ها می‌توانند به افراد دارای ضعف نوروماسکولار کمک کنند تا نرخ توسعه نیروی عضلانی آنها تحت تأثیر خستگی موضعی قرار نگیرد. از محدودیت‌های پژوهش حاضر، می‌توان به عدم کنترل سطح آمادگی جسمانی و عوامل روانی اشاره کرد، لذا پیشنهاد می‌شود انجام پژوهش‌های مشابه با مداخله تمرینات تقویتی و تعادلی به منظور بهبود پایداری و کنترل حرکتی زانو بررسی شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد خستگی موضعی می‌تواند عملکرد پسران غیر فعال و دچار ضعف نوروماسکولار را تحت تأثیر قرار دهد و موجب کاهش عملکرد آنها به خصوص در مؤلفه‌های کینماتیکی زانو حین تکلیف اسکوات تک پا، مؤلفه‌های عملکردی (ارتفاع پرش، شاخص قدرت واکنشی، زمان رسیدن به ثبات و مدت زمان کل پرش) تکلیف دراپ جامپ تک پا، قدرت عضلات همسترینگ شود.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از کلیه آزمودنی‌هایی که ما را در این پژوهش یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماییم.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافی در خصوص این مقاله وجود ندارد.

حمایت مالی

این تحقیق بدون هیچ حمایت و کمک مالی انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش برگرفته از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته آسیب شناسی و حرکات اصلاحی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) با کد اخلاق IR.IAU.KHUISF.REC.1403.161 می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول مسئولیت نگارش و انجام کارهای عملی پژوهش را انجام دادند و نویسنده دوم طراحی، نظارت و مکاتبات فرآیند پژوهش را بر عهده داشت.

REFERENCES

- 1.Akbarieh Kaleybar M, Babakhani F, Balouchi R, Shamlou Kazemi A. Comparison of the effect of acute and delayed fatigue on the time to stability of female gymnasts with and without dynamic knee valgus during drop-landing task". *Sport Sciences and Health Research* 2022; 14(2): 265-273.
- 2.Rajaeian O, Khaleghi M, Abbasi A, Eftekhari F. ACL risk factors using lower limb joint angles in single-leg drop landing between young Athletes with Normal and Flatfeet. *J Rehab Med* 2019; 8(1): 79-86.
- 3.Rokninezhad M. The effect of closed kinetic chain exercises on lower extremity function in male football players after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine* 2024; 13(2): 462-75.
- 4.Moon J, Lee J, Kim K, Koo D, Lee J, Pathak P, Sanchez GAR, Panday SB. Effect of muscle-specific fatigue on the risk of anterior cruciate ligament injury in females. *Appl Sci* 2021; 11: 4969.
- 5.Sheikhi B, Letafatkar A, Hadadnezhad M. Effect of injury prevention training with global systems approach on kinetics and trunk and lower extremity kinematics during jump landing in active individuals at risk of anterior cruciate ligament injury: quasi-experimental study. *J Res Rehabil Sci* 2021; 17: 28-36.
- 6.Rajabzadeh A, Jamshidi AA. Biomechanical risk factors of non-contact anterior cruciate ligament injuries: a review of the literature. *J Res Rehabil Sci* 2015; 11(1): 70-5.
- 7.Harato K, Morishige Y, Niki Y, Kobayashi S, Nagura T. Fatigue and recovery have different effects on knee biomechanics of drop vertical jump between female collegiate and recreational athletes. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2021; 16(739): 1-7.
- 8.Hajlotfalian M, Honarvar MH, Shamsehkohan P. Musculoskeletal modeling of optimal soccer kick to evaluate selected muscle's function. *Journal of Advanced Sport Technology* 2019; 3(2): 129-37.
- 9.Norouzi K, Mahdavi nejad R, Mohammadi MR. Effect of core and hip neuromuscular training on knee joint position sense and static balance of male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction. *sport medicine studies. Spring & Summer* 2019; 11(25): 109-26.
- 10.Arabjafari Z, Fatahi H, Shamsehkohan P. The effect of 8 weeks combined exercises (core stability and theraband) on distance of knee medial condyles, Q angle and endurance of core muscles in adolescent students with genu varum. *Journal for Research in Sport Rehabilitation* 2020; 8(15): 101-13.
- 11.Ghobadi Nezhad S, Hoseini SH, Norasteh AA. Effect of six weeks of progressive jump-landing training on jump shooting accuracy and knee valgus angle in male basketball players with dynamic knee valgus. *Journal of Sport Biomechanics* 2021; 7(1): 148-63.
- 12.Aziminia M, Abbasi A. Comparing trunk and lower extremity kinematic variables during side-cutting maneuver in healthy and anterior cruciate ligament reconstructed athletes. *Journal of Sport Biomechanics* 2022; 8(1): 50-64.
- 13.Sebyani M, Shirzad E, Minoonejad H. Effect of core muscles functional fatigue on some kinematics parameters related to anterior cruciate ligament (ACL) injury during cutting maneuver in college male athletes. *sport medicine studies. Spring & Summer* 2018; 10 (23): 61-80.
- 14.Ebrahimi Hagh Z, Rajabi R, Minoonejad H, Daneshfar A. The immediate effect of holistic and external focus of attention on the improvement of single leg hop and knee range of motion of female athletes prone to anterior cruciate ligament injury. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2024; 13(4): 812-29.*
- 15.Hashemi Taklimi MS, Faezi G, Shamsehkohan P. The effects of acute static and ballistic stretching techniques on the proximal tibia anterior shear forces during forward stop-jump performance. *Journal for Research in Sport Rehabilitation* 2015; 2(4): 31-40.
- 16.Roghani T, Niknam H, Rezaei M, Jahantigh Akbari N, Jame Bozorgi AA. Short and medium-term effects of kinesio taping on proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine* 2024; 13(3): 676-687.
- 17.Larruskain J, Lekue JA, Martin-Garetxana I, Barrio I, McCall A, Gil SM. Injuries are negatively associated with player progression in an elite football academy. *Science and Medicine in Football* 2022; 6(4): 405-14.
- 18.Fort-Vanmeerhaeghe A, Montalvo AM, Lloyd RS, Read P, Myer GD. Intra-and inter-rater reliability of the modified tuck jump assessment. *Journal of Sports Science & Medicine* 2017; 16, 117-24.
- 19.Haj-Lotfalian M, Honarvar MH, Shamsehkohan P. The biomechanics and muscle function in various squat techniques with a rehabilitative and training approach: a narrative review. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences* 2019; 15(5): 294-304.

20. Shamsehkohan P, Sadeghi H, Navvab Motlagh F, Ebrahim H. The relationship between range of motion, angular velocity, shearing force and reaction force of lower extremity of jump serve in male volleyball players. *Journal for Research in Sport Rehabilitation* 2014; 2(3): 21-9.
21. Dingenen B, Gokeler A. Optimization of the return to sport paradigm after anterior cruciate ligament reconstruction: a critical step back to move forward. *Sports Medicine* 2017; 47(8): 1487-500.
22. Drigny J, Rolland M, Gauthier A. The influence of knee proprioception and strength on lower-limb functional symmetry in healthy adults. *Muscles* 2025; 4: 3.
23. Kalantariyan M, Samadi S, Beyranvand R. The effect of fatigue on performance and landing mechanics of adolescence taekwondo players. *Sport Sciences and Health Research* 2024; 16(1): 105-14.
24. Cadens M, Planas-Anzano A, Peirau-Terés X, Benet-Vigo A, Fort-Vanmeerhaeghe A. Neuromuscular and biomechanical jumping and landing deficits in young female handball players. *Biology* 2023; 12: 134.
25. Ghorbani M, Jalil Piran R, Babakhani F. The effect of fatigue on the time to stability in head movement in soccer players with a history of anterior cruciate ligament reconstruction. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine* 2024; 13(1): 148-161.
26. Guede-Rojas F, Benavides-Villanueva A, Salgado-Gonzalez S, Mendoza C, Arias-Alvarez G, Soto-Martínez A, Carvajal-Parodi C. Effect of strength training on knee proprioception in patients with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine and Health Science* 2024; 6: 101–10.
27. Azevedo J, Moreira-Silva I, Seixas A, Fonseca P, Oliveira J, Vilas-Boas JP. The effect of muscle fatigue on the knee proprioception: a systematic review. *J Mot Behav* 2024; 56(6): 772-804.
28. D'Emanuele S, Maffiuletti NA, Tarperi C, Rainoldi A, Schena F, Boccia G. Rate of force development as an indicator of neuromuscular fatigue: a scoping review. *Front Hum Neurosci* 2021; 15: 1-11.

Comparison of the Effects of Fatigue on ACL Injury Risk Factors in Youth with Neuromuscular Weakness

Moqaddas Bidabadi KH, ShamsehKohan P*

¹Department of Sports Sciences, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran, ²Department of Sports Sciences, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Received Date: 30 Jul 2025 Accepted Date: 23 Dec 2025

Abstract

Background & aim: Anterior cruciate ligament(ACL) injuries are among the most prevalent sports-related injuries. Lower limb physical fatigue can alter movement patterns, thereby increasing the risk factors for ACL injury. This study aimed to compare the effects of fatigue on ACL injury risk factors in inactive young males with neuromuscular weakness.

Methods: Sixteen inactive young males with neuromuscular weakness were selected through purposeful and convenience sampling. Participants underwent a pre-test assessment encompassing kinematic and kinetic variables, performance factors, proprioception, and muscle strength, utilizing single-leg squat and drop jump tasks. Data were captured using motion capture and force plate systems. Following the administration of a fatigue protocol, a post-test was conducted. Data normality was assessed using the Shapiro-Wilk test, and a paired t-test was employed to compare pre- and post-test means for dependent variables at a significance level of $p \leq 0.05$.

Results: Significant differences were observed in maximum knee flexion ($p=0.027$), jump height ($p=0.035$), reactive strength index ($p=0.000$), time to stabilization ($p=0.038$), total jump duration ($p=0.032$), single-leg drop jump performance ($p=0.044$), and hamstring muscle strength ($p=0.020$). However, no significant differences were found in other kinematic and kinetic components of the single-leg drop jump or the rate of hamstring muscle force development.

Conclusion: The findings suggest that localized fatigue significantly impacts the performance of inactive males with neuromuscular weakness. This fatigue leads to performance decrements, particularly in knee kinematics during single-leg squats, functional components (jump height, reactive strength index, time to stabilization, and total jump duration) during single-leg drop jumps, and overall hamstring strength.

Keywords: Fatigue, ACL injury, Neuromuscular, Biomechanics.

*Corresponding author: ShamsehKohan P, Department of Sports Sciences, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
Email: shamsehkohan@khuisf.ac.ir

Please cite this article as follows: Moqaddas Bidabadi KH, ShamsehKohan P. Comparison of the Effects of Fatigue on ACL Injury Risk Factors in Youth with Neuromuscular Weakness. Armaghane-danesh 2025; 30(6): 783-794.

The scientific research journal Armaghan Danesh, affiliated with Yasuj University of Medical Sciences, is an open-access publication. All articles published in this journal