



Sport Medicine Studies

Journal homepage: <https://smj.ssrc.ac.ir>



Original Article

The Effect of Six Weeks of Nordic Hamstring Training on the Q Angle, the Ratio of Hamstring to Quadriceps Strength and the Electrical Activity of These Muscles in Young Soccer Players with Genu Varum

Ebrahim Zavareh¹, Hoda Mozayyany², Fateme Movahedinia³

1. Master's degree in sports pathology and corrective movements, Shahid Beheshti University

2. Associate Professor, Department of Sports and Fitness, Faculty of Sports Sciences and Fitness, Shahid Beheshti University

3. Master's student in sports pathology and corrective movements, Shahid Beheshti University

Received: 16/10/2023, **Revised:** 09/12/2023, **Accepted:** 16/03/2024

* Corresponding Author: Hoda Mozayyany, E-mail: H_Mozayani@sbu.ac.ir

How to Cite: Zavareh, E; Mozayyany, H; Movahedinia, F. (2024). The Effect of Six Weeks of Nordic Hamstring Training on the Q Angle, the Ratio of Hamstring to Quadriceps Strength and the Electrical Activity of These Muscles in Young Soccer Players with Genu Varum. Sport Medicine Studies, 16(40), 95-108. In Persian.

Extended Abstract

Background and Purpose

Hamstring strain injuries (HSIs) are among the most common musculoskeletal injuries in both professional and amateur sports, particularly those involving high-speed running and rapid changes in direction, such as soccer, rugby, and track and field. In elite soccer, HSIs account for approximately 12–16% of all injuries, with high recurrence rates of up to 30% within the same season. These injuries predominantly occur during eccentric muscle actions, especially in the terminal swing phase of sprinting, and pose significant challenges for athletes due to prolonged recovery periods and performance impairment. The Nordic hamstring exercise (NHE) is a widely recognized eccentric training method that strengthens the hamstring muscles and enhances neuromuscular control. It has been shown to reduce the incidence of HSIs by up to 51% in soccer players. Despite its efficacy, limited research has examined the effects of NHE on biomechanical and neuromuscular variables such as the Q angle, hamstring-to-quadriceps (H:Q) strength ratio, and muscle activation patterns in individuals with lower limb alignment abnormalities like genu varum (bow-leggedness). This condition alters knee biomechanics, increases medial knee stress, and may contribute to injury risk. This quasi-experimental study investigates the impact of a 6-week NHE intervention on the Q angle, H:Q strength ratio, and electromyographic (EMG) activity of the vastus lateralis, vastus medialis, semimembranosus, and biceps femoris muscles in adolescent male soccer players with genu varum. The findings may offer valuable insights for injury prevention and rehabilitation strategies in youth athletes with structural misalignments.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Materials and Methods

This quasi-experimental study employed a pre-post design to assess the effects of a 6-week NHE intervention. Thirteen adolescent male soccer players (aged 15–18 years) with genu varum were recruited from soccer academies in Tehran, Iran, using purposive sampling. Genu varum was confirmed via clinical assessment. Participants were excluded if they had a history of lower limb surgery, recent musculoskeletal injuries, or neurological conditions affecting movement. Informed consent was provided by participants and their guardians. The study employed a repeated-measures design, with pre- and post-intervention assessments.

The Q angle was measured using a goniometer, while the H:Q strength ratio and electrical activity of the vastus lateralis, vastus medialis, semimembranosus, and biceps femoris muscles were assessed using an isokinetic dynamometer and electromyography (EMG), respectively. The Q angle was measured using a standardized goniometric protocol. Measurements were taken before and after a 6-week NHE program. Muscle strength and activation data were obtained using an isokinetic dynamometer at angular velocities of 60°/s and 180°/s. Surface EMG electrodes were placed following SENIAM guidelines. All participants completed the same testing protocol before and after the intervention period. Data were analyzed using SPSS. Normality was confirmed via the Shapiro-Wilk test. A dependent t-test with repeated measures was used to compare pre- and post-intervention outcomes, with a significance level of $p < 0.05$.

Results

The results revealed a significant reduction in the Q angle following the 6-week NHE program ($p < 0.001$), indicating improved knee alignment. Significant improvements were also observed in the H:Q strength ratio during both extension and flexion modes at angular velocities of 60° ($p < 0.02$ for extension, $p < 0.01$ for flexion) and 180° per second ($p < 0.001$ for extension, $p < 0.03$ for flexion). These findings suggest that the NHE program effectively enhanced the balance between hamstring and quadriceps muscle strength, a key factor in injury prevention.

In terms of muscle electrical activity, significant increases were noted in the semimembranosus ($p < 0.01$), biceps femoris ($p < 0.04$), and vastus lateralis ($p < 0.02$) muscles at 60° per second. At 180° per second, significant improvements were observed in the semimembranosus ($p < 0.01$) and biceps femoris ($p < 0.001$) muscles. However, no significant changes were detected in the vastus medialis muscle at either angular velocity ($p > 0.05$) or in the vastus lateralis muscle at 180° per second ($p > 0.05$). These results indicate that the NHE program was particularly effective in enhancing hamstring muscle activation, especially in the semimembranosus and biceps femoris, which are crucial for dynamic knee stabilization and injury prevention during high-speed athletic movements.

Discussion

The results of this study support the efficacy of the Nordic hamstring exercise (NHE) as a neuromuscular training intervention capable of eliciting meaningful improvements in lower limb biomechanics among adolescent soccer players with genu varum. Over a 6-week period, the NHE program significantly improved the Q angle, hamstring-to-quadriceps (H:Q) strength ratio, and electromyographic (EMG) activity of key hamstring muscles, particularly the semimembranosus and biceps femoris. These adaptations suggest enhanced hamstring-mediated control of tibial rotation, improved eccentric strength, and greater neuromuscular recruitment during high-risk athletic movements such as sprinting and deceleration.

The observed reduction in Q angle may contribute to better alignment and reduced lateral patellar tracking, which is often exaggerated in individuals with genu varum. Similarly, the improved H:Q ratio addresses a well-known risk factor for hamstring strain injuries. The absence of significant changes in vastus medialis activation likely reflects the posterior-chain specificity of the NHE and may indicate a need for complementary quadriceps-focused exercises to ensure balanced development. These findings advocate for incorporating NHE into youth soccer training and rehabilitation programs not only as a preventive measure against hamstring injuries but also as a corrective strategy for lower limb malalignments. The exercise is cost-effective, evidence-based, and easily implemented, making it suitable for football academies and sports therapy settings.

Conclusion

The findings of this study demonstrate that a 6-week Nordic hamstring exercise program can significantly improve knee alignment (Q angle), the hamstring-to-quadriceps strength ratio, and the neuromuscular activation of key hamstring muscles in adolescent soccer players with genu varum. These improvements are likely to contribute to better muscle coordination and joint control, both of which are important for preventing injuries during fast-paced actions like sprinting or changing direction. However, the exercise had little effect on one of the inner thigh muscles (vastus medialis), suggesting that additional exercises may be needed to ensure balanced development across all muscle groups. Overall, the findings highlight NHE as a practical, low-cost tool that could be added to training routines in youth soccer to enhance performance and reduce injury risk. Future research should examine the long-term sustainability of these adaptations, include more diverse populations, and explore the synergistic effects of combining NHE with other neuromuscular training modalities to optimize athletic development and injury prevention.

Keywords: Genu Varum, Nordic Hamstring Exercise, Q Angle, Hamstring-to-Quadriceps Strength Ratio.

Article Message

This research explored how a six-week program of Nordic hamstring exercises could benefit young soccer players with bow-legged alignment, known as genu varum—a condition that may increase the risk of hamstring injuries. The results showed meaningful improvements: the alignment of the knee became more optimal, the strength ratio between hamstrings and quadriceps shifted toward a healthier balance, and the activation of key hamstring muscles increased. These changes suggest better muscle coordination and joint control, both of which are important for preventing injuries during fast-paced actions like sprinting or changing direction. However, the exercise had little effect on one of the inner thigh muscles, hinting that additional exercises might be needed to ensure balanced development across all muscle groups. Overall, the findings highlight NHE as a practical, low-cost tool that could be added to training routines in youth soccer to enhance performance and reduce injury risk. The study also encourages further investigation into how such programs perform over time and in a wider range of athletes.



Ministry of Science, Research and Technology
Sport Sciences Research Institute

مطالعات طب ورزشی

Journal homepage: <https://smj.ssric.ac.ir>



مقاله پژوهشی

تأثیر شش هفته تمرین نوردیک همسترینگ بر زاویه Q، نسبت قدرت همسترینگ به چهارسر ران و فعالیت الکتریکی این عضلات در فوتبالیست‌های نوجوان دارای زانوی پرانتری

ابراهیم زواره^۱ , هدی مزینی^۲ , فاطمه موحدی‌نیا^۳ 

۱. کارشناسی ارشد رشته آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲. استادیار گروه باتوانی ورزشی و تندرستی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴، **تاریخ اصلاح:** ۱۴۰۲/۰۹/۱۸، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

* Corresponding Author: Hoda Mozayyany, E-mail: H_Mozayyani@sbu.ac.ir

How to Cite: Zavareh, E; Mozayyany, H; Movahedinia, F. (2024). The Effect of Six Weeks of Nordic Hamstring Training on the Q Angle, the Ratio of Hamstring to Quadriceps Strength and the Electrical Activity of These Muscles in Young Soccer Players with Genu Varum. Sport Medicine Studies, 16(40), 95-108. In Persian.

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر ۶ هفته تمرین نوردیک همسترینگ بر زاویه Q، نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر ران و فعالیت الکتریکی این عضلات در فوتبالیست‌های نوجوان دارای زانوی پرانتری شهر تهران است. مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر از نوع مطالعات کاربردی نیمه تجربی یک گروه می‌باشد. از میان فوتبالیست‌های نوجوان دارای زانوی پرانتری شهر تهران، ۱۳ نفر به صورت تصادفی انتخاب شدند. زاویه Q با گونیامتر، نسبت قدرت همسترینگ به چهارسر ران و فعالیت الکتریکی عضلات به ترتیب به وسیله دستگاه ایزوکینتیک و دستگاه الکترومیوگرافی، بعد از ۶ هفته تمرین نوردیک همسترینگ اندازه‌گیری شد. از آزمون تی وابسته برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. یافته‌ها: نتایج مطالعه حاضر نشان داد بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون زاویه Q ($P < 0.00$)، نسبت قدرت عضله همسترینگ به چهارسر در حالت اکستشن در سرعت زاویه‌ای ۶۰° ($P < 0.02$) و ۱۸۰° درجه بر ثانیه ($P < 0.001$)، و همچنین در حالت فلکشن با سرعت زاویه‌ای ۶۰° ($P < 0.01$) و ۱۸۰° ($P < 0.03$) بر تائیه تفاوت معناداری وجود دارد. نتایج حاصل از پیش‌آزمون و پس‌آزمون فعالیت الکتریکی عضلات نیم‌وتری ($P < 0.01$)، دو سر رانی ($p < 0.04$) و پهن خارجی ($P < 0.02$) در سرعت زاویه‌ای ۶۰° درجه بر ثانیه تفاوت معناداری را نشان داد. این تفاوت معنادار برای عضلات نیم‌وتری ($P < 0.01$) و دو سر رانی ($P < 0.00$) در سرعت زاویه‌ای ۱۸۰° درجه بر ثانیه نیز قابل مشاهده بود. اما در عضله پهن داخلی در سرعت زاویه‌ای ۶۰° ($P < 0.07$) و ۱۸۰° ($P < 0.24$) درجه بر ثانیه و در عضله پهن خارجی در سرعت زاویه‌ای ۱۸۰° درجه بر ثانیه ($P < 0.28$) تفاوت معناداری مشاهده نشد. نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد تمرین نوردیک همسترینگ می‌تواند با اثر مثبتی که بر زاویه Q و قدرت عضلات همسترینگ می‌گذارد، به عنوان تمرینی برای تقویت این عضله و همچنین در پیشگیری از آسیب‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: زانوی پرانتری، تمرین نوردیک همسترینگ، زاویه Q، نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر ران.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقدمه

فوتبال ورزشی هیجان‌انگیز و پرمخاطب است که روزانه در حال گسترش می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که این ورزش محبوبیت زیادی بین کودکان ۷ تا ۱۴ سال و نوجوانان ۱۵ تا ۱۸ سال دارد. یکی از پیامدهای این محبوبیت روزافزون، افزایش میزان آسیب‌های ناشی از بازی فوتبال چه در سطح حرفه‌ای و چه در سطح مبتدی می‌باشد (۱). فوتبال به واسطه فعالیت‌های انفجاری مکرر، همواره مفاصل و عضلات را متحمل فشارهای زیادی می‌کند (۲). به دلیل تاثیرپذیری بیشتر زانو نسبت به این فشارها، اختلالات وضعیتی متعددی در بازیکنان به وجود می‌آید (۳). یکی از این اختلالات بسیار شایع در کودکان و نوجوانان فوتبالیست زانوی پرانتری می‌باشد (۴). مطالعات نشان داده است که ۷۳ درصد از بازیکنان فوتبال دارای زانوی پرانتری هستند که بخش زیادی از این جامعه آماری را نوجوانان فوتبالیست ۱۳ تا ۱۸ سال تشکیل می‌دهند (۴). از جمله عوارض زانوی پرانتری می‌توان به راه رفتن غیرعادی، آرتروز زودرس زانو، افزایش آسیب‌پذیری مفصل، کاهش زاویه Q و پارگی رباط متقاطع قدامی^۱ اشاره کرد (۵). همچنین این ناهنجاری از مهمترین ریسک فاکتورهای آسیب همسترینگ بیان شده است (۶). از دلایل ایجاد این ناهنجاری می‌توان به ضربه‌های متوالی، پرش‌ها و فرودهای مکرر در طولانی‌مدت اشاره کرد (۴). همچنین از دیگر علل اصلی بروز زانوی پرانتری می‌توان به فشار بیش از اندازه تمرین در سن رشد، ضعف و کوتاهی عضلات گروه همسترینگ (۵)، قدرت بیشتر عضلات اداکتور ران نسبت به عضلات اداکتور ران، به دلیل تکرار شوت‌های مکرر که باعث ایجاد عدم تعادل عضلانی در نتیجه کوتاهی عضلات نیم‌غشائی و نیم‌وتری و ضعف عضله دوسر رانی می‌شود، اشاره کرد (۶). یک پروتکل ۴ هفته‌ای از تمرینات کششی برای عضلات اداکتور و همسترینگ همراه با باند الاستیک برای عضلات اداکتور ران استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که این تمرینات تاثیر زیادی بر کاهش فاصله دو زانو داشته‌اند (۷). از جمله تمرینات تقویت عضلات همسترینگ بر روی زانو، تمرین نوردیک همسترینگ می‌باشد. تمرین نوردیک همسترینگ نوعی تمرین انقباض برون‌گرا تدریجی است. در تمرین نوردیک، فعال شدن گروه عضلات همسترینگ روی دو مفصل به‌طور چشمگیری قدرت بیشینه این عضلات را نسبت به تمرینات معمول افزایش می‌دهد. تحقیقات دلاهان^۲ و همکاران (۸) در اجرای شش هفته پروتکل اکسنتریک همسترینگ نوردیک نشان داد که این تمرینات باعث بهبود قدرت اکسنتریک، بهبود کینماتیک حرکت و بهبود الگوی عصبی-عضلانی می‌شود (۸). گزارشات اخیر حاکی از آنند که این تمرین تاثیرات بسیار زیادی بر روی فعالیت الکتریکی سر کوتاه عضله دوسر رانی و عضله نیم‌وتری دارد (۹). مطالعات پیشین نشان داده است که ضعف عضله همسترینگ در ایجاد زانوی پرانتری نقش بسزائی ایفا می‌کند. از آنجا که عضله همسترینگ در فوتبال به دلیل دویدن‌های مکرر بسیار درگیر و فعال است، ضعف این عضله سبب آسیب‌دیدگی‌های متعددی از جمله آسیب رباط متقاطع قدامی در بازیکن می‌شود. اهمیت این آسیب‌ها به دلیل هزینه‌بر و زمان‌بر بودن درمان و توانبخشی آن‌ها و مدت زمانی که ورزشکار را از میداين ورزشی دور می‌کند، از عوامل بسیار مهمی است که لزوم پیشگیری از این آسیب‌ها را حائز اهمیت می‌کند. لذا، پژوهش حاضر سعی در بررسی تاثیر ۶ هفته تمرین همسترینگ نوردیک بر زاویه Q، نسبت قدرت همسترینگ به چهارسر ران و فعالیت الکتریکی این عضلات را دارد.

1. Anterior Cruciate Ligament (ACL)

2. Delahunt

روش پژوهش

مطالعه حاضر از نوع مطالعات کاربردی نیمه تجربی یک گروه می‌باشد. جامعه آماری این پژوهش متشکل از نوجوانان پسر فوتبالیست مناطق زوج شهر تهران در دامنه سنی ۱۵ تا ۱۸ سال بود. از میان این افراد، ۲۶ نفر دارای شرایط شرکت در این مطالعه بودند که از میان آن‌ها، با توجه به قابلیت دسترسی به نمونه‌ها، ۱۳ نفر به صورت تصادفی انتخاب شدند. یک نفر از شرکت‌کنندگان به علت عدم رعایت اصول پژوهش از این تحقیق کنار گذاشته شد. برای تعیین میزان حجم نمونه از نرم‌افزار جی پاور^۱ استفاده شد (اندازه اثر ۰.۸، سطح معناداری ۰.۰۵ و توان ۰.۸۵ در نظر گرفته شد). مشخصات آنتروپومتریک شرکت‌کنندگان اندازه‌گیری و ثبت شد (جدول شماره ۲).

شرایط ورود به تحقیق عبارتند از جنسیت مذکر، دامنه سنی ۱۵ تا ۱۸ سال، دارا بودن زانوی پرانتری درجه ۱ و ۲ (هنگامی که فاصله دو کندیل داخلی ران ۲.۵ سانتی متر تا ۷ سانتی متر باشد (۱۰)، داشتن سلامت عمومی مورد تأیید پزشک، عدم اختلاف در طول پا، عدم وجود هرگونه نقص یا بیماری مرتبط به زانو، عدم وجود سابقه جراحی و آسیب در اندام تحتانی و مشکلات ارتوپدی، پوکی استخوان، آرتروز و روماتوئید مفصلی و اختلالات عصبی عضلانی.

شرکت نامنظم در جلسات تمرینی، عدم تمایل همکاری فرد، بروز حادثه و حرکاتی که منجر به آسیب و محدودیت حرکتی در اندام تحتانی شود، و عدم تکمیل پیش‌آزمون و پس‌آزمون تحقیق، سبب خروج آزمودنی از تحقیق می‌گردید.

روش اندازه‌گیری طول حقیقی پا

در پژوهش حاضر، برای اندازه‌گیری طول حقیقی هر دو پا از متر نواری منعطف با دقت ۰.۱ سانتی‌متر استفاده شد. آزمودنی به صورت درازکش قرار گرفته و پاها به صورت ریلکس و طبیعی قرار گرفتند. به منظور اندازه‌گیری طول پا، دو پا در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از یکدیگر قرار گرفتند. خار خاصره‌ای قدامی فوقانی^۲ با لمس و توسط آزمونگر با یک علامت بر روی لگن مشخص شد. سپس آزمونگر به وسیله متر نواری از نقطه مشخص شده روی خار خاصره‌ای قدامی فوقانی تا زیر قوزک داخلی را اندازه‌گیری کرد. فاصله حاصله به عنوان طول حقیقی پا در نظر گرفته شد (۱۱) و در صورتی که اختلاف حقیقی دو پا از هم بیشتر از ۱ سانتی‌متر بدست می‌آمد، آزمودنی از ادامه تحقیق کنار گذاشته می‌شد.

روش اندازه‌گیری زانوی پرانتری

برای اندازه‌گیری میزان پرانتری بودن پا از کولیس مدل اوسور^۳ ساخت کشور آلمان با دقت ۱ میلی‌متر استفاده شد. برای این کار، ابتدا فرد بدون کفش و جوراب در وضعیت ایستاده قرار گرفت. اندازه‌گیری در حالتی انجام شد که هیچ‌گونه انقباض و تنش غیرطبیعی در عضلات ناحیه ران دیده نمی‌شد، مفصل زانو در حالت باز شده کامل، استخوان کشکک رو به سمت جلو و قوزک‌های داخلی هر دو پا در کنار هم قرار داشتند. در این حالت، فاصله بین دو اپی‌کندیل داخلی^۴ ران به وسیله کولیس ثبت شد (۱۲).

1. G*Power

2. Anterior superior iliac spine (ASIS)

3 OSSUR

4. Medial epicondyle

روش اندازه‌گیری زاویه Q

برای اندازه‌گیری زاویه Q از گونیامتر ساهان^۱ ساخت کشور کره جنوبی با سری ۳۶۰ درجه دارای سه مقیاس کالیبره با ISOM، استفاده شد. برای این کار، زاویه تشکیل‌شده بین دو خط رسم شده از خار خاصه قدامی فوقانی به مرکز کشکک و از مرکز کشکک به برجستگی درشت‌نی مد نظر قرار گرفت. زاویه تلاقی خطوط رسم شده در وضعیت ایستاده و درحالی که لگن در وضعیت طبیعی و زانو در وضعیت باز شده قرار داشت، با استفاده از گونیامتر اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ابتدا خار خاصه قدامی فوقانی، برجستگی درشت‌نی و مرکز کشکک (مرکز کشکک به وسیله نقطه تلاقی خط مرکزی عمودی و خط مرکزی داخلی/خارجی تعیین شد) روی پوست علامت‌گذاری شدند. به این منظور، گونیامتر بر روی مرکز کشکک قرار گرفته و بازوی بلند آن روی خار خاصه قدامی فوقانی و بازوی کوتاه آن روی برجستگی درشت‌نی قرار داده شد. سپس زاویه بین دو بازو بر حسب درجه اندازه‌گیری شد (۱۳).

روش اندازه‌گیری نسبت قدرت عضله همسترینگ به چهارسر ران

برای اندازه‌گیری میزان حداکثر گشتاور عضلات همسترینگ و چهارسر از دستگاه ایزوکینتیک مدل پروفورم^۲ شرکت بایودکس^۳ آمریکا با دقت ۰.۱ نیوتن بر ثانیه استفاده شد. پای برتر آزمودنی با سوال از خود فرد مشخص شد. ابتدا فرد بر روی صندلی دستگاه قرار گرفت. صندلی به صورت مجزا برای هر فرد تنظیم شد و سپس کمربندهای دستگاه برای ثابت ماندن آزمودنی به طور مناسب بسته شدند. پروتکل برای هر آزمودنی به طور کامل توضیح داده شد.

پروتکل مورد استفاده به این صورت بوده است که ابتدا برای به دست آوردن نیروی وارده بر آزمون^۴ از پروتکل کانسنتریک-کانسنتریک در سرعت‌های ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه در ۵ تکرار در سه ست استفاده شد (۱۴). نیروی ورودی به آزمودنی از طرف دستگاه به شکل زیر تنظیم شد:

- Peak torque (flx 60)*1/4
- Peak torque (flx 180)*1/4
- Peak torque (ext 60)*1/4
- Peak torque (ext 180)*1/4

بعد از به دست آمدن این نیرو، با توجه به کار تحقیقاتی که اندازه‌گیری نسبت عضله همسترینگ به چهارسر ران است، آزمودنی باید حداکثر تلاش خود را در پروتکل اکسنتریک-اکسنتریک در دو سرعت ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه در ۵ تکرار در سه ست اجرا می‌کرد. سپس نسبت قدرت همسترینگ به چهارسر رانی که توسط خود دستگاه محاسبه شده بود (در سرعت زاویه‌ای و حالت انقباضی یکسان)، ثبت گردید.

روش اندازه‌گیری فعالیت الکتریکی عضلات

در این پژوهش، فعالیت الکتریکی عضلات همسترینگ و چهارسر ران مورد بررسی قرار گرفت. برای ثبت فعالیت الکتریکی عضلات از دستگاه الکترومیوگرافی^۵ ۱۶ کاناله‌ی ME6000 با مبدل ۱۴ بیتی A/D با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز ساخت

-
1. SAEHAN
 2. Proform
 3. Biodex
 4. Torque
 5. Electromyography (EMG)

شرکت مگاوین^۱ کشور فنلاند استفاده شد. در ابتدا، به‌منظور چسبندگی بهتر الکترودها، موهای نواحی مورد نظر تراشیده و با استفاده از الککل ۷۰ درصد و پنبه تمیز شد. تغییر رنگ پوست به رنگ قرمز روشن، معیاری برای رسیدن به سطح مطلوب امیدانسی پوست^۲ (مقاومت کم پوست) قرار گرفت. همچنین برای کاهش نویزهای احتمالی در هنگام ثبت داده‌ها، سایر دستگاه‌های برقی از دستگاه اندازه‌گیری دور نگه داشته شدند. الکترودهای از جنس کلریت نقره دو قطبی فعال با فاصله مرکز تا مرکز ۲ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. الکترودها براساس پروتکل اروپایی سنپام^۳ بر روی عضلات دوسر رانی (در فاصله ۵۰ درصدی از برجستگی ورکی تا اپی‌کندیل داخلی استخوان ران)، نیم‌وتری (در فاصله ۵۰ درصدی از برجستگی ورکی تا اپی‌کندیل داخلی استخوان ران)، عضله پهن داخلی (در فاصله ۸۰ درصد خط واصل بین خار خاصره قدامی فوقانی و فضای مفصلی در جلوی مرز لیگامنت داخلی) و عضله پهن خارجی (در فاصله دوسوم از خط واصل بین خار خاصره قدامی فوقانی و قسمت خارجی کشکک) قرار گرفت. پس از اتصال الکترودها در جای مناسب و قبل از انجام آزمون اصلی، برای اطمینان از عدم وجود نویزهای ناخواسته، یک ثبت از فعالیت عضلانی در حالت استراحت انجام شد.

این ثبت برای اطمینان از کیفیت سیگنال ثبت‌شده از نظر آرتیفکت و یا نویزهای ناخواسته، تحلیل توسط طیف فرکانسی بر روی آن انجام شد. همچنین، صحت خط پایه ثبت شده مورد بررسی قرار گرفت. در صورت آلودگی سیگنال به فرکانس برق شهر و یا نویز ناخواسته و بزرگی خط پایه از دامنه قله تا قله ۵-۷ میلی‌ولت، سیگنال از نظر محل الکترودگذاری و شرایط ثبت دوباره مورد بررسی قرار گرفت (۱۵). سپس فعالیت الکتریکی هر عضله به طور مجزا ثبت شد.

جهت ثبت فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر رانی در حین حداکثر انقباض ایزومتریک ارادی، آزمودنی به حالت نشسته بر روی تخت قرار گرفته و زانوهای وی به حالت ۹۰ درجه فلکشن از تخت به حالت آویزان قرار گرفت. با یک استرپ پای برتر به پایه تخت بسته شد و از آزمودنی خواسته می‌شد که با فرمان آزمونگر در بازه زمانی ۵ تا ۱۰ ثانیه با حداکثر توان زانوی خود را باز کند.

برای اندازه‌گیری حداکثر انقباض ایزومتریک عضله همسترینگ نیز آزمودنی در حالت خوابیده روی شکم قرار گرفته و مفصل زانو را در ۲۰ درجه فلکشن نگه می‌داشت. از آزمودنی خواسته می‌شد با حداکثر توان خود فلکشن زانو را انجام دهد در حالی که آزمونگر با نگه داشتن پای آزمودنی مانع از انجام این کار می‌شد. برای اندازه‌گیری حداکثر فعالیت الکتریکی عضلات هدف از پروتکلی مشابه با پروتکل مورد استفاده در هنگام کار با دستگاه قدرت‌سنج بایودکس استفاده شد. بدین صورت که الکترودها در محل‌های مورد نظر باقی‌مانده و با پروتکل اکسنتریک-اکسنتریک در سرعت‌های ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه داده‌های مورد نظر ثبت شد. جهت الکترودهای نصب‌شده موازی با جهت فیبرهای عضلات مذکور بوده و الکترود صفر زمین بر روی نزدیک‌ترین برجستگی استخوانی برای هر عضله قرار گرفت. سیگنال‌های ثبت شده با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز، با استفاده از سیستم تعیین پارامتر دامنه مناسب بین فرکانس (۵۰-۱۰۰) هرتز، پایین‌گذر^۴ (۵۰۰ هرتز) و بالاگذر^۵ (۱۰ هرتز) فیلتر شدند. سیگنال‌های فعال عضلات مورد نظر، از طریق ریشه مجذور میانگین^۶ پردازش شدند (۱۶).

1. Megawin

2. Skin Impedance

3. SENIAM

4. Low pass

5. High pass

6. Root Mean Square (RMS)

برای محاسبه حداکثر فعالیت الکتریکی عضلات، مقادیر EMG در طول پروتکل اکستنشن-اکستنشن در هر قله (در هر رفت و برگشت حرکتی) داده‌ها محاسبه گردید و در نهایت میانگین مقادیر حداکثری در نظر گرفته شد. داده‌های خام الکترومیوگرافی با فیلتر باتردارس با فرکانس برشی ۲۰ تا ۵۰۰ هرتز فیلتر و اصلاح شدند. در گام بعدی با یک فیلتر پائین‌گذر فرکانس، برخی داده‌های اصلاح شده و مجدد فیلتر گردید. در گام سوم، حداکثر دامنه EMG در هر رفت و برگشت محاسبه شده و نهایتاً میانگین این مقادیر حداکثری به‌عنوان خروجی ثبت شد.

پروتکل تمرین

تمرین نوردیک همسترینگ با انقباض اکسنتریک همسترینگ و در حالی که مچ پای فرد توسط دستگاه یا یار کمکی ثابت شده، انجام شد. در این تمرین، فرد از مفصل زانو بالاتنه خود را به‌صورت آهسته به طرف پایین و وضعیت دمر (خوابیده روی شکم و سینه) می‌برد و سپس به حالت اولیه بازمی‌گشت (۱۷). برای اجرای پروتکل تمرین نوردیک همسترینگ از پروتکل تمرینی دلپنت^۱ و همکاران (۸) استفاده شد. برای اجرای این پروتکل به مدت ۶ هفته، آزمودنی‌ها به محل تمرین آمدند. در ابتدای هر جلسه تمرینی، آزمودنی‌ها ۱۰ دقیقه به گرم کردن عمومی پرداخته و سپس به اجرای پروتکل تمرین نوردیک همسترینگ پرداختند. نحوه انجام پروتکل در هر هفته و هر جلسه در جدول شماره ۱ شرح داده شده است:

جدول ۱- پروتکل تمرین نوردیک همسترینگ

Table 1- Nordic hamstring exercise protocol

تعداد کل تکرارها در هفته Total Repetitions per Week	تعداد تکرار Repetitions	تعداد ست Sets	تعداد جلسه در هفته Sessions per Week	هفته Week
10	5	2	1	1
24	6	2	2	2
54	6	3	3	3
72	8	3	3	4
90	ست اول × ۱۲، ست دوم × ۱۰، ست سوم × ۸ Set 1: 12, Set 2: 10, Set 3: 8	3	3	5
90	ست اول × ۱۲، ست دوم × ۱۰، ست سوم × ۸ Set 1: 12, Set 2: 10, Set 3: 8	3	3	6

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده از نسخه ۲۲ نرم افزار اس. پی. اس. اس^۲ استفاده شد. از آمار توصیفی و آمار استنباطی به‌منظور تعیین شاخص‌های گرایش مرکزی و پراکندگی و برای نرمال‌سازی داده‌های الکترومیوگراف از حداکثر قدرت انقباض ایزومتریک استفاده شد. به‌منظور بررسی تفاوت بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون از آزمون تی وابسته استفاده شد. سطح معناداری در مطالعه $P < 0.05$ در نظر گرفته شد.

1. Delahunt

2. SPSS

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار مشخصات جمعیت شناختی آزمودنی‌ها (n=۱۲)

Table 2- Average and standard deviation of the demographic characteristics of the subjects (n=12)

متغیر Variable	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation
سن (سال) Age (years)	16.266	±0.246
قد (سانتی‌متر) Height (cm)	173.25	±7.136
وزن (کیلوگرم) Weight (kg)	60.583	±4.077
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع) Body Mass Index (kg/m ²)	20.23	±1.157

نتایج

از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها استفاده شد. نتایج آزمون T وابسته با اندازه‌گیری مکرر برای زاویه Q ($P=0.000$)، نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر ران در حالت اکستشن در سرعت زاویه‌ای ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه (به ترتیب $P=0.001$ و $P=0.023$)، نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر ران در حالت فلکشن در سرعت زاویه‌ای ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه (به ترتیب $P=0.019$ و $P=0.030$) تفاوت‌های معناداری را بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان داد. همچنین، در ارتباط با فعالیت الکتریکی عضلات نیم‌وتری در سرعت زاویه‌ای ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه (به ترتیب $P=0.010$ و $P=0.012$)، سر کوتاه عضله دو سر رانی در سرعت زاویه‌ای ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه (به ترتیب $P=0.000$ و $P=0.0046$)، عضله پهن خارجی در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه بر ثانیه ($P=0.024$) نیز تفاوت‌های معناداری در پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشاهده شد. اما در فعالیت الکتریکی عضله پهن خارجی در سرعت زاویه‌ای ۱۸۰ درجه بر ثانیه ($P=0.286$) و عضله پهن داخلی در سرعت زاویه‌ای ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه (به ترتیب $P=0.077$ و $P=0.245$) تفاوت معناداری یافت نشد.

جدول ۳- اطلاعات مربوط به یافته‌های آزمون ایزوکینتیک و زاویه Q با اندازه‌گیری مکرر

Table 3- Information about isokinetic test and Q angle with repeated measurements

متغیر Variable	وضعیت Condition	سرعت (درجه بر ثانیه) Speed (degree per second)	نوبت آزمون Test Round	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	تغییرات درون گروهی Intra-group Changes	اندازه اثر Effect Size
نسبت قدرت عضله همسترینگ به چهارسر ران (H/Q)	فلکشن Flexion	60	پیش‌آزمون Pre-test	147.11	±29.56	-3.170	0.019
			پس‌آزمون Post-test	156.20	±31.18		
	فلکشن Flexion	180	پیش‌آزمون Pre-test	159.22	±58.46	-2.842	0.003

جدول ۳- اطلاعات مربوط به یافته‌های آزمون ایزوکینتیک و زاویه Q با اندازه‌گیری مکرر

Table 3- Information about isokinetic test and Q angle with repeated measurements

متغیر Variable	وضعیت Condition	سرعت (درجه بر ثانیه) Speed (degree per second)	نوبت آزمون Test Round	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	تغییرات درون گروهی Intra- group Changes	اندازه اثر Effect Size
Hamstring to Quadriceps Strength Ratio (H/Q)	اکستنشن Extension	60	پس آزمون Post-test	176.05	±59.89	-3.048	0.023
			پیش آزمون Pre-test	136.92	±25.13		
			پس آزمون Post-test	140.18	±28.31		
			پیش آزمون Pre-test	115.57	±30.49		
	اکستنشن Extension	180	پس آزمون Post-test	130.57	±31.37	-6.173	0.001
			پیش آزمون Pre-test				
			پس آزمون Post-test				
			پیش آزمون Pre-test	13.7143	±1.27		
زاویه Q Q Angle	-	-	پس آزمون Post-test	15.57	±1.38	13.00	0.00
			پیش آزمون Pre-test				

*سطح معناداری $P < 0.05$

*Significance level $P < 0.05$

جدول ۴- اطلاعات مربوط به یافته‌های فعالیت الکتریکی عضلات با اندازه‌گیری مکرر

Table 4- Information on the findings of electrical muscle activity with repeated measurements

متغیر Variable	سرعت (درجه بر ثانیه) Speed (degree per second)	نوبت آزمون Test Round	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	تغییرات درون گروهی Intra- group Changes	اندازه اثر Effect Size
فعالیت الکتریکی عضله Electrical Activity of Muscle	نیم‌وتری Semitendinosus Muscle	60	پیش آزمون Pre-test	0.64	±0.14	-3.686
			پس آزمون Post-test	0.72	±0.11	
			پیش آزمون Pre-test	0.67	±0.15	
			پس آزمون Post-test	0.77	±0.12	

جدول ۴- اطلاعات مربوط به یافته‌های فعالیت الکتریکی عضلات با اندازه‌گیری مکرر

Table 4- Information on the findings of electrical muscle activity with repeated measurements

متغیر Variable	سرعت (درجه بر ثانیه) Speed (degree per second)	نوبت آزمون Test Round	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	تغییرات درون گروهی Intra- group Changes	اندازه اثر Effect Size
دوسر رانی Biceps Femoris Muscle	60	پیش آزمون Pre-test	0.55	±0.16	-2.511	0.046
		پس آزمون Post-test	0.66	±0.12		
	180	پیش آزمون Pre-test	0.53	±0.15	-8.982	0.000
		پس آزمون Post-test	0.64	±0.14		
پهن خارجی Vastus Lateralis Muscle	60	پیش آزمون Pre-test	0.53	±0.15	-2.966	0.024
		پس آزمون Post-test	0.58	±0.15		
	180	پیش آزمون Pre-test	0.59	±0.23	-1.170	0.286
		پس آزمون Post-test	0.64	±0.16		
پهن داخلی Vastus Medialis Muscle	60	پیش آزمون Pre-test	0.68	±0.95	-2.129	0.077
		پس آزمون Post-test	0.72	±0.93		
	180	پیش آزمون Pre-test	0.74	±0.17	-1.289	0.245
		پس آزمون Post-test	0.77	±0.13		

*سطح معناداری $P < 0.05$

*Significance level $P < 0.05$

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیقات نشان می‌دهد تمرین نوردیک همسترینگ در پیشگیری از آسیب استرین همسترینگ نقش بسزایی ایفا می‌کند؛ لذا امروزه از تمرین نوردیک همسترینگ به عنوان محبوب‌ترین تمرینات پیشگیری از آسیب همسترینگ یاد می‌شود (۱۸، ۱۹). مطالعات پیشین بیان داشته‌اند که علت عدم تعادل در نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر ران، ضعف در گروه عضلات همسترینگ می‌باشد (۲۰).

در همین زمینه، آکتوگ و همکاران^۱ با بررسی ۸ هفته تمرین نوردیک همسترینگ بر روی ۲۲ فوتبالیست آماتور به این نتیجه رسیدند که تمرین نوردیک همسترینگ سبب افزایش نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر ران می‌شود (۲۱).

1. Aktug

نتایج مطالعات پولارد^۱ و همکاران نیز نشان می‌دهد این تمرین موجب افزایش قابل توجه قدرت اکسنتریک عضلات فلكسور زانو و طول عضله دو سر رانی می‌شود (۲۲). ون در هورست^۲ و همکاران، ۵۷۹ فوتبالیست آماتور را بعد از انجام ۱۳ هفته تمرین نوردیک همسترینگ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد علاوه بر افزایش نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر، به طور چشمگیری این تمرین سبب کاهش آسیب‌های مرتبط با عضله همسترینگ در این فوتبالیست‌ها شده است (۲۳). همچنین ام. جولسنس^۳ و همکاران با انجام ۱۰ هفته پروتکل نوردیک بر روی فوتبالیست‌ها گزارش کردند که تمرین نوردیک همسترینگ سبب افزایش نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر می‌شود (۲۴). در همین راستا، نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که نسبت قدرت عضله همسترینگ به عضله چهارسر ران بعد ۶ هفته تمرین نوردیک همسترینگ در دو سرعت زاویه‌ای ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثابته افزایش پیدا کرده است که با نتایج مطالعات پیشین همسو می‌باشد.

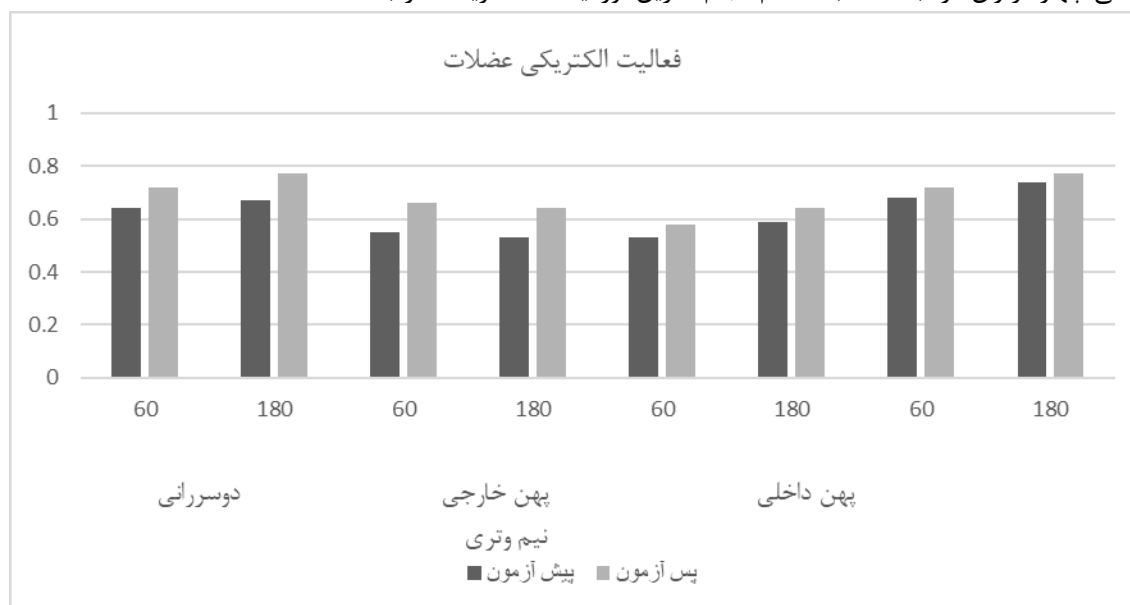
مطالعه حاضر همچنین نشان داد که ۶ هفته تمرین نوردیک همسترینگ بر میزان زاویه Q نیز اثر مثبت قابل توجهی داشته و باعث افزایش این زاویه شده است. این افزایش زاویه را می‌توان به افزایش قدرت عضله دوسر رانی، عضله نزدیک‌کننده ران و عضله نیم‌وتتری مرتبط دانست. مطالعات جعفرنژاد^۴ و همکاران نشان داد که ۱۶ هفته تمرینات اصلاحی مداوم، می‌تواند چرخش داخلی زانو را افزایش و چرخش خارجی ران را کاهش دهد و سبب بهبود زاویه Q شود (۲۵). همچنین، در مطالعه تاثیر ۶ هفته تمرینات اصلاحی با کشش و تراباند که توسط یو^۵ و همکاران انجام شده، نشان داده شده است که این تمرینات نیز باعث افزایش زاویه Q می‌شود (۲۶) که با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

چندین مطالعه نشان می‌دهد بین قدرت عضلانی و میزان فعالیت الکترومیوگرافی عضلات رابطه مستقیمی وجود دارد (۲۷، ۲۸). مشخص شده است که تمرین نوردیک همسترینگ می‌تواند سبب افزایش فعالیت الکتریکی عضلات همسترینگ شود (۸). علت این افزایش فعالیت الکتریکی عضلات همسترینگ را احتمالاً می‌توان به دلیل افزایش قدرت عضلات نیم‌وتتری و سر کوتاه عضله دوسر رانی دانست. تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که در تمرین نوردیک همسترینگ، عضلات نیم‌وتتری و سر کوتاه عضله دوسر رانی بیشترین فعالیت الکتریکی را دارند (۹). تحقیقات نشان می‌دهد افزایش فعالیت الکتریکی عضلات همسترینگ می‌تواند در پیشگیری از بروز آسیب در این عضله مؤثر باشد (۲۹).

دلاهان^۶ و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر تمرین نوردیک همسترینگ بر فعالیت الکتریکی عضله نیم‌وتتری پرداختند؛ نتایج نشان داد تمرین نوردیک باعث افزایش معنادار فعالیت الکتریکی عضله نیم‌وتتری و سر کوتاه عضله دوسر رانی می‌شود (۸). همچنین این مطالعه نشان داد که ۶ هفته تمرین نوردیک همسترینگ درصد فعالیت عضله نیم‌وتتری را از ۵۷ درصد به ۸۳ درصد حداکثر انقباض ارادی افزایش می‌دهد (۸). این امر در تحقیق حاضر نیز بعد از انجام ۶ هفته تمرین نوردیک همسترینگ مشاهده شد و نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات گذشته همسو بوده است. همچنین، نتایج مطالعه حاضر نشان داده

-
1. Pollard
 2. Van der Horst
 3. Mjølunes
 4. Jafarnezhad
 5. Yu
 6. Delahunt

است که تمرین نوردیک همسترینگ سبب افزایش فعالیت الکتریکی عضله پهن مورب خارجی در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه بر ثانیه شده، در حالی که تأثیری بر فعالیت الکتریکی این عضله در سرعت زاویه‌ای ۱۸۰ درجه بر ثانیه و همچنین فعالیت الکتریکی عضله پهن مورب داخلی در هر دو سرعت ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه نداشته است. افزایش میزان فعالیت الکتریکی عضله پهن مورب خارجی در سرعت زاویه‌ای ۶۰ درجه بر ثانیه را می‌توان به تقویت نسبی این عضله با توجه به نقش گروه عضلانی چهارسر ران در ثبات تنه به هنگام انجام تمرین نوردیک همسترینگ مرتبط دانست (۳۰).



شکل ۱- میزان فعالیت الکتریکی عضلات در سرعت‌های زاویه‌ای ۶۰ و ۱۸۰ درجه بر ثانیه از حداکثر انقباض ارادی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

Figure 1- The amount of electrical activity at angular speeds of 60 and 180 degrees per second from the maximum voluntary contraction in the pre-test and post-test

مطالعات گذشته حاکی از آن‌اند که تمرینات نوردیک همسترینگ بر تغییر فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر ران و همسترینگ موثر است. اما با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که تمرین نوردیک همسترینگ می‌تواند سبب بهبود زاویه Q، افزایش نسبت قدرت عضله همسترینگ به چهارسر ران و افزایش فعالیت الکتریکی عضلات همسترینگ شود. با وجود اینکه تفاوتی در میزان قدرت عضلات چهارسر ران در پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشاهده نشده است، اما با توجه به تأثیر این تمرین بر روی قدرت عضلات همسترینگ و بهبود زاویه Q، می‌توان نتیجه گرفت که این تمرین می‌تواند در پیشگیری از آسیب‌های ناشی از این عوامل اثربخش باشد.

پیام مقاله

این پژوهش بررسی کرد که چگونه یک برنامه‌ی شش‌هفته‌ای تمرینات نوردیک همسترینگ می‌تواند برای فوتبالیست‌های نوجوانی که دچار پای پرانتری (جنوواروم) هستند مفید باشد؛ وضعیتی که می‌تواند خطر آسیب به عضلات پشت ران را افزایش

دهد. نتایج نشان داد بهبودهای قابل توجهی رخ داده است: تراز زانو به سمت حالت بهینه حرکت کرده، نسبت قدرت بین عضلات همسترینگ و چهارسر ران به تعادل سالم‌تری رسیده و فعالیت عضلات کلیدی همسترینگ افزایش یافته است. این تغییرات نشان‌دهنده‌ی هماهنگی بهتر عضلانی و کنترل مفصل هستند، که هر دو در جلوگیری از آسیب هنگام حرکات سریع مانند دویدن یا تغییر جهت ناگهانی اهمیت دارند. با این حال، تمرین نوردیک تأثیر چندانی بر یکی از عضلات داخلی ران نداشت و این موضوع نشان می‌دهد که شاید انجام تمرینات تکمیلی برای رشد متوازن تمام گروه‌های عضلانی ضروری باشد. در مجموع، یافته‌ها تمرین نوردیک را به‌عنوان ابزاری کاربردی و کم‌هزینه معرفی می‌کنند که می‌تواند به برنامه‌های تمرینی نوجوانان فوتبالیست افزوده شود تا عملکردشان را بهبود بخشد و خطر آسیب را کاهش دهد. همچنین، مطالعه پیشنهاد می‌کند که تحقیقات بیشتری در مورد تأثیر بلندمدت این برنامه و اثرات آن در میان گروه‌های متنوع‌تری از ورزشکاران انجام شود.

تشکر و قدردانی

از تمامی آزمودنی‌های شرکت‌کننده در این پژوهش و والدین محترم آن‌ها جهت همکاری با این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع

1. Thaller PH, Fürmetz J, Chen F, Degen N, Manz KM, Wolf F. Bowlegs and intensive football training in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Dtsch Arztebl Int.* 2018;115(24):401-08.
2. Videmšek M, Klopčič P, Štihec J, Karpljuk D. The analysis of the arch of the foot in three-year-old children—a case of Ljubljana. *Kinesiology.* 2006;38(1):78-85.
3. Namavarian N, Rezasoltani A, Rekabizadeh M. A study on the function of the knee muscles in genu varum and genu valgum. *Mod Rehabil.* 2014;8(3):1-9..
4. Witvrouw E, Danneels L, Thijs Y, Cambier D, Bellemans J. Does soccer participation lead to genu varum? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009; 17:422-7.
5. Ghasemi, G., Sheibani, N., ghaderiyan, M. The effect of 12 weeks of theraband training on the knee position, Q angle and postural control in persons with genu varum. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*, 2018; 5(10): 19-33. (Persian)
6. Dai B, Mao D, Garrett WE, Yu B. Anterior cruciate ligament injuries in soccer: Loading mechanisms, risk factors, and prevention programs. *J Sport Health Sci.* 2014;3(4):299-306.
7. Park SR, Ro HL, Namkoong S. The effect of stretching and elastic band exercises knee space distance and plantar pressure distribution during walking in young individuals with genu varum. *J Korean Soc Phys Med.* 2017;12(1):83-91.
8. 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;116:663-72.
9. Narouei S, Imai A, Akuzawa H, Hasebe K, Kaneoka K. Hip and trunk muscles activity during nordic hamstring exercise. *J Exerc Rehabil.* 2018;14(2):231-8.
10. Espandar R, Mortazavi SMJ, Baghdadi T. Angular deformities of the lower limb in children. *Asian J Sports Med.* 2010;1(1):46-53.
11. Sabharwal S, Kumar A. Methods for assessing leg length discrepancy. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(12):2910-22.
12. Gibson K, Sayers SP, Minor MA. Measurement of varus/valgus alignment in obese individuals with knee osteoarthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2010;62(5):690-6.
13. Khasawneh RR, Allouh MZ, Abu-El-Rub E. Measurement of the quadriceps (Q) angle with respect to various body parameters in young Arab population. *PLoS One.* 2019;14(6): e0218387.

14. 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;26(2):231-7.
15. De Luca CJ. Surface electromyography: Detection and recording. *DelSys Inc.* 2002;10(2):1-10.
16. Hegyi A, Lahti J, Giacomo J-P, Gerus P, Cronin NJ, Morin J-B. Impact of hip flexion angle on unilateral and bilateral nordic hamstring exercise torque and high-density electromyography activity. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2019;49(8):584-92.
17. Cuthbert M, Ripley N, McMahon JJ, Evans M, Haff GG, Comfort P. The effect of Nordic hamstring exercise intervention volume on eccentric strength and muscle architecture adaptations: a systematic review and meta-analyses. *Sports Med.* 2020;50(1):83-99.
18. Krommes K, Petersen J, Nielsen MB, Aagaard P, Hölmich P, Thorborg K. Sprint and jump performance in elite male soccer players following a 10-week Nordic Hamstring exercise Protocol: a randomised pilot study. *BMC Res Notes.* 2017;10(1):669.
19. Freeman BW, Young WB, Talpey SW, Smyth AM, Pane CL, Carlon TA. The effects of sprint training and the Nordic hamstring exercise on eccentric hamstring strength. *J Sports Med Phys Fitness.* 2019;59(7):1119-25.
20. Arabjafari, Z., Fatahi, H., Shamshekhohan, P. The effect of 8 weeks combined exercises (core stability and theraband) on distance of knee medail condyles, Q angle and endurance of core muscles in adolescent students with genu varum. *Journal for Research in Sport Rehabilitation*, 2020; 8(15): 101-3. (Persian)
21. Aktug ZB, Yilmaz AK, Ibis S, Aka H, Akarçesme C, Sökmen T. The Effect of 8-Week Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Quadriceps Ratio and Hamstring Muscle Strength. *World J Educ.* 2018;8(3): 162-9.
22. Pollard CW, Opar DA, Williams MD, Bourne MN, Timmins RG. Razor hamstring curl and Nordic hamstring exercise architectural adaptations: impact of exercise selection and intensity. *Scand J Med Sci Sports.* 2019;29(5):706-15.
23. Van der Horst N, Smits D-W, Petersen J, Goedhart EA, Backx FJ. The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2015;43(6):1316-23.
24. Mjølunes R, Arnason A, Østhaugen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14(5):311-7.
25. Jafarnejadgero A, Majlesi M, Etemadi H, Hilfiker R, Knarr B, Shad MM. Effect of 16-week corrective training program on three dimensional joint moments of the dominant and non-dominant lower limbs during gait in children with genu varus deformity. *Sci Sports.* 2020;35(1):44.e1-.e11.
26. Yu B-K, Kim E-H. The effects of the correction exercise program combined with stretching and elastic band exercise on femoral intercondylar distance, Q-angle, plantar pressure in undergraduate with genu varum. *J Korea Acad-Ind Coop Soc.* 2015;16(3):2064-72.
27. Li H, Zhao G, Zhou Y, Chen X, Ji Z, Wang L. Relationship of EMG/SMG features and muscle strength level: an exploratory study on tibialis anterior muscles during plantar-flexion among hemiplegia patients. *Biomed Eng Online.* 2014;13(1):1-15.
28. Watanabe K, Kouzaki M, Ogawa M, Akima H, Moritani T. Relationships between muscle strength and multi-channel surface EMG parameters in eighty-eight elderly. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2018;15(1):1-10.
29. Huygaerts S, Cos F, Cohen DD, Calleja-González J, Guitart M, Blazevich AJ, et al. Mechanisms of hamstring strain injury: interactions between fatigue, muscle activation and function. *Sports.* 2020;8(5):65.
30. Hiyama Y, Asai T, Wada O. Effect of improvement in quadriceps strength asymmetry on trunk movement asymmetry after total knee arthroplasty. *Gait Posture.* 2020; 79:21-5.