

Original Paper

Effect of eccentric training on knee strength and hamstring flexibility in active females with hamstring tightness: A clinical trial study

*Aisan Fard Mehregan (M.Sc), Corresponding Author, M.Sc in Corrective Exercise and Sport Injuries, School of Physical Education and Sport Sciences, University of Kharazmi, Tehran, Iran. E-mail: std_a.mehregan@khu.ac.ir ORCID 0000-0002-9216-6977

Malihe Hadadnezhad (Ph.D), Assistant Professor, Department of Biomechanics and Corrective Exercise and Sport Injuries, University of Kharazmi, Tehran, Iran. ORCID 0000-0002-5826-1524

Amir Letafatkar (Ph.D), Assistant Professor, Department of Biomechanics and Corrective Exercise and Sport Injuries, University of Kharazmi, Tehran, Iran. ORCID 0000-0002-5612-8340

Abstract

Background and Objective: Strength and flexibility are the factors affecting the athlete's performance. This study was done to determine the effect of eccentric training on knee strength and hamstring flexibility in active females with hamstring tightness.

Methods: In this clinical trial study, 24 active female athletes with hamstring tight were randomly divided into intervention and control groups. For measurement of strength, including the eccentric and concentric peak torque and the time to reach the peak torque in speeds of 60 and 180 degrees per second, isokinetic dynamometer device. For measurement of hamstring flexibility, a passive knee extension test was used six weeks before and after the eccentric training of hamstring.

Results: After six weeks of eccentric training, a significant improvement was observed in test scores of passive knee extension (PKE) test and also in the maximum torque and time to reach the maximum torque eccentric flexor knee in angular velocity of 60 degrees per second in the interventional group compared to controls ($P < 0.05$).

Conclusion: Eccentric training increases flexibility and eccentric strength of hamstring muscles in active females with hamstring tightness.

Keywords: Eccentric Training, Hamstring Muscles, Athletic Injuries

Received 1 Sep 2019

Revised 27 May 2020

Accepted 2 Jun 2020

Cite this article as: Fard Mehregan A, Hadadnezhad M, Letafatkar A. [Effect of eccentric training on knee strength and hamstring flexibility in active females with hamstring tightness: A clinical trial study]. J Gorgan Univ Med Sci. 2020 Autumn; 22(3): 19-27. [Article in Persian]

اثر تمرینات اکستنریک بر قدرت و انعطاف پذیری زنان فعال دارای کوتاهی همستریک: یک مطالعه کارآزمایی بالینی

ORCID 0000-0002-9216-6977

* آسان فردمهرگان، کارشناس ارشد آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

ORCID 0000-0002-5826-1524

دکتر ملیحه حدادزاد، استادیار، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

ORCID 0000-0002-5612-8340

دکتر امیر لطافت کار، استادیار، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: قدرت و انعطاف پذیری از عوامل تاثیر گذار بر عملکرد ورزشی محسوب می‌شوند. این مطالعه به منظور تعیین اثر تمرینات اکستنریک بر قدرت و انعطاف پذیری زنان فعال دارای کوتاهی همستریک انجام شد.

روش بررسی: این کارآزمایی بالینی روی ۲۴ زن فعال دارای کوتاهی همستریک در دو گروه ۱۲ نفری مداخله و کنترل انجام شد. برای اندازه‌گیری قدرت شامل گشتاور اکستنریک، گشتاور کانستریک و زمان رسیدن به حداکثر گشتاور در سرعت‌های ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه از دستگاه دینامومتر ایزوکینتیک و برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری همستریک از آزمون اکستنشن غیرفعال زانو قبل و بعد از ۶ هفته تمرینات اکستنریک استفاده شد.

یافته‌ها: پس از شش هفته تمرینات اکستنریک بهبود معنی‌داری در امتیازات آزمون‌های باز کردن غیرفعال زانو و نیز حداکثر گشتاور و زمان رسیدن به حداکثر گشتاور اکستنریک فلکسورهای زانو در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه بر ثانیه در گروه مداخله نسبت به گروه کنترل مشاهده شد ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: تمرینات اکستنریک سبب افزایش انعطاف‌پذیری و قدرت اکستنریک عضله همستریک زنان فعال گردید.

کلید واژه‌ها: تمرینات اکستنریک، عضله همستریک، آسیب ورزشی

* نویسنده مسؤول: آسان فردمهرگان، پست الکترونیکی std_a_mehregan@khu.ac.ir

نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت بدنی، تلفن ۰۲۱-۲۲۲۲۸۰۰۱، شماره ۲۲۲۶۹۵۴۷

وصول مقاله: ۱۳۹۸/۶/۱۰، اصلاح نهایی: ۱۳۹۹/۳/۷، پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۳/۱۳

مقدمه

آسیب‌های ورزشی بخش جدایی‌ناپذیر فعالیت‌های ورزشی محسوب می‌شوند. تلاش‌های گسترده‌ای به منظور پیشگیری و کاهش آسیب‌ها و خسارات ناشی از آنها صورت گرفته است (۱).

استرین عضله همستریک یکی از مصدومیت‌های شایع در ورزش است که هر ساله تعداد زیادی از ورزشکاران را در رشته‌های مختلف از جمله فوتبال، دو و میدانی، کشتی و ورزش‌های رزمی مبتلا می‌کند. عواملی همچون کوتاهی طول عضله، انعطاف‌پذیری کم، عدم تعادل قدرت در مقایسه با عضلات مجاور (ضعف یکی از سرهای عضله نسبت به سایرین)، گرم کردن ناکافی، خستگی، آسیب‌های قبلی همستریک یا ستون فقرات، پاسجر نامناسب، افزایش تنش عضله به‌عنوان عوامل خطر قابل کنترل شناخته شده‌اند و عواملی چون ماهیت عضله، سن، نژاد و آسیب‌های قبلی همستریک به‌عنوان عوامل خطر غیرقابل کنترل استرین همستریک معرفی شده‌اند (۲).

استرین در دقایق پایانی مسابقات و تمرینات بیشتر رخ می‌دهد.

این مسأله به دلیل خستگی عضلات و کاهش ظرفیت آنها در جذب نیروهای اعمال شده است. در دوییدن سریع و بعد از خستگی، عضلات بایسپس فموریس و سمی تندینوسوس سریع‌تر فعال می‌شوند و بیشتر در معرض آسیب از نوع استرین قرار می‌گیرند. در ورزش‌های سرعتی کمی قبل از این که پاشنه به زمین برخورد کند؛ عضلات همستریک برای کاهش شتاب ساق پا و کنترل اکستنشن زانو به صورت اکستنریک منقبض می‌شوند و فعالیت شدیدی دارند. این عضلات در مرحله ابتدایی وزن اندازی نیز برای انجام اکستنشن هیپ به صورت کانستریک فعال می‌شوند. استرین عضله همستریک در مرحله انتهایی فاز نوسان (Terminal swing) و درست قبل از تماس پاشنه با زمین اتفاق می‌افتد. یعنی در شرایطی که عضله همستریک در حداکثر طول و حداکثر فعالیت خود است (۳). عضلات اسکلتی دارای طول بهینه‌ای برای تولید تنش بیشینه هستند. استرین عضلانی وقتی اتفاق می‌افتد که عضلات فعال در حرکت بیش از طول بهینه خود طولی شوند. عضلات همستریک به‌طور فعالی حین فلکشن مفصل ران و اکستنشن مفصل زانو طولی

می‌کند. همچنین اظهار شده است که تمرینات اکستنریک موجب متعادل کردن میزان گلیکوز آمینوگلیکان‌ها می‌شوند که در ضایعات تاندونی افزایش می‌یابد و سبب نرمال نمودن مجدد راستای فیبرهای کلاژن و تحریک نحوه شکل‌گیری اتصالات بین این فیبرها می‌شود. راستای فیبرهای کلاژن و نحوه قرارگیری اتصالات بین آنها عوامل مهمی در میزان قدرت تاندون در تحمل نیروهای کششی است. این یافته‌ها با انجام آزمایشات در حیوانات مورد تایید قرار گرفته است. برخی از محققین نیز اعتقاد دارند در زمان انجام انقباضات از نوع اکستنریک جریان خون منطقه آسیب دیده قطع می‌شود و همین مسأله موجب شکل‌گیری مجدد عروق خونی می‌شود که خود عاملی برای بهبود جریان گردش خون و ترمیم بهتر است (۹).

هرچند در سال‌های اخیر اثر تمرینات مختلف روی عوامل خطر ساز و همچنین عوامل پیشگیرانه از آسیب عضله همسترینگ مورد توجه و تمرکز محققین بوده است؛ با این حال در مورد تاثیر تمرینات اکستنریک بر عواملی مانند قدرت و انعطاف پذیری همسترینگ مطالعات محدود است. لذا این مطالعه به منظور تعیین اثر تمرینات اکستنریک بر قدرت و انعطاف پذیری زنان فعال دارای کوتاهی همسترینگ انجام شد.

روش بررسی

این کار آزمایی بالینی روی ۲۴ زن فعال دارای کوتاهی همسترینگ به صورت پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل در دانشکده تربیت بدنی دانشگاه خوارزمی طی سال ۱۳۹۷ انجام شد. مطالعه مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه تربیت مدرس (IR.MODARES.REC.1397.042) و مرکز ثبت کار آزمایی‌های بالینی ایران (IRCT20190611043865N1) قرار گرفت.

تعداد ۲۴ زن فعال دارای کوتاهی همسترینگ (با محدودیت بیش از ۱۵ درجه اکستنشن زانو در آزمون باز کردن غیرفعال زانو) در این مطالعه شرکت نمودند. آزمودنی‌ها به صورت هدفمند و در دسترس و با توجه به معیارهای ورود به تحقیق انتخاب شدند و به

می‌شوند که این اعمال در حین فاز نوسان دوییدن به صورت همزمان اتفاق می‌افتد (۴).

ضعف قدرت و کوتاهی عضلات یکی از مشکلات عمده در سیستم عضلانی - استخوانی است. کاهش انعطاف‌پذیری در واحدهای عضلانی - تاندونی علاوه بر این که می‌تواند یکی از عوامل مساعد کننده در ایجاد ضایعات بافت نرم باشد؛ می‌تواند عامل موثری برای طولانی‌تر شدن دوره بهبودی در ورزشکاران نیز محسوب شود. علاوه بر این قدرت عضله در نتیجه کوتاه شدن واحد عضلانی - تاندونی با گذشت زمان دچار تغییر می‌شود. به طوری که عضلات کوتاه شده بر اساس رابطه طول - تنش قادر به تولید حداکثر نیروی خود نیستند. بافت‌هایی که انعطاف‌پذیری کافی نداشته باشند؛ با محدود کردن حرکات مفاصل، فعالیت‌های روزمره و یا ورزشی را مختل می‌کنند. در اندام تحتانی عضله همسترینگ به صورت اولیه یا ثانویه اغلب سفت و کوتاه می‌شود و انعطاف خود را از دست می‌دهد. در ورزشکاران کوتاهی عضله همسترینگ یک علت شایع برای استرین این عضله است (۵).

اغلب پس از استرین همسترینگ، بافت عضلانی قادر به ترمیم کامل نیست و تا مدت‌ها به شرایط قبل از آسیب دیدگی بر نمی‌گردد. به طوری که بافت اسکار باقیمانده، تا ماه‌ها بعد از استرین و حتی پس از بازگشت به ورزش باقی می‌ماند. آسیب همسترینگ برگشت پذیری بالایی دارد که از ۱۷ تا ۲۵ درصد احتمال وقوع مجدد آسیب در نوسان است و اغلب شدیدتر از آسیب اولیه است (۶). برای پیشگیری از آسیب مجدد، افزایش قدرت اکستنریک عضله‌ای که دچار استرین شده؛ اهمیت فراوانی دارد. زیرا اکثر عضلات به خصوص همسترینگ در این نوع انقباض دچار آسیب می‌شوند. در بسیاری از مطالعات بر انجام تمرینات از نوع اکستنریک در ضایعات تاندونی تاکید شده است (۸و۷). این مطالعات نشان داده‌اند که این نوع انقباضات با تحریک گیرنده‌های مکانیکی تاندون موجب تحریک فیبروبلاست‌ها برای ساختن فیبرهای کلاژن می‌شوند و همین مسأله است که این نوع انقباضات را از دیگر انقباضات متمایز

جدول ۱: زمانبندی تمرینات اکستنریک

تمرینات اکستنریک	هفته ۱ ست×تکرار	هفته ۲ ست×تکرار	هفته ۳ ست×تکرار	هفته ۴ ست×تکرار	هفته ۵ ست×تکرار	هفته ۶ ست×تکرار	زمان استراحت (ثانیه)
اسکوات	۱۲×۳	۱۴×۳	*	*	*	*	۴۵
پل پا پاشنه، رو به جلو	۸×۳	۱۰×۳	*	*	*	*	۴۵
کشش حوله	۱۰×۴	۸×۴	*	*	*	*	۴۵
کشش اکستنریک تک پا	۱۰×۳	۱۲×۳	*	*	*	*	۴۵
اسکوات با هالتر	*	*	۱۰×۳	۱۰×۳	۱۴×۳	۱۶×۳	۴۵
پل پا سوئیس بال	*	*	۸×۴	۱۰×۳	*	*	۴۵
فرود اکستنریک از جعبه	*	*	۸×۳	۱۰×۳	*	*	۴۵
نوردیک با تراباند	*	*	۸×۳	۵×۳	*	*	۴۵
پل تک پا رو به جلو با سوئیس بال	*	*	*	*	۸×۳	۱۰×۳	۴۵
فرود لانگز از جعبه	*	*	*	*	۸×۳	۱۰×۳	۴۵
نوردیک	*	*	*	*	۸×۳	۵×۳	۴۵

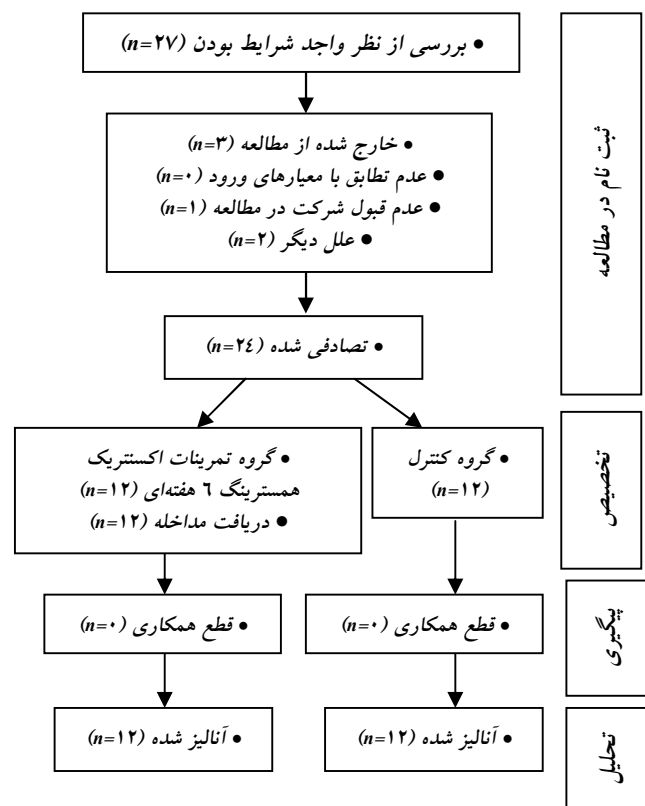
رسیدن به حداکثر گشتاور در سرعت‌های ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه در پای برتر به وسیله دینامومتر ایزو کنتیک اندازه‌گیری شد. در گروه تمرین، از تمرینات اکستنریک به مدت شش هفته و هر هفته سه بار استفاده شد. در گروه کنترل هیچ مداخله‌ای صورت نگرفت. پس از شش هفته پس از آزمون در شرایط پیش از آزمون انجام شد.

آزمون اکستنشن غیر فعال زانو: برای ارزیابی طول همسترینگ از آزمون اکستنشن غیرفعال زانو به دلیل تعیین حداکثر طول عضله و کمترین تاثیر حرکت لگن و دقت بیشتر در تشخیص کوتاهی همسترینگ استفاده شد. در این روش از آزمودنی خواسته شد به صورت طاقباز دراز بکشد. سپس مفصل ران و زانوی عضو غالب با استفاده از گونیامتر در وضعیت ۹۰ درجه فلکشن قرار داده شد. ران در حالت خنثی (صفر درجه چرخش، دور شدن نزدیک شدن)، ساق پای فرد با یک دست و ران او با دست دیگر نگه داشته شد تا هنگام احساس اولین محدودیت یا وضعیت جبرانی، زانو به‌طور غیرفعال باز شد. نخستین وضعیت‌های جبرانی، تیلت خلفی لگن یا باز شدن ران در نظر گرفته شد. در این حالت زاویه بین ران و ساق (زاویه پوپلیتال) به وسیله گونیامتر اندازه‌گیری و مقدار آن ثبت گردید. اندام تحتانی مقابل در تمام مراحل اندازه‌گیری صاف روی تخت قرار داشت. برای تشخیص کوتاهی، آزمون در صورتی مثبت بود که در زمان به اکستنشن بردن زانو قبل از این که زانو به ۱۵ درجه انتهایی اکستنشن برسد؛ فرد احساس کشیدگی شدید در پشت ران و زانو احساس نمود (۱۱).

ارزیابی قدرت به وسیله دستگاه دینامومتر ایزو کنتیک: ابزار اندازه‌گیری قدرت، دستگاه دینامومتر ایزو کنتیک (بایودکس) سیستم ۳ ساخت کشور آمریکا بود. بر اساس مطالعه Aagaard و همکاران (۱۲) و همچنین دفترچه راهنمای دستگاه، آزمون‌ها مرحله به مرحله و با دقت انجام شد. در ابتدا کل آزمودنی‌ها در جلسه‌ای مجزا با شیوه اندازه‌گیری عوامل مورد تحقیق آشنا شدند. در جلسه دوم آزمودنی‌ها در ساعت مقرر در آزمایشگاه حاضر شدند و پس از گرم کردن استاندارد (با دو چرخه کارسنج) به مدت پنج تا هفت دقیقه، همین‌طور تمرینات کششی در هر دو اندام تحتانی به مدت چهار تا پنج ثانیه اندازه‌گیری‌ها انجام شد. سپس قدرت (کانستریک و اکستریک) در دامنه حرکتی فلکسور و اکستنسور زانو در هر دو اندام تحتانی (پای برتر و غیر برتر) با استفاده از دستگاه دینامومتر ایزو کنتیک در سرعت‌های زاویه‌ای ۶۰ تا ۱۸۰ درجه بر ثانیه، (قدرت کانستریک) و در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه بر ثانیه (قدرت اکستریک) در زمان فعالیت اکستنشن و فلکشن بیشینه زانو اندازه‌گیری شد. بعد از هر سرعت زاویه‌ای در یک یا یک استراحت سه دقیقه‌ای و سپس پای دیگر شروع شد. در ضمن آزمودنی حرکت فلکشن و اکستنشن زانو را با حداکثر قدرت انجام داد و

صورت تصادفی در دو گروه تقسیم بندی شدند. مدل تصادفی‌سازی ساده استفاده شد. مشخصه‌ای به عنوان کد به هریک از آزمودنی اختصاص داده شد و از یک فرد بدون این که اطلاعی از مطالعه داشته باشد؛ خواسته شد تا به صورت تصادفی این ۲۴ کد را در دو گوی قرار دهد.

معیارهای ورود به مطالعه شامل دانشجوی زن فعال با دامنه سنی ۱۸-۲۵ سال، دارای کوتاهی عضلات همسترینگ و شاخص توده بدنی طبیعی (دامنه ۲۵-۲۰ کیلوگرم بر مترمربع) بودند. معیارهای خروج از مطالعه شامل افزایش یا به وجود آمدن دردهای عضلانی - اسکلتی حین آزمون و تمرین، غیبت دو جلسه متوالی و سه جلسه غیرمتوالی در تمرینات و عدم تمایل به ادامه مشارکت در تحقیق بود. از آزمودنی‌ها رضایت‌نامه آگاهانه شرکت در مطالعه اخذ شد. انتخاب آزمودنی‌ها براساس مطالعه Prajapati و همکاران (سال ۲۰۱۰) (با میزان اندازه اثر متوسط، بین ۰/۲ تا ۰/۵) مشخص شد. برای تعیین حداقل تعداد نمونه، از نرم‌افزار G*POWER (ANOVA: Repeated Measures, Within - Between Interaction) با توان آزمون ۰/۸، اندازه اثر ۰/۲۵ و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده گردید که حداقل ۲۴ نفر (دو گروه ۱۲ نفری) برای انجام این مطالعه تعیین شد (۱۰) (شکل یک).



شکل ۱: نمودار کارآزمایی بالینی

در پیش‌آزمون کوتاهی همسترینگ به وسیله آزمون اکستنشن غیرفعال زانو و قدرت (گشتاور اکستریک و کانستریک و زمان

جدول ۲: میانگین و انحراف استاندارد اطلاعات فردی آزمودنی‌ها

متغیرها	گروه تمرینی (۱۲ نفر)	گروه کنترل (۱۲ نفر)	p-value
سن (سال)	۲۱/۷۵±۱/۷۶	۲۱/۰۰±۱/۳۴	۰/۷
قد (متر)	۱/۶۳±۰/۲۴	۱/۶۵±۰/۵۱	۰/۲۷
جرم (کیلوگرم)	۵۸/۵۸±۴/۳۹	۶۰/۷۵±۴/۲۶	۰/۲۳
طول اندام تحتانی (سانتی متر)	۸۶/۰۸±۲/۵۳	۸۵/۱۶±۱۱/۵۸	۰/۷۹
نمایه توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۱/۰۸۵±۱/۶۵	۲۲/۱۵±۱/۲۵	۰/۶۱
سابقه فعالیت (سال)	۶/۲۵±۱/۵۴	۵/۲۵±۱/۰۰	۰/۰۹
آزمون PKE (درجه)	۱۵۸/۰۰±۳/۸۴	۱۵۶/۸۳±۲/۰۸	۰/۳۲

تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. در صورت برقراری فرض کرویت (آزمون ماخلی)؛ از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای مقایسه درون گروهی و بین گروهی در سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها

میانگین و انحراف استاندارد مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج مرتبط با آمار توصیفی آزمون‌ها در جدول ۳ آمده است. در گروه مداخله در متغیرهای قدرت به‌جز عوامل حداکثر گشتاور فلکسوری $ecc/con60$ ، مدت زمان رسیدن به حداکثر گشتاور فلکسوری $ecc/con60$ و متغیر انعطاف‌پذیری (PKE) در بقیه عوامل تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. همچنین در گروه کنترل در تمامی عوامل مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری پس از شش هفته یافت نشد. میزان تاثیر در گروه تمرینی بیشتر از گروه کنترل به ترتیب در حداکثر گشتاور فلکسوری $ecc/con60$ ، مدت زمان رسیدن به گشتاور فلکسوری $ecc/con60$ و نیز عامل انعطاف‌پذیری بودند. تغییرات آماری معنی‌دار در گروه کنترل مشاهده نشد و بین پس آزمون دو گروه تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0/05$) (جدول ۴).

بحث

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، شش هفته تمرینات اکستنریک همسترینگ اثر معنی‌داری بر عوامل حداکثر گشتاور و زمان رسیدن به حداکثر گشتاور در فلکسورهای زانو و انعطاف‌پذیری همسترینگ داشت.

نتایج مرتبط با تاثیر تمرینات اکستنریک بر قدرت اکستنریک با نتایج مطالعاتی (۱۷-۱۴) همخوان است و با نتایج تحقیق در زمینه تاثیر تمرینات اکستنریک بر قدرت کانستنریک با نتایج مطالعه Delahun و همکاران (۱۸) و مطالعه Iga و همکاران (۱۹) ناهمخوان است.

اثربخشی تمرینات اکستنریک بر افزایش قدرت و توده عضلانی، شناخته شده است. همان‌طور که در تحقیقات مرتبط با فلکسورهای زانو نیز گزارش شده است؛ تمرینات اکستنریک فواید بیشتری

برای اعمال حداکثر قدرت از سوی آزمودنی از تشویق کلامی استفاده شد. همچنین اندازه‌گیری‌ها در پای برتر صورت گرفت.

عوامل مورد بررسی شامل حداکثر گشتاور برای یک ست شامل ۵ تکرار آزمون ایزو کینتیک برای هر طرف بدن و نیز زمان رسیدن به حداکثر گشتاور برای هر طرف اندام تحتانی (R+L) بودند (۱۳ و ۱۲).

پروتکل تمرینی: از پروتکل تمرینی تعدیل شده Brughelli و

همکاران استفاده شد (۳) که به مدت شش هفته (۱۸ جلسه) بر روی آزمودنی‌ها اجرا گردید. این تمرینات با استفاده از دمبل، وزنه، توپ، هالتر و سوئیس بال اجرا شد. تمرینات در هر جلسه تمرینی تقریباً به طول ۳۰ دقیقه انجام شد. البته ابتدای هر جلسه گرم کردن پنج تا شش دقیقه و در پایان جلسه تمرینی سرد کردن تا پنج دقیقه لحاظ شد تا شرکت‌کننده‌ها تمرینات را به‌صورت کامل و صحیح انجام دهند. تمام تمرینات در هر فاز به‌طور پیش‌رونده تکنیک‌های تمرینی افزایش یافت. در ابتدای هر مرحله تمرینات به شکل ساده‌تر و با حجم کمتر و البته با هر دو پا انجام شد. مرحله به مرحله تمرینات دشوارتر شد. تمرینات مورد نظر ابتدا با حجم کمتر و به ترتیب در مراحل بعدی با پیشرفت و بهبود عملکرد ورزشکار تمرینات دشوارتر شد. برای اجرای مناسب تمرینات و به‌دست آمدن نتایج رضایت‌بخش از تشویقات و راهنمایی‌های کلامی برای تمام آزمودنی‌ها به‌طور یکسان استفاده شد. در ابتدای هر جلسه تمرینات اکستنریک مواردی همچون فلکشن ران و زانو و قرار دادن وزن به‌طور مناسب بر روی انگشتان پا مورد بررسی قرار گرفت و وضعیت بدنی که هر شرکت‌کننده در حین مراحل تمرینی به خود می‌گرفت توسط آزمون‌گر اصلاح شد (۳) (جدول یک)

تمرینات اکستنریک شامل اسکوات، پل با پاشنه رو به جلو، کشش حوله، کشش اکستنریک تک پا، اسکوات با هالتر، اسکوات با هالتر، پل با سوئیس بال، فرود اکستنریک از جعبه، نوردیک با تراباند، پل تک پا رو به جلو با سوئیس بال، فرود لانگز از جعبه، نوردیک بودند.

تحلیل‌های آماری: داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-26 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آزمون شاپیرو-ویلک برای

جدول ۳: آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر در دو گروه تمرینی و کنترل در مقایسه درون گروهی

متغیرها	مقدار کروییت	گروه کنترل		گروه مداخله		p-value	متغیرها
		پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون		
آزمون PKE (درجه)	۰/۲۹	۱۵۸/۰۰±۳/۸۴	۱۵۷/۰۰±۲/۹۳	۱۵۶/۸۳±۲/۰۸	۱۶۴/۱۶±۲/۵۵	۰/۰۰۱ *	
حداکثر گشتاور فلکسوری	۰/۱۱	۵۲/۷۲±۴/۲۲	۵۱/۸۱±۴/۹۵	۵۱/۰۵±۵/۳۲	۵۳/۹۹±۶/۰۴	۰/۰۶	con/con ۱۸۰ (نیوتن متر)
	۰/۸۲	۵۴/۷۷±۷/۰۹	۵۵/۹۰±۷/۴۶	۵۳/۷۵±۵/۵۰	۵۶/۶۹±۶/۷۷	۰/۰۶	con/con ۶۰ (نیوتن متر)
	۰/۳۱	۵۹/۳۰±۳/۷۱	۵۸/۶۱±۴/۷۴	۶۱/۴۰±۵/۲۶	۷۶/۴۶±۶/۵۱	۰/۰۰۱ *	ecc/con ۶۰ (نیوتن متر)
حداکثر گشتاور اکستنسوری	۰/۸۲	۷۵/۸±۷۴/۹۱	۷۴/۷۴±۹/۱۲	۷۷/۹۹±۸/۴۳	۸۰/۷۳±۵/۴۲	۰/۲۴	con/con ۱۸۰ (نیوتن متر)
	۰/۴۹	۱۲۵/۴۴±۲۴/۴۷	۱۱۸/۲۸±۲۲/۵۸	۱۳۲/۶۴±۲۲/۵۴	۱۳۶/۶۲±۲۲/۴۵	۰/۰۶	con/con ۶۰ (نیوتن متر)
	۰/۴۲	۱۴۱/۱۳±۱۲/۳۶	۱۳۹/۰۰±۱۲/۲۴	۱۳۶/۳۰±۱۲/۳۱	۱۴۰/۴۴±۱۳/۶۰	۰/۰۶	ecc/con ۶۰ (نیوتن متر)
مدت زمان رسیدن به گشتاور فلکسوری	۰/۲۱	۳۲۸/۰۰±۲۶/۶۷	۳۲۸/۹۰±۳۷/۰۷	۳۳۲/۸۹±۲۱/۹۸	۳۲۵/۳۶±۲۷/۱۱	۰/۰۹	con/con ۱۸۰ (نیوتن متر)
	۰/۹۷	۴۴۷/۲۲±۶۹/۳۳	۴۲۳/۸۲±۷۲/۹۱	۴۴۸/۲۷±۷۹/۱۵	۴۲۲/۳۵±۸۱/۹۸	۰/۰۸	con/con ۶۰ (نیوتن متر)
	۰/۲۹	۵۶۴/۹۷±۷۴/۲۵	۵۶۰/۲۵±۸۱/۸۵	۵۵۵/۹۰±۸۵/۲۱	۴۷۴/۲۰±۸۱/۸۷	۰/۰۰۱ *	ecc/con ۶۰ (نیوتن متر)
مدت زمان رسیدن به گشتاور اکستنسوری	۰/۱۶	۳۳۶/۵۰±۸۰/۴۳	۳۵۴/۵۱±۷۵/۲۹	۳۴۷/۳۰±۶۲/۰۱	۳۲۳/۹۴±۶۸/۹۳	۰/۰۶	con/con ۱۸۰ (نیوتن متر)
	۰/۲۶	۴۰۲/۰۸±۴۵/۹۹	۳۹۹/۹۳±۵۹/۴۷	۴۰۰/۴۹±۵۹/۶۸	۳۸۴/۵۹±۶۵/۲۰	۰/۰۷	con/con ۶۰ (نیوتن متر)
	۰/۱۵	۶۱۹/۵۴±۶۰/۱۴	۶۱۳/۲۷±۷۵/۷۶	۶۲۲/۱۹±۷۱/۲۲	۵۸۸/۰۶±۸۱/۷۵	۰/۰۶	ecc/con ۶۰ (نیوتن متر)

* وجود تفاوت آماری معنی‌دار درون گروهی

جدول ۴: میانگین و انحراف استاندارد و آزمون آنالیز واریانس مربوط به قدرت و انعطاف پذیری آزمودنی‌ها در پیش آزمون و پس آزمون (مقایسه بین گروهی)

متغیرها	میانگین و انحراف استاندارد زمان گروه کنترل		میانگین و انحراف استاندارد زمان گروه مداخله		F	p-value	متغیرها
	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون			
حداکثر گشتاور فلکسوری (نیوتن متر)	۵۹/۳۰±۳/۷۱	۵۸/۶۱±۴/۷۴	۶۱/۴۰±۵/۲۶	۷۶/۴۶±۶/۵۱	۵۸/۸۲	۰/۲۷	۰/۰۰۱ *
مدت زمان رسیدن به حداکثر گشتاور فلکسوری (درجه بر ثانیه)	۵۶۴/۹۷±۷۴/۲۵	۵۶۰/۲۵±۸۱/۸۵	۵۵۵/۹۰±۸۵/۲۱	۴۷۴/۲۰±۸۱/۸۷	۶/۶۲	۰/۷۸	۰/۰۱ *
انعطاف پذیری (PKE) (سانتی متر)	۱۵۸/۰۰±۳/۸۴	۱۵۷/۰۰±۲/۹۳	۱۵۶/۸۳±۲/۰۸	۱۶۴/۱۶±۲/۵۵	۴۰/۹۲	۰/۳۲	۰/۰۰۱ *

* وجود تفاوت آماری معنی‌دار بین گروهی

نسبت به تمرینات کانستریک دارند. در همین راستا آبدل و همکاران تاثیر تمرینات کانستریک بر حداکثر گشتاور اکستریکی و کانستریکی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق افزایش معنی‌داری را در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه اکستریکی فلکسورهای زانو نشان داد. در صورتی که تغییر معنی‌داری در سرعت زاویه‌ای ۱۲۰ درجه اکستریک و هیچکدام از سرعت‌های زاویه‌ای حداکثر گشتاوری کانستریکی مشاهده نشد (۱۴).

Guex و همکاران افزایش معنی‌داری را در قدرت اکستریک به میزان ۲۰ تا ۲۲ درصد و افزایش قدرت کانستریک به میزان ۱۶ درصد را پس از تمرینات اکستریک در دوندگان گزارش کردند (۱۷). این افزایش قدرت اکستریک با تحقیقاتی که افزایش ۹ تا ۳۸ درصد قدرت اکستریک فلکسورهای زانو را پس از ۴ تا ۱۰ هفته از تمرینات اکستریک گزارش کردند؛ هم‌راستا بود (۱۹ و ۲۰). همچنین Guex و همکاران بیان کردند افزایش قدرت اکستریک

نسبت به تمرینات کانستریک دارند. در همین راستا آبدل و همکاران تاثیر تمرینات کانستریک بر حداکثر گشتاور اکستریکی و کانستریکی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق افزایش معنی‌داری را در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه اکستریکی فلکسورهای زانو نشان داد. در صورتی که تغییر معنی‌داری در سرعت زاویه‌ای ۱۲۰ درجه اکستریک و هیچکدام از سرعت‌های زاویه‌ای حداکثر گشتاوری کانستریکی مشاهده نشد (۱۴).

همسترینگ برای به حداقل رساندن ریسک آسیب احتمالی این عضله بسیار مهم است (۱۷). زیرا همان طور که قبلاً گفته شد اغلب آسیب‌های عضلات همسترینگ در حین انقباض اکستنریک فلکسورهای زانو در چرخه دویدن رخ می‌دهد. به علاوه Roig و همکاران اثر بیشتر تمرینات اکستنریک نسبت به تمرینات کانستریک را در افزایش توده عضلانی و سطح مقطع عضله همسترینگ گزارش کرده‌اند (۲۱).

افزایش گشتاور اکستنریکی عضلات همسترینگ پس از تمرینات اکستنریک می‌تواند به دو عامل اصلی عصبی (افزایش فعال‌سازی عضلات آگونیست و یا سینرژست در گیر در فعالیت عضلانی، بهبود هماهنگی، و کاهش هم انقباضی عضلات آنتاگونیست) و هایپرتروفی در اندازه فیبرهای عضلانی و افزایش حجم کلی عضله مرتبط باشد. لازم به ذکر است عوامل عصبی در مدت سه هفته (تأثیر کوتاه مدت) بر قدرت عضلات تأثیر می‌گذارد و از سوی دیگر هایپرتروفی عضلات بعد از سه هفته (تأثیر طولانی مدت) حاصل می‌شود. لذا احتمالاً در مطالعه حاضر هر دو مکانیسم افزایش قدرت موثر بودند. زیرا تمرینات اکستنریک به مدت شش هفته به طول انجامید. در مقایسه با انقباضات دیگر تمرینات اکستنریک محرکی قوی برای افزایش قدرت و هایپرتروفی عضلانی از طریق فعال‌سازی عصبی بیشتر در مقایسه با انقباض کانستریک و ایزومتریک فراهم می‌کند (۲۲). در انقباضات اکستنریک در مقایسه با انقباضات کانستریک، علی‌رغم این که فیبرهای کمتری از عضله در انقباض مشارکت می‌کنند؛ نیروی بیشتری تولید می‌شود. اگر در انقباضات اکستنریک یک عضله با شدت زیاد منقبض شود و از تمام فیبرهای استفاده‌کننده احتمال صدمه در فیبرهای عضلانی و بافت‌های پوششی آن افزایش پیدا می‌کند (۱۳). تولید نیروی بیشتر در انقباضات اکستنریک در مقایسه با انقباضات کانستریک علی‌رغم استفاده کمتر از فیبرهای عضلانی به دلیل استفاده از اجزای الاستیک و تولید نیرو یا تنش پاسیو توسط این اجزا نیز هست. با این توضیحات در تجویز تمرینات مقاومتی از نوع اکستنریک باید دقت بیشتری داشت. با این وجود انجام انقباضات اکستنریک در اندام تحتانی برای بهبود فعالیت‌های عملکردی کاربردی‌تر از سایر انقباضات است. لذا بایستی در متغیرهای تولیدکننده نیروی کامپرشن تغییراتی اعمال نمود تا فواید این نوع تمرینات بیشتر گردد (۱۳).

در توجیه تأثیر تمرینات مقاومتی اکستنریک بر قدرت اکستنریک فلکسورهای زانو و عدم تأثیر معنی‌دار بر قدرت کانستریک در مطالعه حاضر می‌توان این گونه بیان کرد که افزایش قدرت عضلات همستگی بالایی با سبک تمرینات دارد. بیشترین افزایش قدرت کانستریک بعد از تمرینات کانستریک و بیشترین

قدرت اکستنریک بعد از تمرینات اکستنریک به دست می‌آید. همچنین در ارتباط با افزایش انعطاف‌پذیری عضله همسترینگ پس از تمرینات اکستنریک، بهبود انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر آسیب در عضلات تمرین کرده همسترینگ گزارش شده است. این اثر ممکن است در اثر افزایش تعداد سارکومرها ایجاد شود. تأثیر مثبت تمرینات قدرتی اکستنریک همسترینگ شامل نوردیک، لگ کرل ماشین و تمرین اکستنشن هیپ بر تغییر در شکل کلاژن‌های اندومیزیوم فیبرهای عضلانی در محل اتصال عضلانی - تاندونی عضله همسترینگ گزارش شده است و احتمالاً این سازگاری‌ها از عضلات همسترینگ در برابر آسیب استرین محافظت می‌کند (۲۳). نتایج مرتبط با تأثیر تمرینات اکستنریک بر بهبود انعطاف‌پذیری با نتایج تحقیق Guex و همکاران (۱۷)، Timmins و همکاران (۲۴)، Lovell و همکاران (۲۵) و مطالعه آبدل و همکاران (۱۴) همخوان است. نتایج این تحقیقات به افزایش انعطاف‌پذیری و طول فاسیکل‌های عضلات همسترینگ متعاقب تمرینات همسترینگ اشاره دارند. اما نتایج تحقیق Ribeiro-Alvarez و همکاران (۱۵) و Seymore و همکاران (۲۶) با نتایج تحقیق حاضر ناهمخوان است. به طوری که در آن تحقیقات بهبود معنی‌داری در انعطاف‌پذیری عضلات همسترینگ و طول فاسیکل‌ها پس از تمرینات اکستنریک مشاهده نشد که از جمله دلایل این ناهمخوانی در تحقیق Seymore و همکاران می‌توان به نوع پروتکل (تنها تمرین نوردیک) اشاره کرد. این محققین عنوان کردند احتمالاً دلیل افزایش طول فاسیکل‌ها و افزایش دامنه حرکتی در مطالعات دیگر به دنبال تمرینات اکستنریک در حداکثر دامنه حرکتی است (۲۶).

همچنین از دلایل ناهمخوانی در مطالعه Ribeiro-Alvarez و همکاران (۱۵) می‌توان به استفاده از آزمون متفاوت برای ارزیابی طول همسترینگ اشاره کرد. در این تحقیق از آزمون Sit & Reach برای اندازه‌گیری طول همسترینگ استفاده شده است. از آنجایی که احتمالاً در این آزمون غیر از همسترینگ عضلات بیشتری درگیر هستند؛ طول واقعی عضلات همسترینگ را مشخص نمی‌کند و نمی‌تواند نشان‌دهنده تأثیر تمرینات اکستنریک در نتایج باشد. با توجه به نتایج کسب شده، این محققین بیان کردند که اگر هدف از برنامه تمرینی بهبود انعطاف‌پذیری همسترینگ باشد؛ بهتر است در کنار تمرینات قدرتی اکستنریک از تمرینات کششی نیز استفاده شود (۱۵).

در نتایج مطالعه آبدل و همکاران بیان شد که به نظر می‌رسد بیشتر آسیب‌های عضلات همسترینگ در نتیجه ضعف این عضله در حالت طویل شدن رخ می‌دهد (۱۴). در تحقیق Guex و همکاران دامنه اکستنشن زانو پس از ۶ هفته مداخله تمرینی اکستنریک به میزان ۴ درجه افزایش یافت (۱۷). در همین راستا Morton و

کلاژن‌ها در محل اتصال عضلانی - تاندونی باعث افزایش ظرفیت تحمل در سطوح بالای منحنی استرس استرین می‌گردد (۲۳).

نتیجه‌گیری

با وجود نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر و بررسی نتایج تحقیقات پیشین به نظر می‌رسد که تمرینات مذکور موجب بهبود قدرت اکستریک و انعطاف پذیری عضله همسترینگ شده است. تمرینات فوق یک روش مؤثر برای بهبود قدرت اکستریک فلکسورهای زانو و بهبود انعطاف پذیری عضلات همسترینگ در کنار تمرینات کششی است. در حالی که مطالعات قبلی بیشترین تمرکز را بر روی اثرات تمرینات قدرتی بر پیشگیری و کاهش آسیب‌های همسترینگ قرار داده بودند و در رفع کوتاهی همسترینگ از انواع تمرینات کششی رایج استفاده می‌کردند؛ اما در این مطالعه اثربخشی تمرینات هم بر قدرت اکستریک و هم بهبود انعطاف پذیری در زنان مبتلا به کوتاهی همسترینگ و هم به عنوان تمرینات پیشگیری از آسیب مشهود است. پیشنهاد می‌گردد از این شیوه تمرینی برای بهبود و یا به منظور ارتقای برنامه‌های پیشگیری و درمان آسیب‌های عضله همسترینگ به‌ویژه استرین استفاده شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه پایان نامه (شماره ایران داک ۲۵۱۲۴۷۳) خانم ایسان فردمهرگان برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی از دانشگاه خوارزمی تهران بود. بدین وسیله از شرکت کنندگان در مطالعه صمیمانه تشکر می‌نمایم.

References

- Murphy D, Connolly D, Beynon B. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med.* 2003 Feb; 37(1): 13-29. DOI: 10.1136/bjism.37.1.13
- Liu H, Garrett WE, Moorman CT, Yu B. Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: a review of the literature. *J Sport Health Sci.* 2012; 1(2): 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2012.07.003>
- Brughelli M, Nosaka K, Cronin J. Application of eccentric exercise on an Australian Rules football player with recurrent hamstring injuries. *Phys Ther Sport.* 2009 May; 10(2): 75-80. DOI: 10.1016/j.ptsp.2008.12.001
- Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Brughelli M. Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction? *Br J Sports Med.* 2012 Feb; 46(2): 81-85. DOI: 10.1136/bjism.2010.081695
- Naseri N. [Physiotherapy in orthopedic lesions and sports injuries]. 1st ed. Tehran: Setayesh Hasti Publication. 2015; pp: 77, 144. [Persian]
- Connell DA, Schneider-Kolsky ME, Hoving JL, Malara F, Buchbinder R, Koulouris G, et al. Longitudinal study comparing sonographic and MRI assessments of acute and healing hamstring injuries. *Am J Roentgenol.* 2004 Oct; 183(4): 975-84. DOI: 10.2214/ajr.183.4.1830975
- Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sports.* 2008 Feb; 18(1): 40-48. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2006.00634.x

همکاران (۲۷) و Potier و همکاران (۲۸) نیز بیان کردند افزایش دامنه حرکتی به دست آمده؛ احتمالاً به دلیل افزایش طول فاسیکل‌های عضله بایسیس فموریس، افزایش تعداد سارکومرهای عضله و تغییر طول بهینه در جهت افزایش طول عضله همسترینگ در اثر تمرینات اکستریک است. طول بهینه و انعطاف‌پذیری همسترینگ به عنوان عوامل خطر مهم آسیب این عضله گزارش شده‌اند (۲۹). در واقع بهبود این دو پارامتر به همسترینگ اجازه می‌دهد که بدون کشش بیش از حد توانش در حین چرخه دویدن فعالیت کند. احتمالاً یک برنامه تمرینی قدرتی اکستریک یکی از بهترین روش‌ها برای به دست آوردن این نوع سازگاری است (۱۷). در توجیه تاثیر تمرینات اکستریک همسترینگ بر بهبود انعطاف‌پذیری این عضله در این مطالعه می‌توان این‌گونه بیان کرد که تمرینات اکستریک با این که ماهیت قدرتی دارند تا کششی؛ در مطالعه حاضر موجب افزایش طول فاسیکل‌ها و در نتیجه بهبود انعطاف‌پذیری عضله همسترینگ شدند که احتمالاً این افزایش طول به وسیله افزایش تعداد سارکومرهای این عضله رخ داده است (۳۰). علاوه بر این، تغییرات سریع طول /تنش اعمال شده بر ساختارهای تاندونی - عضلانی در طول بارهای برون‌گرا ممکن است سازگاری‌های دوک‌های عضلانی و واحدهای گلژی - تاندون را تسهیل نماید. با توجه به اهمیت طول عضله همسترینگ در پیشگیری از آسیب این عضله این افزایش طول، حداکثر گشتاور زاویه‌ای را برای کاهش خطر آسیب‌های احتمالی کاهش می‌دهد (۱۴). همچنین این سازگاری‌ها همراه با تغییرات ذکر شده در شکل

- Asklings C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports.* 2003 Aug; 13(4): 244-50. DOI: 10.1034/j.1600-0838.2003.00312.x
- Lorenz D, Reiman M. The role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: tendinopathy, hamstring strains, and acl reconstruction. *Int J Sports Phys Ther.* 2011 Mar; 6(1): 27-44.
- Prajapati B, Dunne MCM, Armstrong RA. Sample size estimation and statistical power analyses. *Optometry Today.* 2010 Jul; 16(7): 10-18.
- Reurink G, Goudswaard GJ, Oomen HG, Moen MH, Tol JL, Verhaar JA, et al. Reliability of the active and passive knee extension test in acute hamstring injuries. *Am J Sports Med.* 2013 Aug; 41(8): 1757-61.
- Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med.* 1998 Mar-Apr; 26(2): 231-37. <https://doi.org/10.1177/03635465980260021201>
- Tsepis E, Vagenas G, Ristanis S, Georgoulis AD. Thigh muscle weakness in ACL-deficient knees persists without structured rehabilitation. *Clin Orthop Relat Res.* 2006 Sep; 450: 211-18. DOI: 10.1097/01.blo.0000223977.98712.30
- Abdel-aziem AA, Soliman ES, Abdelraouf OR. Isokinetic peak torque and flexibility changes of the hamstring muscles after eccentric training: Trained versus

- untrained subjects. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2018; 52(4): 308-14. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2018.05.003>
15. Ribeiro-Alvares JB, Marques VB, Vaz MA, Baroni BM. Four weeks of Nordic hamstring exercise reduce muscle injury risk factors in young adults. *J Strength Cond Res.* 2018 May; 32(5): 1254-62. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001975
 16. Bourne MN, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, Kerr GK, Shield AJ. Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *Br J Sports Med.* 2017 Jul; 51(13): 1021-28.
 17. Guex KJ, Lugrin V, Borloz S, Millet GP. Influence on Strength and Flexibility of a Swing Phase-Specific Hamstring Eccentric Program in Sprinters' General Preparation. *J Strength Cond Res.* 2016 Feb; 30(2): 525-32. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001103
 18. Delahunt E, McGroarty M, De Vito G, Ditroilo M. Nordic hamstring exercise training alters knee joint kinematics and hamstring activation patterns in young men. *Eur J Appl Physiol.* 2016 Apr; 116(4): 663-72. DOI: 10.1007/s00421-015-3325-3
 19. Iga J, Fruer CS, Deighan M, Croix MD, James DV. 'Nordic' hamstrings exercise-engagement characteristics and training responses. *Int J Sports Med.* 2012 Dec; 33(12): 1000-4.
 20. Orishimo KF, McHugh MP. Effect of an eccentrically biased hamstring strengthening home program on knee flexor strength and the length-tension relationship. *J Strength Cond Res.* 2015; 29(3): 772-78.
 21. Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2009 Aug; 43(8): 556-68. DOI: 10.1136/bjms.2008.051417
 22. Seger J, Thorstensson A. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. *Int J Sports Med.* 2005 Jan-Feb; 26(1): 45-52. DOI: 10.1055/s-2004-817892
 23. Timmins RG, Bourne MN, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. *Br J Sports Med.* 2016 Dec; 50(24): 1524-35. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095362
 24. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural changes of the biceps femoris long head after concentric or eccentric training. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 Mar; 48(3): 499-508. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000795
 25. Lovell R, Knox M, Weston M, Siegler JC, Brennan S, Marshall PWM. Hamstring injury prevention in soccer: before or after training? *Scand J Med Sci Sports.* 2018 Feb; 28(2): 658-66. DOI: 10.1111/sms.12925
 26. Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, Rider PM, Kulas AS. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *Eur J Appl Physiol.* 2017 Mar; 117(5):943-53. DOI: 10.1007/s00421-017-3583-3
 27. Morton SK, Whitehead JR, Brinkert RH, Caine DJ. Resistance training vs. static stretching: effects on flexibility and strength. *J Strength Cond Res.* 2011 Dec; 25(12): 3391-98. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31821624aa
 28. Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Apr; 105(6): 939-44. DOI: 10.1007/s00421-008-0980-7
 29. Henderson G, Barnes CA, Portas MD. Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *J Sci Med Sport.* 2010; 13(4): 397-402. DOI: 10.1016/j.jsams.2009.08.003
 30. Shield AJ, Bourne MN. Hamstring injury prevention practices in elite sport: evidence for eccentric strength vs. Lumbo-Pelvic training. *Sports Med.* 2018 Mar; 48(3): 513-24. DOI: 10.1007/s40279-017-0819-7