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, Theran, 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]

تحقیقی

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

* **آیسان فردمهرگان**، کارشناس ارشد آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ORCiD 0000-0002-9216-6977

دکتر ملیحه حدادنژاد، استادیار، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ORCiD 0000-0002-5826-1524

دکتر امیر لطافت کار، استادیار، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ORCiD 0000-0002-5612-8340

چکیده

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

روش بررسی: *این کارآزمایی بالینی روی ۲۴ زن فعال دارای کوتاهی همسترینگ در دو گروه ۱۲ نفری مداخله و کنترل انجام شد. برای اندازه‌گیری قدرت شامل گشتاور اکسنتریک، گشتاور کانسنتریک و زمان رسیدن به حداکثر گشتاور در سرعت‌های ۶۰ و۱۸۰ درجه بر ثانیه از دستگاه دینامومتر ایزوکینتیک و برای اندازه گیری انعطاف‌پذیری همسترینگ از آزمون اکستنشن غیرفعال زانو قبل و بعد از ۶ هفته تمرینات اکسنتریک استفاده شد.*

یافته‌ها: *پس از شش هفته تمرینات اکسنتریک بهبود معنی‌داری در امتیازات آزمون‌های باز کردن غیرفعال زانو و نیز حداکثر گشتاور و زمان رسیدن به حداکثر گشتاور اکسنتریک فلکسورهای زانو در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه بر ثانیه در گروه مداخله نسبت به گروه کنترل مشاهده شد (P<۰/۰۵).*

نتیجه‌گیری: *تمرینات اکسنتریک سبب افزایش انعطاف‌پذیری و قدرت اکسنتریک عضله همسترینگ زنان فعال گردید.*

کلید واژه‌ها: *تمرینات اکسنتریک ، عضله همسترینگ ، آسیب ورزشی*

* نویسنده مسؤول : آیسان فردمهرگان ، پست الکترونیکی std_a.mehregan@khu.ac.ir

نشانی : تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت بدنی، تلفن ۰۲۱-۲۲۲۲۸۰۰۱، نمابر 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 همسترینگ 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 ورزش های رزمی مبتلا می کند. 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 همسترینگ یا ستون فقرات، پاسچر نامناسب، افزایش تنشن عضله به‌عنوان عوامل خطر قابل کنترل شناخته شده‌اند و عواملی چون ماهیت عضله، سن، نژاد و آسیب‌های قبلی همسترینگ به‌عنوان عوامل خطر غیرقابل کنترل استرین همسترینگ 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 دویدن سریع و بعد از خستگی، عضلات بایسپس فموریس و سمی تندینوسوس سریع‌تر فعال می‌شوند و بیشتر در معرض آسیب از نوع استرین قرار می گیرند. در ورزش‌های سرعتی کمی قبل از این که پاشنه به زمین برخورد کند؛ عضلات همسترینگ برای کاهش شتاب ساق پا و کنترل اکستنشن زانو به صورت اکسنتریک منقبض می‌شوند و فعالیت شدیدی دارند. این عضلات در مرحله ابتدایی وزن اندازی نیز برای انجام اکستنشن هیپ به صورت کانسنتریک فعال می‌شوند. استرین عضله همسترینگ در مرحله انتهایی فاز نوسان (Terminal swing) و درست قبل از تماس پاشنه با زمین اتفاق می‌افتد. یعنی در شرایطی که عضله همسترینگ 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 از طول بهینه خود طویل شوند. عضلات همسترینگ به‌طور فعالی حین فلکشن مفصل ران و اکستنشن مفصل زانو طویل

می‌شوند که این اعمال در حین فاز نوسان دویدن 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. به‌طوری که عضلات کوتاه شده براساس رابطه طول - تنشن 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 آسیب‌دیدگی برنمی‌گردد. 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 ۲۵درصد احتمال وقوع مجدد آسیب در نوسان است و اغلب شدیدتر از آسیب اولیه است (۶). برای پیشگیری از آسیب مجدد، افزایش قدرت اکسنتریک 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 اکسنتریک در ضایعات تاندونی تاکید شده است (۷و۸). 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 می‌کند. همچنین اظهار شده است که تمرینات اکسنتریک موجب متعادل کردن میزان گلیکوزآمینگلیکان‌ها می شوند که در ضایعات تاندونی افزایش می‌یابند 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 اکسنتریک 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 خطرساز و همچنین عوامل پیشگیرانه از آسیب عضله همسترینگ مورد توجه و تمرکز محققین بوده است؛ با این حال در مورد تاثیر تمرینات اکسنتریک بر عواملی مانند قدرت و انعطاف پذیری همسترینگ مطالعات محدود است. لذا این مطالعه به منظور تعیین اثر تمرینات اکسنتریک بر قدرت و انعطاف پذیری زنان فعال دارای کوتاهی همسترینگ انجام شد.

روش بررسی

این کارآزمایی بالینی روی ۲۴ زن فعال دارای کوتاهی همسترینگ به‌صورت 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 کارآزمایی های بالینی ایران (IRCT20190611043865N1) قرار گرفت.

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

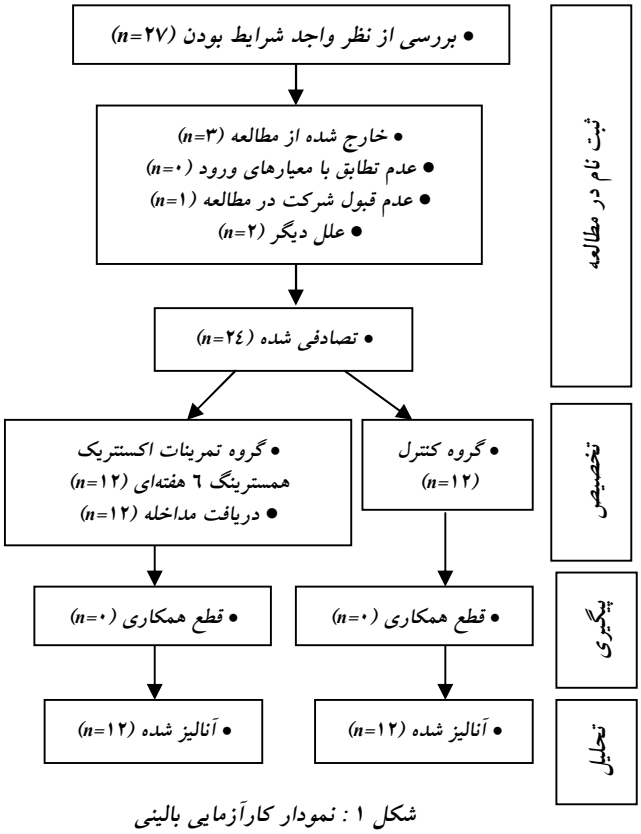
جدول ۱ : زمانبندی تمرینات اکسنتریک

تمرینات اکسنتریک	هفته ۱ ست×تکرار	هفته ۲ ست×تکرار	هفته ۳ ست×تکرار	هفته ٤ ست×تکرار	هفته ٥ ست×تکرار	هفته ٦ ست×تکرار	زمان استراحت (ثانیه)
اسکوات	۱۲×۳	۱٤×۳	*	*	*	*	٤٥
پل با پاشنه، رو به جلو	۸×۳	۱۰×۳	*	*	*	*	٤٥
کشش حوله	۱۰×٤	۸×٤	*	*	*	*	٤٥
کشش اکسنتریک تک پا	۱۰×۳	۱۲×۳	*	*	*	*	٤٥
اسکوات با هالتر	*	*	۱۰×۳	۱۰×۳	۱٤×۳	۱٦×۳	٤٥
پل با سوئیس بال	*	*	۸×٤	۱۰×۳	*	*	٤٥
فرود اکسنتریک از جعبه	*	*	۸×۳	۱۰×۳	*	*	٤٥
نوردیک با تراباند	*	*	۸×۳	٥×۳	*	*	٤٥
پل تک پا رو به جلو با سوئیس بال	*	*	*	*	۸×۳	۱۰×۳	٤٥
فرود لانگز از جعبه	*	*	*	*	۸×۳	۱۰×۳	٤٥
نوردیک	*	*	*	*	۸×۳	٥×۳	٤٥

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 ۲۵-۱۸ 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 آزمودنی ها 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 به‌وسیله آزمون اکستنشن غیرفعال زانو و قدرت (گشتاور اکسنتریک و کانسنتریک و زمان رسیدن به حداکثر گشتاور در سرعت‌های ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه) در پای برتر به‌وسیله داینامومتر ایزوکنتیک اندازه‌گیری شد. در گروه تمرین، از تمرینات اکسنتریک به مدت شش هفته و هر هفته سه بار استفاده شد. در گروه کنترل هیچ مداخله‌ای صورت نگرفت. پس از شش هفته پس آزمون در شرایط پیش‌آزمون 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 پوپلیتئال) 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 زانواحساس نمود (۱۱).

ارزیابی قدرت به وسیله دستگاه دینامومتر آیزوکینتیک: ابزار اندازه‌گیری قدرت، دستگاه دینامومتر ایزوکینتیک (بایودکس) سیستم ۳ ساخت کشور آمریکا بود. بر اساس مطالعه Aagaard و همکاران (۱۲) و همچنین دفترچه راهنمای دستگاه، آزمون ها مرحله به مرحله و با دقت انجام شد. در ابتدا کل آزمودنی‌ها در جلسه‌ای مجزا با شیوه اندازه گیری عوامل مورد تحقیق آشنا شدند. در جلسه دوم آزمودنی‌ها در ساعت مقرر در آزمایشگاه حاضر شدند و پس از گرم کردن استاندارد (با دوچرخه کارسنج) به مدت پنج تا هفت دقیقه، همین طور تمرینات کششی در هر دو اندام تحتانی به مدت چهار تا پنج ثانیه اندازه‌گیری‌ها انجام شد. سپس قدرت (کانسنتریک و اکسنتریک) در دامنه حرکتی فلکسور و اکستنسور زانو در هر دو اندام تحتانی (پای برتر و غیربرتر) با استفاده از دستگاه دینامومتر ایزوکینتیک در سرعت‌های زاویه‌ای ۶۰ تا ۱۸۰ درجه بر ثانیه، (قدرت کانسنتریک) و در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه بر ثانیه (قدرت اکسنتریک) در زمان فعالیت اکستنشن و فلکشن بیشینه زانو اندازه‌گیری شد. بعد از هر سرعت زاویه‌ای در یک پا 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

جدول ۲ : میانگین و انحراف استاندارد اطلاعات فردی آزمودنی‌ها

متغیرها	گروه تمرینی (۱۲ نفر)	گروه کنترل (۱۲ نفر)	p-value
سن (سال)	۲۱/۷۵±۱/۷٦	۲۱/۰۰±۱/۳٤	۰/۷
قد (متر)	۱/٦۳±۰/۲٤	۱/٦٥±۰/٥۱	۰/۲۷
جرم (کیلوگرم)	٥۸/٥۸±٤/۳۹	٦۰/۷٥±٤/۲٦	۰/۲۳
طول اندام تحتانی (سانتی متر)	۸٦/۰۸±۲/٥۳	۸٥/۱٦±۱۱/٥۸	۰/۷۹
نمایه توده بدنی (کیلوگرم برمتر مربع)	۲۱/۰۸٥±۱/٦٥	۲۲/۱٥±۱/۲٥	۰/٦۱
سابقه فعالیت (سال)	٦/۲٥±۱/٥٤	٥/۲٥±۱/۰۰	۰/۰۹
آزمون PKE (درجه)	۱٥۸/۰۰±۳/۸٤	۱٥٦/۸۳±۲/۰۸	۰/۳۲

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 ایزوکینتیک برای هر طرف بدن و نیز زمان رسیدن به حداکثر گشتاور برای هر طرف اندام تحتانی (R+L) بودند (۱۲و۱۳).

پروتکل تمرینی: از پروتکل تمرینی تعدیل شده Brughelli و همکاران استفاده شد (۳) که به مدت شش هفته (۱۸جلسه) بر روی آزمودنی ها 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 شرکت‌کننده ها 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 آزمودنی ها به طور یکسان استفاده شد. در ابتدای هر جلسه تمرینات اکسنتریک 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 شرکت کننده در حین مراحل تمرینی به خود می‌گرفت توسط آزمون‌گر اصلاح شد (۳) (جدول یک)

تمرینات اکسنتریک شامل اسکوات، پل با پاشنه رو به جلو، کشش حوله، کشش اکسنتریک تک پا، اسکوات با هالتر، اسکوات با هالتر، پل با سوئیس بال، فرود اکسنتریک 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 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 آزمودنی ها 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/con۶۰، مدت زمان رسیدن به حداکثر گشتاور فلکسوری ecc/con۶۰ 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/con۶۰، مدت زمان رسیدن به گشتاور فلکسوری ecc/con۶۰ 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<۰/۰۵) (جدول ۴).

بحث

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، شش هفته تمرینات اکسنتریک 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 اکسنتریک بر قدرت اکسنتریک با نتایج مطالعاتی (۱۷-۱۴) همخوان است و با نتایج تحقیق در زمینه تاثیر تمرینات اکسنتریک بر قدرت کانسنتریک با نتایج مطالعه Delahunt و همکاران (۱۸) و مطالعه Iga و همکاران (۱۹) ناهمخوان است.

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

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

متغیرها		مقدار کرویت	گروه کنترل پیش آزمون	گروه کنترل پس آزمون	p-value	گروه مداخله پیش آزمون	گروه مداخله پس آزمون	p-value
آزمون PKE (درجه)		۰/۲۹	۱۵۸/۰۰±۳/۸٤	۱۵۷/۰۰±۲/۹۳	۰/۲۰	۱۵٦/۸۳±۲/۰۸	۱٦٤/۱٦±۲/۵۵	۰/۰۰۱ *
حداکثر گشتاور فلکسوری	con/con ۱۸۰ (نیوتن متر)	۰/۱۱	۵۲/۷۲±٤/۲۲	۵۱/۸۱±٤/۹۵	۰/۱۰	۵۱/۰۵±۵/۳۲	۵۳/۹۹±٦/۰٤	۰/۰٦
	con/con ٦۰ (نیوتن متر)	۰/۸۲	۵٤/۷۷±۷/۰۹	۵۵/۹۰±۷/٤٦	۰/٤۱	۵۳/۷۵±۵/۵۰	۵٦/٦۹±٦/۷۷	۰/۰٦
	ecc/con ٦۰ (نیوتن متر)	۰/۳۱	۵۹/۳۰±۳/۷۱	۵۸/٦۱±٤/۷٤	۰/۳۷	٦۱/٤۰±۵/۲٦	۷٦/٤٦±٦/۵۱	۰/۰۰۱ *
حداکثر گشتاور اکستنسوری	con/con ۱۸۰ (نیوتن متر)	۰/۸۲	۷۵/۸±۷٤/۹۱	۷٤/۷٤±۹/۱۲	۰/۳۰	۷۷/۹۹±۸/٤۳	۸۰/۷۳±۵/٤۲	۰/۲٤
	con/con ٦۰ (نیوتن متر)	۰/٤۹	۱۲۵/٤٤±۲٤/٤۷	۱۱۸/۲۸±۲۲/۵۸	۰/۱۱	۱۳۲/٦٤±۲۲/۵٤	۱۳٦/٦۲±۲۲/٤۵	۰/۰٦
	ecc/con ٦۰ (نیوتن متر)	۰/٤۲	۱٤۱/۱۳±۱۲/۳٦	۱۳۹/۰۰±۱۲/۲٤	۰/۱٤	۱۳٦/۳۰±۱۲/۳۱	۱٤۰/٤٤±۱۳/٦۰	۰/۰٦
مدت زمان رسیدن به گشتاور فلکسوری	con/con ۱۸۰ (نیوتن متر)	۰/۲۱	۳۲۸/۰۰±۲٦/٦۷	۳۲۸/۹۰±۳۷/۰۷	۰/۹۳	۳۳۲/۸۹±۲۱/۹۸	۳۲۵/۳٦±۲۷/۱۱	۰/۰۹
	con/con ٦۰ (نیوتن متر)	۰/۹۷	٤٤۷/۲۲±٦۹/۳۳	٤۲۳/۸۲±۷۲/۹۱	۰/۰۸	٤٤۸/۲۷±۷۹/۱۵	٤۲۲/۳۵±۸۱/۹۸	۰/۰۸
	ecc/con ٦۰ (نیوتن متر)	۰/۲۹	۵٦٤/۹۷±۷٤/۲۵	۵٦۰/۲۵±۸۱/۸۵	۰/۷۸	۵۵۵/۹۰±۸۵/۲۱	٤۷٤/۲۰±۸۱/۸۷	۰/۰۰۱ *
مدت زمان رسیدن به گشتاور اکستنسوری	con/con ۱۸۰ (نیوتن متر)	۰/۱٦	۳۳٦/۵۰±۸۰/٤۳	۳۵٤/۵۱±۷۵/۲۹	۰/۱۳	۳٤۷/۳۰±٦۲/۰۱	۳۲۳/۹٤±٦۸/۹۳	۰/۰٦
	con/con ٦۰ (نیوتن متر)	۰/۲٦	٤۰۲/۰۸±٤۵/۹۹	۳۹۹/۹۳±۵۹/٤۷	۰/۸۲	٤۰۰/٤۹±۵۹/٦۸	۳۸٤/۵۹±٦۵/۲۰	۰/۰۷
	ecc/con ٦۰ (نیوتن متر)	۰/۱۵	٦۱۹/۵٤±٦۰/۱٤	٦۱۳/۲۷±۷۵/۷٦	۰/۹۰	٦۲۲/۱۹±۷۱/۲۲	۵۸۸/۰٦±۸۱/۷۵	۰/۰٦

* وجود تفاوت آماری معنی‌دار درون گروهی

جدول ٤ : 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	
	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون
حداکثرگشتاور فلکسوری ecc/con ٦۰ (نیوتن متر)	۵۹/۳۰±۳/۷۱	۵۸/٦۱±٤/۷٤	٦۱/٤۰±۵/۲٦	۷٦/٤٦±٦/۵۱	۱/۲۷	۵۸/۸۲	۰/۲۷	۰/۰۰۱ *
مدت زمان رسیدن به حداکثر گشتاور فلکسوری ecc/con ٦۰ (درجه برثانیه)	۵٦٤/۹۷±۷٤/۲۵	۵٦۰/۲۵±۸۱/۸۵	۵۵۵/۹۰±۸۵/۲۱	٤۷٤/۲۰±۸۱/۸۷	۰/۰۷	٦/٦۲	۰/۷۸	۰/۰۱ *
انعطاف پذیری (PKE) (سانتی متر)	۱۵۸/۰۰±۳/۸٤	۱۵۷/۰۰±۲/۹۳	۱۵٦/۸۳±۲/۰۸	۱٦٤/۱٦±۲/۵۵	۱/۰۳	٤۰/۹۲	۰/۳۲	۰/۰۰۱ *

* وجود تفاوت آماری معنی‌دار بین گروهی

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

Guex و همکاران افزایش معنی‌داری را در قدرت اکسنتریک به میزان ۲۰ تا ۲۲درصد و افزایش قدرت کانسنتریک به میزان ۱۶ درصد را پس از تمرینات اکسنتریک در دوندگان گزارش کردند (۱۷). این افزایش قدرت اکسنتریک با تحقیقاتی که افزایش ۹ تا ۳۸درصد قدرت اکسنتریک فلکسورهای زانو را پس از ۴ تا ۱۰ هفته از تمرینات اکسنتریک گزارش کردند؛ هم‌راستا بود (۱۹و۲۰). همچنین Guex و همکاران بیان کردند افزایش قدرت اکسنتریک

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

افزایش گشتاور اکسنتریکی عضلات همسترینگ پس از تمرینات اکسنتریک می‌تواند به دو عامل اصلی عصبی (افزایش فعال‌سازی عضلات آگونیست و یا سینرژیست درگیر در فعالیت عضلانی، بهبود هماهنگی، وکاهش 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 (تاثیر کوتاه مدت) بر قدرت عضلات تاثیر می‌گذارد و از سوی دیگر هایپرتروفی عضلات بعد از سه هفته (تاثیر طولانی مدت) حاصل می‌شود. لذا احتمالاً در مطالعه حاضر هر دو مکانیسم افزایش قدرت موثر بودند. زیرا تمرینات اکسنتریک به مدت شش هفته به طول انجامید. در مقایسه با انقباضات دیگر تمرینات اکسنتریک محرکی قوی برای افزایش قدرت و هایپرتروفی عضلانی از طریق فعال‌سازی عصبی بیشتر در مقایسه با انقباض کانسنتریک و ایزومتریک فراهم می‌کند (۲۲). در انقباضات اکسنتریک در مقایسه با انقباضات کانسنتریک، علی‌رغم این که فیبرهای کمتری از عضله در انقباض مشارکت می‌کنند؛ نیروی بیشتری تولید می‌شود. اگر در انقباضات اکسنتریک یک عضله با شدت زیاد منقبض شود و از تمام فیبرهایش استفاده کند؛ احتمال صدمه در فیبرهای عضلانی و بافت‌های پوششی آن افزایش پیدا می‌کند (۱۳). تولید نیروی بیشتر در انقباضات اکسنتریک در مقایسه با انقباضات کانسنتریک علی‌رغم استفاده کمتر از فیبرهای عضلانی به‌دلیل استفاده از اجزای الاستیک و تولید نیرو یا تنش پاسیو توسط این اجزا نیز هست. با این توضیحات در تجویز تمرینات مقاومتی از نوع اکسنتریک باید دقت بیشتری داشت. با این وجود انجام انقباضات اکسنتریک در اندام تحتانی برای بهبود فعالیت‌های عملکردی کاربردی‌تر از سایر انقباضات است. لذا بایستی در متغیرهای تولید کننده نیروی کامپرشن تغییراتی اعمال نمود تا فواید این نوع تمرینات بیشتر گردد (۱۳).

در توجیه تاثیر تمرینات مقاومتی اکسنتریک بر قدرت اکسنتریک فلکسورهای زانو و عدم تاثیر معنی‌دار بر قدرت کانسنتریک در مطالعه حاضر می‌توان این‌گونه بیان کرد که افزایش قدرت عضلات همبستگی بالایی با سبک تمرینات دارد. بیشترین افزایش قدرت کانسنتریک بعد از تمرینات کانسنتریک و بیشترین قدرت اکسنتریک بعد از تمرینات اکسنتریک به‌دست می‌آید.

همچنین در ارتباط با افزایش انعطاف‌پذیری عضله همسترینگ پس از تمرینات اکسنتریک، 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. تاثیر مثبت تمرینات قدرتی اکسنتریک همسترینگ شامل نوردیک، لگ کرل ماشین و تمرین اکستنشن هیپ بر تغییر در شکل کلاژن‌های اندومیوزیوم 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 تاثیر تمرینات اکسنتریک 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-Alvares 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 اکسنتریک 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 اکسنتریک در حداکثر دامنه حرکتی است (۲۶).

همچنین از دلایل ناهمخوانی در مطالعه Ribeiro-Alvares 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 تاثیر تمرینات اکسنتریک در نتایج باشد. با توجه به نتایج کسب شده، این محققین بیان کردند که اگر هدف از برنامه تمرینی بهبود انعطاف پذیری همسترینگ باشد؛ بهتر است در کنار تمرینات قدرتی اکسنتریک از تمرینات کششی نیز استفاده شود (۱۵).

در نتایج مطالعه آبدل و همکاران بیان شد که به‌نظر 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 اکسنتریک به میزان ۴ درجه افزایش یافت (۱۷). در همین راستا Morton و

همکاران (۲۷) و Potier و همکاران (۲۸) نیز بیان کردند افزایش دامنه حرکتی به‌دست آمده؛ احتمالاً به دلیل افزایش طول فاسیکل‌های عضله بایسپس فموریس، افزایش تعداد سارکومرهای عضله و تغییر طول بهینه در جهت افزایش طول عضله همسترینگ در اثر تمرینات اکسنتریک 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 اکسنتریک یکی از بهترین روش‌ها برای به‌دست آوردن این نوع سازگاری است (۱۷).

در توجیه تاثیر تمرینات اکسنتریک همسترینگ بر بهبود انعطاف‌پذیری این عضله در این مطالعه می‌توان این‌گونه بیان کرد که تمرینات اکسنتریک 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 /تنشن 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 کلاژن‌ها در محل اتصال عضلانی - تاندونی باعث افزایش ظرفیت تحمل در سطوح بالای منحنی استرس استرین می‌گردد (۲۳).

نتیجه‌گیری

با وجود نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر و بررسی نتایج تحقیقات پیشین به‌نظر می‌رسد که تمرینات مذکور موجب بهبود قدرت اکسنتریک و انعطاف پذیری عضله همسترینگ شده است. تمرینات فوق یک روش مؤثر برای بهبود قدرت اکسنتریک 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 اکسنتریک 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 آیسان فردمهرگان برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی از دانشگاه خوارزمی تهران بود. بدین‌وسیله از شرکت‌کنندگان در مطالعه صمیمانه تشکر می‌نماییم.

References

1. Murphy D, Connolly D, Beynnon 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/bjsm.37.1.13

2. 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

3. 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

4. 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/bjsm.2010.081695

5. Naseri N. [Physiotherapy in orthopedic lesions and sports injuries]. 1st ed. Tehran: Setayesh Hasti Publication. 2015; pp: 77, 144. [Persian]

6. 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

7. 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

8. Askling 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

9. 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.

10. Prajapati B, Dunne MCM, Armstrong RA. Sample size estimation and statistical power analyses. Optometry Today. 2010 Jul; 16(7): 10-18.

11. 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.

12. 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

13. 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

14. 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/bjsm.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