نشریه پژوهش در توانبخشی ورزشی
دوره ۷، شماره ۱٤، پاییز و زمستان ۱۳۹۸
٤٤ - ۳۳

WWW.RSR.BASU.AC.IR

اثر خستگی بر میزان هم انقباضی عضلات اطراف زانو و اجرای عملکردی در ورزشکاران با سابقه پارگی رباط صلیبی قدامی

کمیل دشتی رستمی[۱*]، محمدحسین علیزاده[۲]، هومن مینونژاد[۳]، حمیدرضا یزدی[٤]

۱. استادیار آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه مازندران
۲. استاد آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه تهران
۳. استادیار آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه تهران
۴. فوق تخصص جراحی زانو، دانشیار دانشگاه علوم پزشکی ایران

« مقاله‌ی پژوهشی»

دریافت ۱۱ آذر ۱۳۹۸؛ پذیرش ۲۵ اسفند ۱۳۹۸

واژگان کلیدی

زانو

رباط صلیبی قدامی

کنترل عصبی- عضلانی

اجرای عملکردی

چکیده

زمینه و هدف: از آنجایی‌که ورزشکاران بعد از پارگی رباط صلیبی قدامی خستگی را تجربه می‌کنند، بنابراین شناخت اثرات خستگی بر کنترل عصبی عضلانی و اجرای عملکردی حائز اهمیت است. هدف تحقیق حاضر بررسی اثر خستگی بر میزان هم انقباضی عضلات اطراف زانو و اجرای عملکردی در ورزشکاران با سابقه‌ی پارگی رباط صلیبی قدامی بود.

روش بررسی: نمونه تحقیق حاضر شامل ۳۶ ورزشکار بود که در سه گروه، ۱۲ نفر با عمل بازسازی رباط صلیبی (ACLR)، ۱۲ نفر با پارگی رباط صلیبی بدون عمل بازسازی (ACLD) و ۱۲ نفر به‌عنوان گروه کنترل قرار گرفتند. میزان هم انقباضی عضلات چهارسر- همسترینگ، چهارسر- دوقلو و اجرای عملکردی در قبل و بعد از خستگی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: میزان هم انقباضی عضلات چهارسرران- دوقلو در گروه‌های آسیب دیده (ACLR و ACLD) به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل بود. همچنین اجرای عملکردی در تست لی تک پا در گروه‌های آسیب دیده به طور معناداری بعد از خستگی کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: هم انقباضی عضلات چهارسر- دوقلو در ایجاد ثبات مفصل زانو مهم است، لذا توصیه می‌شود در تمرینات توانبخشی این دو عضله بیشتر مدنظر قرار گیرد. با توجه به کاهش اجرای عملکردی در ورزشکاران آسیب دیده، پیشنهاد می‌شود آزمون‌های عملکردی در شرایط خستگی نیز ارزیابی شوند.

* اطلاعات نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۱۱۵۵۹۰۸۳
پست الکترونیکی: kdr_140@yahoo.com
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22084/RSR.2020.20511.1473

مقدمه

پارگی رباط صلیبی قدامی (ACL)[1] یکی از شایع‌ترین آسیب‌ها در طول فعالیت‌های ورزشی است (لپلی، مکلین، اسمیت، ۲۰۱۳؛ لسی، سراوو، ۲۰۱۷؛ یو و گارت، ۲۰۰۷). دو مورد از عوارض جدی پارگی ACL، صرف نظر از درمان جراحی یا غیرجراحی، عدم بازگشت به سطح فعالیت ورزشی قبلی (گابی و فرانسیسکو، ۲۰۰۶؛ تیلور و فلر، ۲۰۱۱؛ باهر، ۲۰۰۳) و ابتلا به آرتروز است (بلاژوویچ، جفری، جوردن، ۲۰۱۰). گزارش شده است که اغلب آسیب‌های ورزشی در اواخر بازی زمانی‌که خستگی وجود دارد، رخ می‌دهند (هادسون و گیبسون، ۲۰۰۱؛ هاوکینز و فلر، ۱۹۹۹). خستگی عصبی عضلانی در طول فعالیت‌های ورزشی رخ داده و با ایجاد اختلال در کنترل عصبی عضلانی باعث آسیب می‌شود. ادبیات تحقیقی نشان می‌دهد که خستگی الگوی فعالیت عضلات چهار سران و همسترینگ را در افراد سالم تغییر می‌دهد (وجتی و رزی، ۱۹۹۶؛ لفارت و فو، ۱۹۹۹)

هم انقباضی[2] فعال شدن همزمان عضلات مخالف حول یک مفصل تعریف می‌شود (گاردینر، ۲۰۰۹). هدف از هم انقباضی عضلات، تقویت عملکرد رباط در حفظ ثبات مفصل، ایجاد مقاومت در برابر چرخش مفصل و متعادل کردن توزیع فشار در سطح مفصلی است. هم انقباضی عضلات اطراف زانو یک استراتژی عصبی عضلانی در طول فعالیت دینامیک است تا از این طریق در مفصل ثبات ایجاد کرده و نیروهای برشی و چرخشی (که هر دو برای مفصل مضر هستند) را کاهش دهد (سولومونوف، براتا، ژو، آمبروسیا، ۱۹۸۸؛ سولومونوف و کروکساگارد، ۲۰۰۱).

دو دیدگاه در ارتباط با میزان هم انقباضی عضلات اطراف زانو بعد از آسیب ACL وجود دارد، از یک طرف هم انقباضی عضلانی می‌تواند یک سازگاری مثبت به بی‌ثباتی ناشی از آسیب باشد. در واقع از دیدگاه بیومکانیکی، هم‌انقباضی می‌تواند به‌عنوان مکانیسم محافظتی مفصل عمل کند. فعال شدن همزمان گروه‌های عضلانی مخالف می‌تواند در توزیع نیروهای سطح مفصلی و به‌طور همزمان در افزایش ثبات مفصل نقش داشته باشد. از طرف دیگر، هم‌انقباضی به‌عنوان یک استراتژی مضر برای یکپارچگی مفصل در نظر گرفته شده است. علی‌رغم تأثیر هم انقباضی بر توزیع یکسان فشارهای مفصلی، اثر بیش از حد آن باعث افزایش نیروهای خالص فشاری[3] در سطح مفصل شده و می‌تواند زمینه‌ساز بروز و پیشرفت آرتروز شود (گاردینر، ۲۰۰۹). با توجه به اینکه ساختارهای پویا (عضلات) و ایستای (رباط‌ها) ثبات مفصل زانو بعد از آسیب ACL دچار اختلال می‌شوند، به نظر می‌رسد که افراد با سابقه پارگی ACL به منظور افزایش ثبات مفصل از سطوح بالاتر میزان هم‌انقباضی عضلات استفاده کنند. در واقع اثرات خستگی که در طول تمرین یا رقابت رخ می‌دهد، کنترل عصبی عضلانی را تا نقطه‌ای دچار اختلال می‌کند که واکنش‌های عضلانی غیرطبیعی اجتناب ناپذیر است (دکر، ویلند، استرت، ۲۰۱۳). در تحقیقات قبلی اثر آسیب ACL و خستگی بر میزان هم انقباضی گروه‌های عضلانی مخالف مفصل زانو مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تحقیق کلیس و همکاران نشان داد که خستگی عضلات اکستنسور زانو باعث افزایش نسبت هم انقباضی عضلات چهارسرران و همسترینگ در حین حرکت فرود شده و خطر آسیب را افزایش می‌دهد (کلیس و همکاران، ۲۰۰۹). در تحقیق پادوا و همکاران استفاده از یک پروتکل خستگی در زنجیره حرکتی بسته (تکرار حرکات اسکات) باعث افزایش نسبت فعالیت عضله چهارسرران به همسترینگ (Q:H) شد. این افزایش در نتیجه اتکای بیش از حد آزمودنی‌ها به عضله چهارسران[4] در بعد از خستگی بود که می‌تواند خطر آسیب ACL را افزایش دهد (پادوا و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج تحقیق رادولف و همکاران[5] (۲۰۰۰) نشان داد که میزان هم‌انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو خارجی در افراد با نقص رباط صلیبی قدامی (ACLD)[6] به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل است (رادولف و مکلر، ۲۰۰۰). ترس و همکاران[7] (۲۰۰۵) نیز در تحقیق خود نشان دادند که تمرینات اغتشاشی می‌تواند میزان هم‌انقباضی عضلات چهارسر - همسترینگ و چهارسر - دوقلو را در افرادACLD به‌طور معناداری کاهش دهد (ترس، رادولف، وندی، مایکل، ۲۰۰۵). در تحقیق لپلی و همکاران[8] (۲۰۱۳) نیز شاخص

1. Anterior cruciate ligament
2. Co-contraction
3. Net compressive force
4. Quadriceps dominance
5. Rudolph et al
6. Anterior cruciate ligament deficit
7. Teres et al
8. Lepley et al

هم‌انقباضی چهارسر به همسترینگ خارجی بعد از خستگی در افراد با عمل بازسازی رباط صلیبی (ACLR)[1] و سالم به‌طور معناداری کاهش یافت ولی بین دو گروه تفاوت معناداری وجود نداشت (لپلی، توماس، مکلین، ۲۰۱۳). بر اساس دانسته‌های محقق در تحقیقات قبلی اثر خستگی بر میزان هم‌انقباضی عضلات اطراف زانو در ورزشکاران ACLD مورد بررسی قرار نگرفته است. در ارتباط با ورزشکاران ACLR نیز اثر خستگی تنها بر میزان هم‌انقباضی عضلات پهن خارجی و همسترینگ خارجی مورد بررسی قرار گرفته و واکنش سایر عضلات اطراف زانو به خستگی ناشناخته باقی مانده است.

توانایی انجام فعالیت‌های ورزشی تحت شرایط خستگی (توانایی حفظ نیرو و توان عضلانی) دارای اهمیت ویژه‌ای است. با این وجود اغلب آزمون‌های عملکرد دینامیک برای اهداف ورزشی و توانبخشی در شرایط عدم خستگی انجام می‌شوند. به منظور ارزیابی بهتر مداخلات تمرینی و توانبخشی، ارزیابی عملکرد دینامیک تحت شرایط خستگی پیشنهاد شده است (جسپر و همکاران، ۲۰۰۴). آزمون لی تک پا[2] اغلب به‌عنوان پیش‌بین عملکرد دینامیک مفصل زانو بخصوص در افراد با آسیب ACL مورد استفاده قرار گرفته است (فیتزگارد، لفارت، واینر، ۲۰۰۱). تحقیقات نشان داده است از بین آزمون‌های لی، تست لی تک پا معتبرترین و پایاترین تست برای ارزیابی افراد بعد از آسیب ACL است (گریندم، دیوید، مایکل، ۲۰۱۱؛ لکساندر، کامیل، جسپر، جان، رولاند، ۲۰۰۶). در تحقیق جسپر و همکاران[3] (۲۰۰۴) شاخص قرینگی اندام در تست لی تک پا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. قبل از اعمال پروتکل خستگی شاخص قرینگی اندام در تمام بیماران بالای ۹۰٪ بود اما بعد از خستگی ۶۸٪ بیماران عدم قرینگی اندام (کمتر از ۹۰٪) داشتند (جسپر و کارلسون، ۲۰۰۴). گزارش شده است که تمرین خستگی در ترکیب با تست لی تک پا یک روش پایا برای بررسی اجرای عملکردی تحت شرایط خستگی است (آگوستون، تومی، لیندن، کارلسون، فولکسن، ۲۰۰۶).

بر اساس دانسته‌های محقق، تحقیقات بسیار اندکی در ارتباط با بررسی اثر خستگی بر شاخص‌های عصبی - عضلانی و اجرای عملکردی در ورزشکاران با عمل بازسازی ACL انجام شده است. اگرچه این تحقیقات اطلاعات مهمی راجع به اثرات خستگی در این گروه از ورزشکاران فراهم می‌کند، اما در این تحقیقات اثرات خستگی بر میزان هم انقباضی گروه‌های عضلانی مخالف زانو و اجرای عملکردی مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین تاکنون تحقیقی به بررسی اثرات خستگی در نیمی دیگر از ورزشکاران با سابقه پارگی ACL که از روش غیرجراحی استفاده می‌کنند، نپرداخته است. بنابراین با توجه به مطالب بیان شده هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر خستگی بر میزان هم‌انقباضی عضلات اطراف زانو (چهارسرران، همسترینگ و دوقلو) و اجرای عملکردی در ورزشکاران با سابقه‌ی پارگی ACL (با و بدون عمل بازسازی) و سالم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

طرح تحقیق حاضر از نوع مورد - شاهد[4] است. جامعه آماری تحقیق حاضر مردان ورزشکار در دامنه‌ی سنی ۱۸ تا ۳۰ سال بودند که طی ۳ سال گذشته دچار پارگی ACL شده و از روش جراحی و غیرجراحی برای درمان استفاده کردند. از جامعه آماری فوق ۳۶ ورزشکار، ۱۲ ورزشکار با عمل بازسازی رباط صلیبی قدامی[5] (ACLR)، ۱۲ ورزشکار با پارگی رباط صلیبی قدامی بدون عمل بازسازی[6] (ACLD) و ۱۲ ورزشکار سالم به‌عنوان نمونه تحقیق حاضر انتخاب شدند. اندازه حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار STATA با توان آماری ۰/۸۰، آلفای ۰/۰۵ و با در نظر گرفتن میانگین و انحراف استاندارد جامعه و نمونه در متغیرهای اصلی تحقیق (میزان هم انقباضی عضلات) برای طرح تحقیقی اندازه‌های مکرر به‌دست آمد (رادولف و همکاران، ۲۰۰۰؛ وبستر و همکاران، ۲۰۱۲).

معیارهای ورود به تحقیق برای دو گروه آسیب ACL (با و بدون عمل بازسازی) شامل، ۱۸ تا ۳۶ ماه بعد از عمل بازسازی ACL یا درمان محافظه‌کارانه[7]، دامنه سنی بین ۱۸ تا ۳۰ سال، پایان دوره توانبخشی و بازگشت به فعالیت ورزشی سطح متوسط به بالا (جدول ۱) (هفتی و همکاران، ۱۹۹۳) بود (لپلی و همکاران، ۲۰۱۳؛ رادولف و همکاران، ۲۰۰۰).

1. Anterior cruciate ligament reconstructed
2. Single leg hop test
3. Jesper et al
4. Case-control study
5. Anterior cruciate ligament reconstructed
6. Anterior cruciate ligament deficient
7. Conservative

معیارهای خروج از تحقیق برای دو گروه آسیب ACL (با و بدون عمل بازسازی) شامل، سابقه عمل جراحی اندام تحتانی به غیر از بازسازی ACL ،آسیب اندام تحتانی بعد از عمل بازسازی ACL، وجود آسیب دوطرفه، آسیب رباط‌های دیگر زانو شامل رباط جانبی داخلی، خارجی و صلیبی خلفی و وجود آسیب‌های دیگر در اندام تحتانی (سندرم درد کشککی - رانی، اسپرین مچ پا و ...) بود. آزمودنی‌های گروه کنترل نیز سابقه‌ی آسیب در مفصل زانو نداشته و از لحاظ دامنه سنی و سطح فعالیت بدنی با آزمودنی‌های دو گروه آسیب دیده جور بودند (لپلی و همکاران، ۲۰۱۳؛ رادولف و همکاران، ۲۰۰۰).

جدول ۱: طبقه‌بندی سطح فعالیت بدنی بعد از آسیب ACL (هفتی و همکاران، ۱۹۹۳)

سطح	فعالیت بدنی
سطح ۱	رشته‌های همراه با حرکات پرش، برش، چرخش (فوتبال، هندبال، بسکتبال)
سطح ۲	رشته‌ای همراه با حرکات جانبی با چرخش کمتر نسبت به سطح ۱ (رشته‌های راکتی، رزمی، کشتی، ژیمناستیک)
سطح ۳	فعالیت‌های همراه با حرکات مستقیم رو به جلو بدون پرش و چرخش (دویدن، کوهنوردی)
سطح ۴	بدون تحرک

روش انجام کار

ابتدا ورزشکاران با سابقه‌ی پارگی ACL با توجه به معیار ورود و خروج و با مجوز جراح ارتوپد انتخاب شدند. پس از تکمیل فرم رضایت‌نامه، اطلاعات دموگرافیک آزمودنی (سن، سابقه‌ی ورزشی، رشته‌ی ورزشی، مدت زمان سپری شده از آسیب یا جراحی ACL) در فرم جمع‌آوری اطلاعات ثبت شد.

در این تحقیق برای ایجاد خستگی در آزمودنی‌ها از یک پروتکل خستگی عملکردی استفاده شد که در تحقیقات قبلی مورد استفاده قرار گرفته است (وبستر، لوک، جودی، فلر، ۲۰۱۲؛ لپلی و همکاران، ۲۰۱۳). ابتدا روش انجام کار توسط محقق برای آزمودنی شرح داده شده و سپس اندازه‌گیری‌های مبنا (قبل از خستگی) انجام شد. بعد از اندازه‌گیری‌های مبنا آزمودنی به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه برنامه گرم‌کردن را انجام داده و سپس پروتکل خستگی را با انجام ست‌های تکراری شامل ۸ بار حرکت اسکات با زاویه ۹۰ درجه فلکشن زانو، انجام دو پرش عمودی با حداکثر توان و در نهایت سه فرود تک پا از ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری بر روی دستگاه صفحه نیرو (AMTI) انجام داد. این ست‌های تکراری تا زمانی انجام شد که آزمودنی دیگر نمی‌توانست حرکت اسکات را ۵ بار متوالی با زاویه ۹۰ درجه زانو انجام دهد. محدودیتی برای تعداد حرکات اسکاتی که آزمودنی می‌توانست انجام‌دهد وجودنداشت. برای اندازه‌گیری میزان خستگی ایجاد شده در آزمودنی‌ها از مقیاس بورگ استفاده شد که یک مقیاس ذهنی از ۶ (بدون فشار ادراک شده) تا ۲۰ (حداکثر فشار ادارک شده) برای درجه‌بندی خستگی است (گوکلر، اوتین، بنیامین، پادوا، اپینگا، ۲۰۱۴). شرط خستگی آزمودنی‌ها طبق مقیاس بورگ رسیدن به عدد ۱۷ و بالاتر بود. سه فرود قبل از پروتکل خستگی و سه فرود آخر آزمودنی قبل از رسیدن به اوج خستگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شکل ۱: نحوه‌ی انجام فرود بر روی یک‌پا؛ الف. مرحله‌ی آمادگی قبل از فرود و ب. مرحله‌ی فرود

ثبت داده‌های الکترومیوگرافی و محاسبه میزان هم انقباضی

فعالیت الکتریکی عضلات چهارسرران، همسترینگ و دوقلو با استفاده از دستگاه الکترومایوگرافی Megawin (EMG) ساخت کشور فنلاند ثبت شد. داده‌های EMG به‌وسیلهٔ سیستم تحلیل حرکت (نرم‌افزار کرتکس) استخراج شده و از نرم‌افزار اکسل (نسخهٔ ۲۰۱۳) برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. سیگنال‌های EMG ابتدا به میزان ۱۰ برابر پیش تقویت شده و در محدوده گذردهی بین ۱۰ تا ۵۰۰ هرتز فیلتر گردیدند. قبل از محاسبه میزان هم انقباضی، حداکثر انقباض ایزومتریک هر ۳ عضله ثبت شد. برای محاسبه حداکثر انقباض ایزومتریک عضلات چهارسر آزمودنی نشسته و زانو را در فلکشن ۹۰ درجه قرار می‌داد. آزمونگر با اعمال حداکثر مقاومت در بالای مچ پای آزمودنی از وی می‌خواست تا حداکثر انقباض ایزومتریک عضلات را انجام دهد. برای محاسبه حداکثر انقباض ایزومتریک عضلات همسترینگ آزمودنی در وضعیت دمر قرار گرفته و زانو در فلکشن ۲۰ الی ۳۰ درجه قرار داشت، سپس آزمونگر با اعمال حداکثر مقاومت در بالای مچ پای آزمودنی از وی می‌خواست حداکثر انقباض ایزومتریک عضلات را انجام دهد. برای ثبت حداکثر انقباض ارادی عضله دوقلو نیز آزمودنی حرکت پلانتارفلکشن مچ پا را با اعمال مقاومت توسط آزمونگر انجام می‌داد. آزمون حداکثر انقباض ارادی ایزومتریک عضلات در هر آزمودنی ۳ بار و هر بار به مدت ۵ ثانیه با فاصله‌ی ۱ دقیقه استراحت بین هر تکرار انجام شد. در پژوهش حاضر میزان هم انقباضی عضلات پهن داخلی - همسترینگ داخلی، پهن خارجی - همسترینگ خارجی، پهن داخلی - دوقلو داخلی و پهن خارجی - دوقلو خارجی در حرکت افت فرود عمودی تک پا (شکل ۱) و در بازه‌ی زمانی ۲۵۰ میلی‌ثانیه پس از برخورد پا با زمین محاسبه شد. هرگاه نیروی عمودی عکس‌العمل زمین به بیش از ۱۰ نیوتن می‌رسید، آن نقطه به‌عنوان تماس اولیه پا با زمین در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری میزان هم‌انقباضی عضلات از معادله‌ی رادولف و همکاران (رادولف و همکاران، ۲۰۰۰) استفاده شد:

$$EMGL/EMGS\times(EMGL+EMGS)$$

که در آن EMGL سطح فعالیت در عضله با فعالیت کمتر و EMGS سطح فعالیت در عضله با فعالیت بیشتر است. طبق این معادله فعالیت عضلانی در ۲۵۰ میلی‌ثانیه‌ی اول بعد از فرود به ۵ بخش ۵۰ میلی‌ثانیه‌ای تقسیم می‌شود. در هر بخش ۵۰ میلی‌ثانیه‌ای عضله‌ی با فعالیت کمتر در صورت کسر و عضله‌ی با فعالیت بیشتر در مخرج کسر قرار گرفته و این عدد در مجموع فعالیت دو عضله ضرب می‌شود. سپس مجموع ۵ بخش ۵۰ میلی‌ثانیه‌ای بر ۵ تقسیم می‌شود تا میزان هم‌انقباضی نسبی در یک کوشش حرکتی به‌دست آید. برای به‌دست آوردن هم انقباضی کل مجموع ۳ کوشش بر عدد ۳ تقسیم شد. (۳ کوشش قبل از خستگی و ۳ کوشش بعد از خستگی).

تست لی تک پا برای ارزیابی اجرای عملکردی

به منظور انجام تست لی تک پا، متر نواری به طول ۲ متر روی زمین قرار گرفته و آزمودنی با قرار دادن دست‌ها بر روی کمر انگشت شست پا را پشت نقطه صفر قرار می‌داد. سپس عمل لی را با حداکثر توان خود برای رسیدن به حداکثر مسافت ممکن انجام داد. نقطه تماس پاشنه پا روی زمین مشخص شده و فاصله آن از نقطه شروع اندازه‌گیری شد. هر آزمودنی در هر اندام ۳ بار تست را قبل و ۳ بار بعد از خستگی انجام داده و متوسط ۳ تکرار ثبت شد. در این تحقیق از شاخص قرینگی اندام برای ارزیابی استفاده شد که یکی از رایج‌ترین معیارهای مورد استفاده قبل از بازگشت ورزشکار مبتلا به آسیب ACL به فعالیت‌های ورزشی است. مقدار شاخص قرینگی با تقسیم نتیجه تست در اندام مبتلا بر اندام غیرمبتلا و ضرب آن در عدد صد به‌دست می‌آید.

$$\frac{\text{میزان پرش با اندام مبتلا}}{\text{میزان پرش با اندام غیر مبتلا}} \times ۱۰۰$$

پایایی شاخص قرینگی اندام برای تست لی تک پا در افراد سالم و مبتلا به آسیب ACL به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۹۲ گزارش شده است (بولگا و کشالو، ۱۹۹۷؛ رید، استرافورد، گیفین، ۲۰۰۷).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده از روش‌های آماری توصیفی و استنباطی استفاده شد. جهت بررسی نرمال‌بودن داده‌ها نیز از آزمون شاپیروویلک استفاده شد. در پژوهش حاضر اثرات اصلی شامل خستگی (قبل و بعد از خستگی)، گروه (ACLD، ACLR و کنترل) و اثر تعاملی خستگی در گروه با استفاده از آزمون تحلیل چندمتغیری واریانس اندازه‌های مکرر بررسی شد. در ادامه برای تعیین تفاوت‌های دورن گروهی و بین گروهی به ترتیب از آزمون

تک متغیری تی وابسته و تحلیل واریانس یکطرفه و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. شاخص اندازه‌ی اثر (ES) کوهن (کوهن، ۱۹۸۸) نیز برای هریک از تفاوت‌های معنادار درون گروهی و بین گروهی محاسبه گردید. شایان ذکر است که تجزیه و تحلیل اطلاعات در سطح معناداری ۹۵ درصد و میزان آلفای کوچک‌تر یا مساوی (۰/۰۵) انجام شد. تمام تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد.

یافته ها

میانگین و انحراف استانداردمشخصات‌دموگرافیک آزمودنی‌ها در جدول شماره دو ارائه شده است.

جدول ۲: میانگین و انحراف استاندارد مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها

متغیر	گروه ACLD (۱۲نفر) (میانگین و انحراف استاندارد)	گروه ACLR (۱۲ نفر) (میانگین و انحراف استاندارد)	گروه کنترل (۱۲ نفر) (میانگین و انحراف استاندارد)	معناداری
سن (سال)	۲۴/۵±۲/۳۹	۲۳/۸۳±۵/۴۹	۲۴/۹۲±۲/۸۱	۰/۷۸
قد (سانتی‌متر)	۱۷۴/۵±۴/۶۲	۱۷۵/۲۵±۴/۷۸	۱۷۵±۵/۲۳	۰/۷۷
وزن (کیلوگرم)	۷۵/۲۵±۷/۱۳	۷۶/۴۵±۵/۹۳	۷۴/۷۵±۷/۵۰	۰/۶۵
زمان سپری شده از جراحی یا آسیب اولیه (ماه)	۲۳/۲۵±۶/۹۵	۲۳/۷۵±۶/۰۰	-	

جدول ۳: آزمون تحلیل چندمتغیری واریانس اندازه‌های مکرر برای میزان هم انقباضی عضلات

اثرات	مقدار F	معناداری	اندازه اثر
گروه	۳/۵۴	*۰/۰۰۲	۰/۳۲
خستگی	۲/۴۴	۰/۰۶۸	۰/۲۴
اثر تعاملی خستگی در گروه	۱/۳۵	۰/۲۳	۰/۱۵

همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود اثر گروه معنادار می‌باشد. بنابراین در میزان هم انقباضی عضلات بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری وجود دارد. اثر خستگی و تعامل خستگی در گروه معنادار نمی‌باشد، که نشـان می‌دهد تفاوت معنـاداری در مـیزان هم انقباضـی عضلات در گروه‌های تحقیق از قبل به بعد از خستگی وجود ندارد. در ادامه برای مشخص شدن تفاوت‌های درون گروهی و بین گروهی در میزان فعالیت عضلات از آزمون‌های تک متغیری استفاده شد.

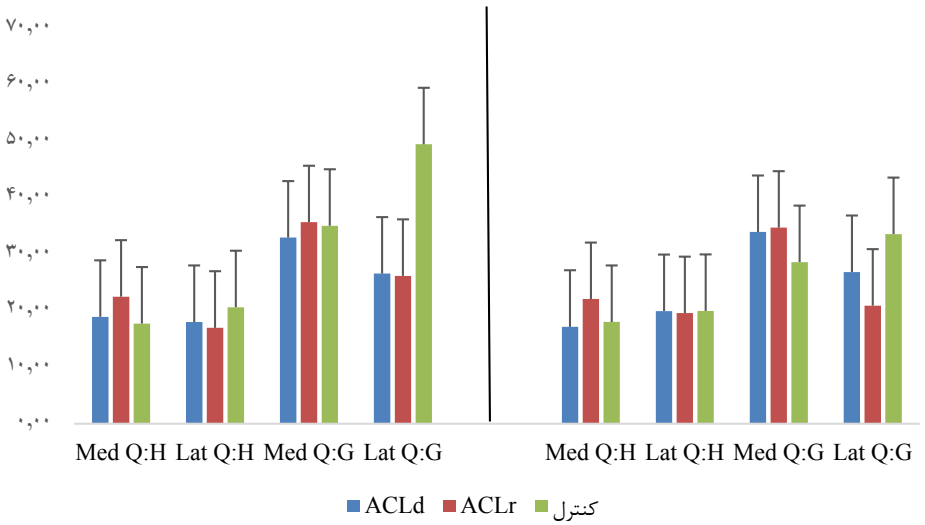
جدول ۴: مقایسه دورن گروهی میزان هم انقباضی عضلات از قبل به بعد از خستگی (MVC٪)

هم انقباضی عضلات	گروه ACLD (۱۲نفر)	گروه ACLR (۱۲ نفر)	گروه کنترل (۱۲ نفر)
پهن داخلی- همسترینگ داخلی			
قبل از خستگی	۱۸/۹۱±۸/۵۲	۲۲/۴۹±۱۲/۰۵	۱۷/۷۲±۸/۳۲
بعد از خستگی	۱۷/۱۵±۶/۷۹	۲۲/۰۷±۱۲/۲۱	۱۸/۰۲±۱۱/۷۹
مقدار P	۰/۲۶	۰/۸۵	۰/۹۲
پهن خارجی- همسترینگ خارجی			
قبل از خستگی	۱۸/۰۰±۱۰/۴۷	۱۶/۹۸±۷/۰۵	۲۰/۶۱±۱۱/۳۰
بعد از خستگی	۱۹/۹۳±۱۰/۵۷	۱۹/۵۸±۷/۲۷	۱۹/۹۷±۵/۸۵
مقدار P	۰/۵۶	۰/۱۸	۰/۸۰
پهن داخلی - دوقلو داخلی			
قبل از خستگی	۳۲/۹۴±۱۳/۹۳	۳۵/۶۶±۱۲/۸۲	۳۵/۰۳±۵/۹۹
بعد از خستگی	۳۳/۹۴±۱۳/۶۷	۳۴/۷۰±۱۳/۰۳	۲۸/۶۰±۹/۱۸
مقدار P	۰/۸۳	۰/۷۳	۰/۰۹

پهن خارجی - دوقلو خارجی			
قبل از خستگی	۲۶/۵۷±۱۰/۰۱	۲۶/۱۶±۹/۷۸	۴۹/۴۵±۱۳/۷۴
بعد از خستگی	۲۶/۸۵±۱۲/۷۵	۲۰/۹۶±۹/۴۳	۳۳/۵۵±۱۱/۹۰
مقدار P	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۰۱* [a]ES=۱/۲۴

*تفاوت معنادار از قبل به بعد از خستگی، [a] شاخص اندازه اثر

در جدول ۴ مقایسه درون گروهی متغیر میزان هم انقباضی عضلات در گروه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، تنها در میزان هم انقباضی چهارسر - دوقلو خارجی در گروه کنترل تفاوت معناداری از قبل به بعد از خستگی وجود دارد. بررسی میانگین‌ها نشان می‌دهد که میزان هم انقباضی چهارسر-دوقلو خارجی در گروه کنترل به‌طور معناداری بعد از خستگی کاهش یافته است. در گروه‌های ACLR و ACLD در هیچ‌یک از هم انقباضی ها تفاوت معناداری از قبل به بعد از خستگی وجود نداشت.



نمودار ۱. مقایسه میزان هم انقباضی عضلات در قبل و بعد از خستگی بین گروه های مورد مطالعه. Med Q:H: چهار سر-همسترینگ داخلی، Lat Q:H: چهارسر-همسترینگ خارجی، Med Q:G: چهارسر-دوقلو داخلی، Lat Q:G: چهارسر-دوقلو خارجی.

*تفاوت معنادار بین گروه ACLR و ACLD با کنترل در قبل از خستگی. † تفاوت معنادار بین گروه ACLR و کنترل در بعد از خستگی

بررسی نمودار ۱ نشان می‌دهد که در میزان هم انقباضی عضلات چهارسر- دوقلو خارجی صرف نظر از حالت خستگی بین گروه ACLR و کنترل و بین گروه ACLD و کنترل در بعد از خستگی تفاوت معنادرای وجود دارد. شاخص اندازه اثر برای تمام تفاوت‌های معنادار بالاتر از ۱ بود که اندازه اثر بزرگی است.

جدول ۵: آزمون تحلیل واریانس اندازه‌های مکرر برای تست لی تک پا

اثرات	مقدار F	معناداری	اندازه اثر
گروه	۵/۷۸	۰/۰۰۷ *	۰/۲۶
خستگی	۱۲/۱۴	۰/۰۰۱ *	۰/۲۷
اثر تعاملی گروه در خستگی	۳/۴۸	۰/۰۴۲ *	۰/۱۴

* اثر معنادار

همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود اثر گروه معنادار می‌باشد. بنابراین در اجرای تست لی تک پا بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری وجود دارد. اثر اصلی خستگی معنادار می‌باشد که نشان دهنده‌ی تفاوت معنادار

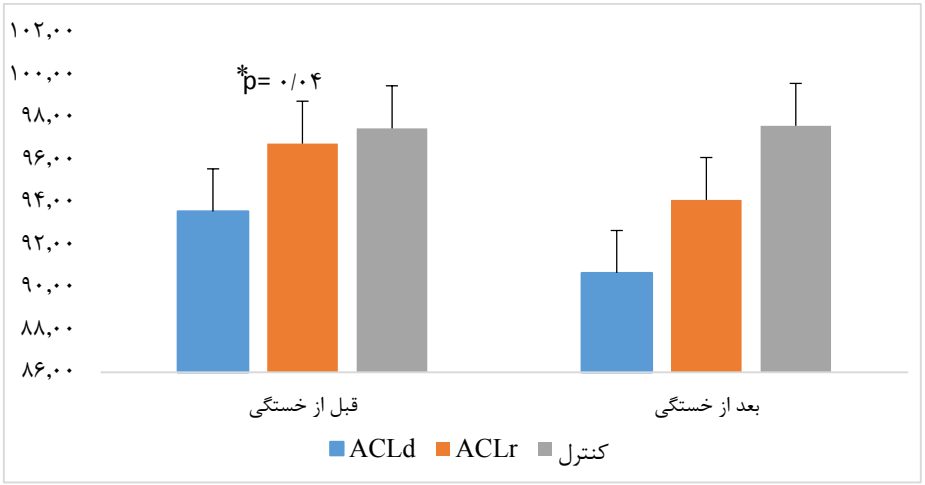
از قبل به بعد از خستگی است. اثر تعاملی خستگی در گروه نیز معنادار می‌باشد، که نشان دهنده‌ی واکنش متفاوت هر یک از گروه‌ها به خستگی است. بنابراین در ادامه برای مشخص شدن تفاوت های دورن گروهی و بین گروهی در اجرای تست لی تک پا از آزمون‌های تک متغیری استفاده می‌شود.

جدول ۶: مقایسه درون گروهی تست لی تک پا از قبل به بعد از خستگی (شاخص تقارن اندام)[1]

گروه / متغیر	گروه ACLD (۱۲نفر)	گروه ACLR (۱۲ نفر)	گروه کنترل (۱۲ نفر)
شاخص تقارن اندام در تست لی تک پا			
قبل از خستگی	۹۳/۵۸ ±۴/۴۲	۹۶/۷۷ ±۴/۷۶	۹۷/۴۹ ±۱/۴۸
بعد از خستگی	۹۰/۶۸ ±۵/۵۷	۹۴/۱۲ ±۵/۲۵	۹۷/۶۱ ±۲/۱۱
مقدار P	۰/۰۰۵ * [a]ES= ۰/۵۸	۰/۰۴ * [a]ES=۰/۵۳	۰/۸۴

*تفاوت معنادار از قبل به بعد از خستگی. [a] شاخص اندازه اثر

همان‌طور که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود شاخص تقارن اندام در تست لی تک پا در گروه‌های آسیب دیده (ACLD و ACLR) در مقایسه با گروه کنترل به‌طور معناداری بعد از خستگی کاهش یافته است.



نمودار۲: مقایسه شاخص تقارن اندام در تست لی تک پا در قبل و بعد از خستگی بین گروه‌های مورد مطالعه

*تفاوت معنادار بین گروه ACLD و کنترل

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر خستگی بر میزان هم انقباضی عضلات اطراف زانو و اجرای عملکردی در ورزشکاران با سابقه پارگی ACL بوده است. در ارتباط با میزان هم انقباضی عضلات اطراف زانو نتایج پژوهش حاضر تفاوت معناداری را در هم انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو خارجی بین گروه‌های آسیب دیده (ACLR و ACLD) و کنترل نشان داد. در میزان هم انقباضی سایر عضلات اطراف زانو تفاوت معناداری بین گروه‌ها وجود نداشت. همچنین شاخص تقارن اندام در تست لی تک پا در هر دو گروه آسیب دیده بعد از خستگی به‌طور معناداری کاهش یافت ولی در مقایسه بین گروه‌ها فقط بین گروه ACLD و کنترل تفاوت معناداری وجود داشت.

در ارتباط با هم انقباضی عضلات، میزان هم انقباضی عضلات چهارسر- دو قلو خارجی در گروه کنترل در قبل از خستگی به‌طور معناداری بیشتر از گروه ACLD بود. به نظر می‌رسد افراد ACLD به منظور کاهش نیروهای فشاری وارد بر مفصل از استراتژی کاهش هم انقباضی عضلات

۱. Limb symmetry index: رکورد فرد در پای آسیب دیده بر رکورد فرد در پای سالم تقسیم شده و حاصل آن در ۱۰۰ ضرب می‌شود.

اطراف زانو استفاده می‌کنند. این بخش از یافته‌ها با نتایج تحقیق رادولف و همکاران (۲۰۰۱)، سرجیو و همکاران (۲۰۰۴)، ترس و همکاران (۲۰۰۵) همخوانی دارد. نکته قابل ذکر این است که تحقیقات قبلی میزان هم انقباضی عضلات را در افراد ACLD حین راه رفتن بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیق رادولف و همکاران نشان داد که میزان هم انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو خارجی در افراد ACLD به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل است. هم انقباضی فلکسورها و اکستنسورهای زانو (دوقلو و چهارسرران) استراتژی رایج برای کاهش نیروهای برشی در مفصل زانو است ولی خود می‌تواند نیروهای فشاری و بارگذاری بر مفصل را افزایش دهد (رادولف و همکاران، ۲۰۰۰). در تحقیق سرجیو و همکاران (۲۰۰۴) افراد با آسیب ACL، قبل و بعد از اغتشاش بیرونی میزان هم انقباضی کمتری نسبت به افراد سالم داشتند. این محققین بیان می‌کنند که گیرنده‌های لیگامانی و مفصلی نقش مهمی در افزایش سفتی عضلانی و مفصلی ایفا می‌کنند که منجر به توانایی بیشتر مفصل برای مقاومت در برابر بارهای خارجی می‌شود. به نظر می‌رسد که ایجاد ثبات مفصل در افراد ACLD نیاز به مکانیسم پیچیده‌تری از اعمال ساده‌ی رفلکسی و پاسیو دارد که توسط لیگامان‌ها انجام می‌شود. سرجیو و همکاران معتقدند که سیستم دوک عضلانی در مکانیسم تعدیل سفتی مفصل نقش دارد. ترس و همکاران (۲۰۰۵) نیز در تحقیق خود نشان دادند که تمرینات اغتشاشی می‌تواند میزان هم انقباضی چهارسر - دوقلو را در افراد ACLD به‌طور معناداری کاهش دهد. در تحقیق آنها میزان هم انقباضی در افراد گروه ACLD قبل از تمرینات اغتشاشی بیشتر از افراد سالم بود ولی بعد از تمرین میزان هم انقباضی کاهش یافت. حذف استراتژی سفت کردن مفصل در افراد ACLD دارای اهمیت است. هم انقباضی بالا می‌تواند به ثبات مفصل کمک کند، با این وجود این استراتژی می‌تواند به مرور زمان مضر باشد. نیروهای برشی (که هنگام خالی کردن زانو رخ می‌دهد)، فشاری (همراه با هم انقباضی بیش از حد عضلانی) و کاهش جذب شوک می‌تواند با تغییرات بیومکانیکی همراه شده و به مرور زمان منجر به تخریب غضروف مفصلی شود (ترس و همکاران، ۲۰۰۵).

در ارتباط با هم انقباضی عضلات در حالت قبل از خستگی (عدم خستگی)، میزان هم انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو خارجی در گروه کنترل به‌طور معناداری بیشتر از گروه ACLR بود. در ادبیات تحقیق، تحقیقی یافت نشد که میزان هم انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو را بین افراد ACLR و سالم مقایسه کرده باشد. با این وجود نتایج تحقیق فلیمینگ و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که فعالیت همزمان عضلات چهارسر و دوقلو، استرین به مراتب بیشتری را به ACL نسبت به فعالیت مجزای هر یک از عضلات وارد می‌کند (فلمینگ، رابرت، گوران، گلن، بوروس، ۲۰۰۱). بنابراین به نظر می‌رسد کمتر بودن میزان هم انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو در گروه‌های آسیب دیده (ACLR و ACLD) نسبت به افراد سالم تلاشی در جهت کاهش استرین وارد بر ACL باشد.

در ارتباط با اجرا در تست لی تک پا اثرات اصلی خستگی، گروه و اثر تعاملی خستگی در گروه معنادار بود. شاخص تقارن اندام در تست لی تک پا در گروه‌های آسیب دیده (ACLD و ACLR) بعد از خستگی به‌طور معناداری کاهش یافت. همچنین مقایسه گروه‌ها تفاوت معناداری در شاخص تقارن اندام بین گروه ACLD و سالم نشان داد. در واقع شاخص تقارن اندام صرف نظر از حالت خستگی، در گروه ACLD به‌طور معناداری از گروه کنترل کمتر بود.

توانایی انجام فعالیت‌های ورزشی تحت شرایط خستگی (توانایی حفظ نیرو و توان عضلانی) دارای اهمیت ویژه‌ای است. آسیب‌ها اغلب در انتهای یک رویداد ورزشی زمانی‌که فرد خسته است رخ می‌دهد. با این وجود اغلب آزمون‌های عملکرد دینامیک برای اهداف ورزشی و توانبخشی در شرایط عدم خستگی انجام می‌شوند. به منظور ارزیابی بهتر مداخلات تمرینی و توانبخشی، ارزیابی عملکرد دینامیک تحت شرایط خستگی پیشنهاد شده است (جسپر و همکاران، ۲۰۰۴). آزمون‌های لی تک پا اغلب به‌عنوان پیش بین عملکرد دینامیک مفصل زانو بخصوص در افراد با آسیب ACL مورد استفاده قرار گرفته است (گریندم و همکاران، ۲۰۰۱). تحقیقات نشان داده است از بین آزمون‌های لی، تست لی تک پا معتبرترین و پایاترین تست برای ارزیابی افراد بعد از آسیب ACL است (جسپر و همکاران، ۲۰۰۴؛ گوستاوسون و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج تحقیق حاضر در این بخش با نتایج تحقیق جسپر و همکاران (۲۰۰۴)، جسپر و همکاران (۲۰۰۶)، گریندم و همکاران (۲۰۱۱) و آنا و

همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد. جسپر و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیق خود توانایی تست لی را در تعیین نقص‌های عملکردی اندام تحتانی بعد از عمل بازسازی ACL بررسی کردند. در این تحقیق ۱۹ بیمار مرد، ۱۱ ماه بعد از عمل بازسازی ACL در شرایط بدون خستگی و خستگی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این تحقیق شاخص قرینگی اندام در تست لی تک پا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. قبل از اعمال پروتکل خستگی شاخص قرینگی اندام در تمام بیماران بالای ۹۰٪ بود اما بعد از خستگی ۶۸٪ بیماران عدم قرینگی اندام (کمتر از ۹۰٪) داشتند (جسپر و همکاران، ۲۰۰۴). در تحقیق حاضر نیز شاخص تقارن اندام در گروه‌های آسیب دیده (ACLD و ACLR) بعد از خستگی به‌طور معناداری کاهش یافت. نتایج تحقیق جسپر و همکاران (۲۰۰۶) کاهش معنادار شاخص تقارن اندام را در بعد از خستگی نشان داد. محققین بیان کردند که تمرین خستگی در ترکیب با تست لی تک پا یک روش پایا برای بررسی اجرای عملکردی تحت شرایط خستگی است (جسپر و همکاران، ۲۰۰۶). در تحقیق گریندم و همکاران (۲۰۱۱) نیز شاخص تقارن اندام در افراد ACLD از افراد سالم کمتر بود (گریندم و همکاران، ۲۰۱۱). از طرف دیگر نتایج تحقیق آنا و همکاران (۲۰۱۶) تفاوت معناداری را در شاخص تقارن اندام بین زنان فوتبالیست با سابقه‌ی عمل بازسازی ACL (۱۸ ماه بعد از عمل) و زنان سالم نشان نداد (آنا و هاگلوند، ۲۰۱۷). در تحقیق حاضر، در قبل از خستگی تفاوت در شاخص قرینگی اندام بین گروه ACLD و کنترل ۴٪ و در بعد از خستگی این تفاوت به ۱۸٪ رسید که صرف نظر از حالت خستگی تفاوت‌ها معنادار بود. بین گروه ACLR و کنترل در قبل از خستگی تفاوتی وجود نداشت ولی در بعد از خستگی شاخص تقارن اندام در گروه ACLR به میزان ۴٪ کمتر از گروه کنترل بود که از لحاظ آماری معنادار نبود. اگرچه شاخص تقارن اندام در هر دو گروه آسیب دیده بعد از خستگی به‌طور معناداری کاهش یافت ولی در مقایسه بین گروه‌ها فقط بین گروه ACLD و گروه کنترل تفاوت معناداری وجود داشت. شاخص اندازه اثر برای تفاوت‌های معنادار درون گروهی حدود ۰/۵ بود که طبق مقیاس کوهن اثر متوسطی است. همچنین شاخص اندازه اثر برای تفاوت بین گروه ACLD و کنترل در بعد از خستگی ۱/۸۰ به‌دست آمد که طبق مقیاس کوهن اثر بزرگی است.

تحقیق حاضر دارای محدودیت‌هایی نیز است. استفاده از گرفت‌های مختلف (تاندون کشکک، تاندون همسترینگ و آلوگرفت) در گروه ACLR می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده تفاوت‌های بالقوه‌ی استفاده از گرفت‌های مختلف بر روی میزان فعالیت عضلات مورد بررسی قرار گیرد. آزمودنی‌های تحقیق حاضر از رشته‌های ورزشی مختلف بودند (فوتبال، بسکتبال، رزمی، والیبال) که این موضوع می‌تواند سطح توانایی افراد را در انجام حرکت افت فرود تحت تأثیر قرار دهد. تمام آزمودنی‌های تحقیق حاضر مرد بودند، بنابراین نمی‌توان نتایج تحقیق حاضر را به زنان تعمیم داد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد که در افراد آسیب دیده (ACLR و ACLD) تمایل به کاهش نیروهای فشاری و برشی قدامی درشت نئی از طریق کاهش میزان هم انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو دارای اهمیت بیشتری نسبت به افزایش سفتی مفصل باشد. همچنین شاخص اندازه اثر برای تفاوت بین گروه‌های آسیب دیده و سالم در میزان هم انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو بالاتر از ۱ به‌دست آمد که طبق مقیاس کوهن اثر بزرگی است. یافته‌های تحقیق در این بخش نشان دهنده‌ی نقش مهم هم انقباضی عضلات چهارسر - دوقلو در ایجاد ثبات مفصل زانو است، لذا توصیه می‌شود در تمرینات توانبخشی برای این گروه از ورزشکاران، این دو عضله بیشتر مدنظر قرار گیرند. همچنین به نظر می‌رسد خستگی اجرای عملکردی را در هر دو گروه آسیب دیده (ACLD و ACLR) تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما مقایسه بین گروه‌ها نشان می‌دهد که خستگی، گروه ACLD را بیشتر تحت تأثیر قرار داده و گروه ACLR عملکرد بهتری داشته است. با توجه به اینکه اجرای عملکردی ورزشکاران با سابقه آسیب ACL بعد از خستگی کاهش یافت، لذا به منظور ارزیابی جامع‌تر عملکرد اندام تحتانی بعد از آسیب ACL، پیشنهاد می‌شود که آزمون‌های عملکردی هم در شرایط عدم خستگی و هم در شرایط خستگی انجام شوند.

تشکر و قدردانی

این مقاله، برگرفته از رساله‌ی دکتری در رشته‌ی

آسیب‌شناسی ورزشی دانشگاه تهران می‌باشد که با همکاری دانشکده‌های تربیت‌بدنی و علـوم ورزشـی دانشـگاه تهران و پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی انجام گرفته است. لذا، پژوهشگران مراتب قـدردانی و تشـکر خـود را از این مراکـز اعلام می‌دارند.

References

Ardern, C. L., Webster, K. E., Taylor, N. F., & Feller, J. A. (2011). "Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play". British Journal of Sports Medicine, 45(7): 596-606.

Augustsson, J., Thomeé, R., & Karlsson, J. (2004). "Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction". Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 12(5): 350-356.

Augustsson, J., Thomee, R., Linden, C., Folkesson, M., Tranberg, R., & Karlsson, J. (2006). "Single- leg hop testing following fatiguing exercise: reliability and biomechanical analysis". Scandinavian journal of medicine & science in sports, 16(2): 111-120.

Blagojevic, M., Jinks, C., Jeffery, A., & Jordan, K. (2010). "Risk factors for onset of osteoarthritis of the knee in older adults: a systematic review and meta-analysis". Osteoarthritis and cartilage, 18(1): 24-33.

Bolgla, L. A., & Keskula, D. R. (1997). "Reliability of lower extremity functional performance tests". Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 26(3): 138-142.

Chmielewski, T. L., Hurd, W. J., Rudolph, K. S., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2005). "Perturbation training improves knee kinematics and reduces muscle co-contraction after complete unilateral anterior cruciate ligament rupture". Physical therapy, 85(8): 740-749.

Cohen, J. (1988). "*Statistical power analysis for the behavioral sciences*" 2nd edn: Erlbaum Associates, Hillsdale.

da Fonseca, S. T., Silva, P. L., Ocarino, J. M., Guimaraes, R. B., Oliveira, M. T., & Lage, C. A. (2004). "Analyses of dynamic co-contraction level in individuals with anterior cruciate ligament injury". Journal of Electromyography and Kinesiology, 14(2): 239-247.

Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., & Steadman, J. R. (2003). "Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing". Clinical biomechanics, 18(7): 662-669.

Fältström, A., Hägglund, M., & Kvist, J. (2017). "Functional performance among active female soccer players after unilateral primary anterior cruciate ligament reconstruction compared with knee-healthy controls". The American journal of sports medicine, 45(2): 377-385.

Fitzgerald, G. K., Lephart, S. M., Hwang, J. H., & Wainner, M. R. S. (2001). "Hop tests as predictors of dynamic knee stability". Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 31(10): 588-597.

Fleming, B. C., Renstrom, P. A., Ohlen, G., Johnson, R. J., Peura, G. D., Beynnon, B. D., & Badger, G. J. (2001). "The gastrocnemius muscle is an antagonist of the anterior cruciate ligament". Journal of orthopaedic research, 19(6): 1178-1184.

Gardinier, E. S. (2009). "The Relationship Between Muscular Co-Contraction and Dynamic Knee Stiffness in ACL-Deficient Non-Copers". Master's thesis, University of Delaware.

Gobbi, A., & Francisco, R. (2006). "Factors affecting return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon and hamstring graft: a prospective clinical investigation". Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 14(10): 1021-1028.

Gokeler, A., Eppinga, P., Dijkstra, P., Welling, W., Padua, D., Otten, E., & Benjaminse, A. (2014). "Effect of fatigue on landing performance assessed with the landing error scoring system (less) in patients after ACL reconstruction. A pilot study". International journal of sports physical therapy, 9(3): 302.

Grindem, H., Logerstedt, D., Eitzen, I., Moksnes, H., Axe, M. J., Snyder-Mackler, L., . . . Risberg, M. A. (2011). "Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function in nonoperatively treated individuals with anterior cruciate ligament injury". The American journal of sports medicine, 39(11): 2347-2354.

Gustavsson, A., Neeter, C., Thomeé, P., Silbernagel, K. G., Augustsson, J., Thomeé, R., & Karlsson, J. (2006). "A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction". Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 14(8): 778-788.

Hawkins, R. D., & Fuller, C. W. (1999). "A prospective epidemiological study of injuries in four English professional football clubs". British journal of sports medicine, 33(3): 196-203.

Hawkins, R. D., Hulse, M., Wilkinson, C., Hodson, A., & Gibson, M. (2001). "The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football". British journal of sports medicine, 35(1): 43-47.

Hefti, E.; Müller, W.; Jakob, R.; Stäubli, H.-U. (1993). "Evaluation of knee ligament injuries with the

IKDC form". Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc, 1: 226–234.

Lepley, L. K., Thomas, A. C., McLean, S. G., & Palmieri-Smith, R. M. (2013). "Fatigue's Lack of Effect on Thigh-Muscle Activity in Anterior Cruciate Ligament–Reconstructed Patients During a Dynamic-Landing Task". Journal of sport rehabilitation, 22(2): 83-92.

Lessi, G. C., & Serrão, F. V. (2017). "Effects of fatigue on lower limb, pelvis and trunk kinematics and lower limb muscle activity during single-leg landing after anterior cruciate ligament reconstruction". Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 25(8): 2550-2558.

Myklebust, G., Holm, I., Mæhlum, S., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2003). "Clinical, functional, and radiologic outcome in team handball players 6 to 11 years after anterior cruciate ligament injury: a follow-up study". The American journal of sports medicine, 31(6): 981.

Padua, D.A., Brent L, David H. (2006). "Fatigue, vertical leg stiffness, and stiffness control strategies in males and females". Journal of Athletic Training. 41(3): 294.989.

Price, R., Hawkins, R., Hulse, M., & Hodson, A. (2004). "The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football". British journal of sports medicine, 38(4): 466-471.

Reid, A., Birmingham, T. B., Stratford, P. W., Alcock, G. K., & Giffin, J. R. (2007). "Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction". Physical therapy, 87(3): 337-349.

Rozzi, S. L., Lephart, S. M., & Fu, F. H. (1999). "Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes". Journal of athletic training, 34(2): 106.

Rudolph, K., Axe, M., & Snyder-Mackler, L. (2000). "Dynamic stability after ACL injury: who can hop?" Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 8(5): 262-269.

Solomonow, M., Baratta, R., Zhou, B., & d'Ambrosia, R. (1988). "Electromyogram coactivation patterns of the elbow antagonist muscles during slow isokinetic movement". Experimental neurology, 100(3): 470-477.

Solomonow, M., & Krogsgaard, M. (2001). "Sensorimotor control of knee stability. A review". Scandinavian journal of medicine & science in sports, 11(2): 64-80.

Strehl, A., & Eggli, S. (2007). "The value of conservative treatment in ruptures of the anterior cruciate ligament (ACL)". Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 62(5): 1159-1162.

Webster, K. E., Santamaria, L. J., Mcclelland, J. A., & Feller, J. A. (2012). "Effect of fatigue on landing biomechanics after anterior cruciate ligament reconstruction surgery". Medicine and science in sports and exercise, 44(5): 910-916.

Wojtys, E. M., Wylie, B. B., & Huston, L. J. (1996). "The effects of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knees". The American journal of sports medicine, 24(5): 615-621.

Yu, B., & Garrett, W. E. (2007). "Mechanisms of non-contact ACL injuries". British journal of sports medicine, 41(suppl 1), i47-i51.