



Effectiveness of Neuromuscular Exercises on Static and Dynamic Balance in Male Adolescents with Genu Valgum Deformity

Nima Djavadi¹  , Mohammadhosein Alizadeh (Ph.D)^{*2}  , Amirhosein Barati (Ph.D)³  

¹ Ph.D Candidate in Sports Injury and Corrective Exercises, Department of Sport Sciences, Kish International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran. ² Professor, Faculty of Sport and Health Sciences, Department of Sports Injury and Biomechanics, University of Tehran, Tehran, Iran. ³ Associate Professor, Sports Medicine Specialist, Department of Health and Rehabilitation, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Research Article

Abstract

Background and Objective: Given the prevalence of genu valgum deformity and its impact on static and dynamic balance in growing adolescents, this study aimed to determine the effectiveness of neuromuscular exercises on static and dynamic balance of male adolescents with genu valgum deformity.

Methods: This quasi-experimental study was conducted on 24 non-athlete students aged 12 to 14 years with genu valgum deformity. The participants were recruited from corrective exercise centers in District 1 of Velenjak and District 20 of the city of Rey in 2023. Subjects were divided into two groups of 12: A control group and an exercise group. The single-leg balance test and the Y-balance test were used to assess static and dynamic balance in various directions. The corrective exercise program consisted of 12 weeks of neuromuscular exercises, designed in three phases based on varying repetitions, sets, and intensities.

Results: The static and dynamic balance of the exercise group exhibited a statistically significant improvement in the anterior, posteromedial, and posterolateral directions compared to the control group ($P < 0.05$).

Conclusion: The neuromuscular corrective exercise program led to an improvement in both static and dynamic balance in adolescents with genu valgum deformity.

Keywords: Genu Valgum, Exercise Therapy, Postural Balance

*Corresponding Author: Mohammadhosein Alizadeh (Ph.D), E-mail: alizadehm@ut.ac.ir



Received 7 Oct 2024 Received in revised form 8 Jan 2025 Accepted 27 Jan 2025 Available Online 3 Jul 2025

Cite this article as: Djavadi N, Alizadeh M, Barati A. [Effectiveness of Neuromuscular Exercises on Static and Dynamic Balance in Male Adolescents with Genu Valgum Deformity]. J Gorgan Univ Med Sci. 2025; 27(2): 21-32. [Article in Persian]





Introduction

Genu valgum deformity is a prevalent knee joint anomaly characterized as a structural misalignment of the tibia relative to the femur. Identifying effective methods for preventing its secondary complications and improving the efficiency of the knee-area musculature is crucial. An increased knee angle, or genu valgum deformity, alters natural body alignment, leading to shifts in the body's center of gravity and imposing limitations on the proper control of both static and dynamic balance. Static and dynamic balance, defined as the ability to maintain a body position, such as standing or sitting, or to control posture during movements like reaching for an object or walking, both are essential and important for motor abilities. Studies report that individuals with genu valgum deformity exhibit poorer performance in balance recovery. Given that impairments in both static and dynamic balance can heighten the risk of injury during physical activities, this finding is particularly significant.

The passive (osseous-ligamentous), active (muscles), and control (nervous system responsible for sensorimotor control) subsystems are defined as three influential subsystems affecting balance. The complications of genu valgum deformity vary within each of these subsystems. The passive subsystem involves misalignment of bones from the pelvis to the ankle, encompassing femoral anteversion, ankle pronation, reduced medial longitudinal arch (pes planus), patellar dislocation, joint instability, cartilage degradation, and ultimately, premature osteoarthritis. Complications related to the active subsystem in genu valgum deformity include weakness of the hip abductor muscles (gluteal and fascia lata muscles), increased quadriceps force on the patella, increased inward tensile force, increased compressive force, and premature fatigue during gait. Complications of genu valgum deformity within the neuromuscular subsystem include a decrease in balance index, altered center of pressure, modified muscle activation patterns, altered motor patterns, and impaired motor performance. In essence, any alteration in the alignment of the knee joint, or its proximal and distal joints, can negatively impact knee alignment and motor patterns, resulting in deviations from normal motor patterns.

There are various approaches to prevent, reduce potential complications, and rehabilitate injuries associated with this malalignment, including surgical methods, orthoses, and exercise-based interventions, such as resistance band exercises and corrective movements and games. Among these methods, exercise programs are considered among the safest and most effective corrective approaches. Due to their efficacy, ease of instruction, and low cost, exercise programs can be utilized for correcting certain musculoskeletal disorders and their resulting complications. Due to the presence of chain reactions, the entire body should be regarded as a single, unified system, and instead of focusing locally on one area, attention should be directed toward muscle chains based on the sensorimotor system. This study was conducted to determine the effectiveness of neuromuscular exercises on static and dynamic balance of male adolescents with genu valgum deformity.

Methods

This quasi-experimental study was conducted in 2023 on 24 non-athlete students aged 12 to 14 years with genu valgum deformity. The participants were recruited from corrective exercise centers in District 1 of Velenjak and District 20 of Shahr-e-Rey, Tehran.

The tools used in this study comprised a checkerboard (for initial screening), a stadiometer, a scale, calipers, a stopwatch, a Y-balance test kit, a consent form, TheraBand resistance bands,

and tennis balls.

Subject height was measured to the nearest millimeter using a stadiometer. A consent and personal information form was employed to gather information concerning age, height, weight, and injury history, and to obtain informed consent from the subjects. For the clinical measurement of genu valgum deformity using calipers, the subject was positioned standing without shoes or socks, ensuring their knees and thighs were visible and there was no contraction in the thigh muscles. The knees were in full extension, with both patellae facing forward. The distance between the medial malleoli of the ankles was then measured and recorded using a caliper. Values less than 2.5 cm were classified as Grade 1, 2.5-5 cm as Grade 2, 5-7.5 cm as Grade 3, and greater than 7.5 cm as Grade 4.

Static Balance Measurement: Static balance was assessed using the single-leg stance test, measured with a stopwatch.

Dynamic Y-Balance Test: To evaluate the participants' dynamic balance, the Y-balance test was utilized. The objective of this test is to maintain single-leg balance while reaching with the elevated leg in three directions: Anterior, posteromedial, and posterolateral.

Exercise Program: The neuromuscular exercise program emphasized three phases: Non-weight-bearing exercises, weight-bearing exercises, and functional exercises. The primary goal of phase one, i.e., non-weight-bearing exercises, which spanned weeks one to four, was to familiarize the subjects with the exercises and elicit initial, low-intensity contractions from the aforementioned muscle groups, thereby engaging these muscles. This phase saw the least amount of progression, as its objective was to alleviate contractions in specific muscles and to facilitate the learning of correct motor patterns for each muscle group. Phase one exercises were discontinued after the fourth week (considering the principle of exercise progression and exercise variety), and the subjects entered phase two, performing new exercises. The phase two, spanning weeks 4 to 8, aimed to implement weight-bearing exercises. This phase encompassed the core of the exercise program and incorporated progressive exercise aiming at fostering adaptation and correcting abnormalities. Similar to phase one, the emphasis in phase two was on the quality of exercise execution (performing exercises without errors and progressing from simple to complex). Exercise progression also involved increasing the duration and repetitions of exercises, with the most significant increases aimed at improving muscle strength and control over lower extremity movements. During this phase, an effort was made to engage the muscle groups activated in the previous stage in the correct sequence (utilizing muscles involved in correcting genu valgum deformity, such as the gluteal muscles and the medial knee musculature) and in the proper chain. Finally, in phase three, i.e., functional exercise, spanning weeks 9 to 12, aimed to maximize the impact on neuromuscular control, improve movement control (progressing from simple to complex exercises), and maintain proper alignment (requiring activation of the entire lower extremity, pelvic, and trunk musculature during more complex and challenging exercises) in the participants when performing functional tests. The exercise design was based on the American College of Sports Medicine (ACSM) guidelines for children aged 6 to 17 years, which recommend a minimum of 60 minutes of daily physical activity at moderate to vigorous intensity. The exercise program was structured into three phases, including preparatory, advanced, and maintenance, spanning the initial four weeks and the subsequent eight weeks, with an ideal frequency of three to four sessions per week. The intensity of resistance exercises was set within the range of six to twelve repetitions, up to the threshold



of endurance exercises. Contraction and stretching exercises were standardized at 10 to 20 seconds per repetition for two to four repetitions, accumulating to 60 seconds per movement. The ideal exercise duration was planned to be 20 to 40 minutes, excluding warm-up and cool-down, with a safe range of 2 to 4 sets. Participants were instructed to discontinue the exercise and inform the instructor if they experienced fatigue exceeding 60%, culminating in their exclusion from the study. In the present study, no participant encountered this condition.

Results

A significant difference and change were observed in the static balance post-tests between the control and exercise groups when comparing their post-tests (after controlling for pre-test scores as confounding variables) ($P < 0.001$). Similarly, a significant difference and increase were noted in the dynamic balance post-tests between the control and exercise groups (after controlling for pre-test scores as confounding variables) in the anterior ($P < 0.004$), posteromedial ($P < 0.001$), and posterolateral ($P < 0.020$) directions.

Intragroup analysis revealed that the exercise group exhibited a significant increase in static balance when comparing pre-test to post-test scores ($P < 0.001$). In contrast, the control group did not demonstrate any significant differences or changes in static balance between pre-test and post-test scores. According to the intragroup analysis of dynamic balance between the control and exercise groups, the exercise group demonstrated greater reach in the post-test compared to the pre-test in the anterior ($P < 0.005$), posteromedial ($P < 0.001$), and posterolateral ($P < 0.017$) directions, leading to significant differences and changes. However, the control group showed no significant change or difference in dynamic balance in any of the anterior, posteromedial, or posterolateral directions when comparing pre-test to post-test scores.

Conclusion

Based on the findings of the current study, intragroup analysis of static balance between the two groups revealed that the exercise group demonstrated improved performance and recorded longer times in the post-test of static balance compared to the pre-test, ultimately leading to a significant increase in their static balance. Furthermore, a significant difference and change were observed between the control and exercise groups in the post-test scores of dynamic balance in the anterior, posteromedial, and posterolateral directions.

According to the Sensory Organization Hypothesis, the central nervous system is able to regulate balance by processing data from the visual, vestibular, and proprioceptive systems. This implies that maintaining balance in a closed kinetic chain relies on coordinated motor strategies and feedback among the femoral, knee, and ankle joints. Consequently, a reduction in afferent feedback or a decrease in the strength and mechanical stability of any single joint, or the entire lower extremity kinetic

chain, can impair balance. Thus, disruptions in sensory data (often resulting from changes in knee alignment) that provide information about body position and orientation, can ultimately give rise to instability and imbalance. The effectiveness of neuromuscular exercises on balance may be attributed to the fact that the closed kinetic chain neuromuscular exercises employed stimulate mechanoreceptors in the lower extremity joints and muscles. The probable improvement in both static and dynamic balance is likely due to enhanced mechanoreceptor function and subsequent improvement in neuromuscular control.

Given the impact of genu valgum deformity on mechanical deviation, the neuromuscular corrective exercise program in the present study focused not only on strengthening muscles involved in the condition (specifically, the lower segments of the inverter and supinator muscles, particularly the tibialis posterior, and the upper segments of the external rotators and abductors) but also aimed to enhance neuromuscular control through exercise incorporating neuromuscular components. The program avoided solely concentrating on strengthening specific muscle groups. To achieve this, the present neuromuscular exercise program was implemented with an emphasis on three phases: Non-weight-bearing exercises, weight-bearing exercises, and functional exercises. Indeed, by comprehensively engaging both the distal and proximal muscles and joints of the affected area, the aim was to induce adaptation and correct abnormalities.

Ethical Statement

This study received approval from the Research Ethics Committee at the Sports Sciences and Physical Education Research Institute (IR.SSRC.REC.1402.178). Written informed consent was obtained from the parents of all participants prior to their participation in the study.

Funding

This article has been extracted from the doctoral dissertation of Dr. Nima Javadi in Sport Pathology and Corrective Exercises from Kish International Campus, University of Tehran. This study received no institutional funding.

Authors' Contributions

Nima Djavadi: Project execution, data collection, data analysis, and drafting of the initial manuscript.

Mohammadhosein Alizadeh: Project administration and design, interpretation of the results, and approval of the final manuscript.

Amirhosein Barati: Project administration and design, interpretation of the results, and approval of the final manuscript.

Conflicts of Interest

No conflicts of interest.

Acknowledgments

We would like to thank all participants in the study and those who assisted us in conducting it.

The findings of this study indicate that 12 weeks of neuromuscular corrective exercises can be effective in improving both static and dynamic balance in male adolescents with genu valgum deformity. Given that these individuals are still in their growth phase, it appears essential to prioritize preventative measures, rehabilitation, and correction of genu valgum deformity to further enhance and promote their balance.



تحقیقی

اثر بخشی تمرینات عصبی عضلانی بر تعادل ایستا و پویا پسران نوجوان دارای زانوی ضربدري

نیما جوادی^۱ ، دکتر محمدحسین علیزاده^{۲*} ، دکتر امیرحسین براتی^۳ 

۱ دانشجوی دکتری تخصصی گروه علوم ورزشی، پردیس بین المللی کیش دانشگاه تهران، تهران، ایران. ۲ استاد، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، گروه آسیب شناسی ورزشی و بیومکانیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ۳ دانشیار، متخصص پزشکی ورزشی، گروه تندرستی و بازتوانی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به شیوع ناهنجاری زانو ضربدري و اثرگذاری آن بر تعادل ایستا و پویا در نوجوانان در حال رشد، این مطالعه به منظور تعیین اثربخشی تمرینات عصبی عضلانی بر تعادل ایستا و پویا پسران نوجوان دارای زانوی ضربدري انجام شد.

روش بررسی: این مطالعه شبه تجربی روی ۲۴ دانش آموز غیرورزشکار ۱۲ تا ۱۴ سال دارای زانو ضربدري در کانون حرکات اصلاحی منطقه ۱ ولنجک و منطقه ۲۰ شهر ری طی سال ۱۴۰۲ انجام شد. آزمودنی‌ها در دو گروه ۱۲ نفری کنترل و تمرین قرار گرفتند. از آزمون تعادل ایستادن روی یک پا و تعادل Y برای ارزیابی تعادل ایستا و پویا در جهات مختلف استفاده گردید. برنامه تمرینات اصلاحی شامل ۱۲ هفته تمرین عصبی عضلانی بود که در سه مرحله و براساس تکرار، دوره‌ها و شدت‌های مختلف طراحی شد.

یافته‌ها: تعادل ایستا و پویا گروه تمرین در جهات قدامی، خلفی / داخلی و خلفی / خارجی در مقایسه با گروه کنترل افزایش آماری معنی‌داری نشان داد ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: برنامه تمرینات اصلاحی عصبی عضلانی موجب بهبود تعادل ایستا و پویا نوجوانان دارای زانوی ضربدري شد.

واژه‌های کلیدی: زانوی ضربدري، تمرین درمانی، تعادل وضعیتی

* نویسنده مسؤول: دکتر محمد حسین علیزاده، پست الکترونیکی: alizadehm@ut.ac.ir

نشانی: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، تلفن ۶۱۱۸۸۹۵-۰۲۱

وصول ۱۴۰۳/۷/۱۶ اصلاح نهایی ۱۴۰۳/۱۰/۱۹ پذیرش ۱۴۰۳/۱۱/۸ انتشار ۱۴۰۴/۴/۱۲

مقدمه

نگهداری یک وضعیت بدنی مانند وضعیت ایستاده یا نشسته و یا کنترل قامت در طی حرکاتی مانند رسیدن به یک شیء یا راه رفتن تعریف شده که هر دوی آنها برای توانایی‌های حرکتی ضروری و مهم هستند.^۱ براساس گزارش مطالعات، افراد با زانوی ضربدري، عملکرد ضعیف‌تری در بازیابی تعادل داشتند^۲ و با توجه به این که اختلال در تعادل ایستا و پویا می‌تواند سبب افزایش خطر بروز آسیب دیدگی هنگام فعالیت‌های ورزشی شود؛ لذا تشخیص به‌هنگام و تعیین نواقص تعادلی برای بازتوانی و پیشگیری از کاهش عملکرد و آسیب‌های ناشی از افتادن مهم هستند.^۳

زیرسیستم‌های غیرفعال (استخوانی-لیگامنتی)، فعال (عضلات) و کنترلی (سیستم عصبی عهده‌دار کنترل حسی حرکتی) به‌عنوان سه زیرسیستم اثرگذار بر تعادل تعریف شده‌اند^۴ که عوارض زانو ضربدري در هر کدام از این زیرسیستم‌ها متفاوت است. در زیرسیستم غیرفعال شامل ناراستایی استخوان‌ها از لگن تا مچ پا، آنتی‌ورژن ران، پرونیشن مچ پا، کاهش قوس کف پای، دررفتگی

زانوی ضربدري (Genu Valgum Deformity) یکی از شایع‌ترین ناهنجاری‌های مفصل زانو بوده که به عنوان اختلال ساختاری در همراستایی استخوان درشت‌نی روی ران تعریف می‌شود.^۱ شیوع این ناهنجاری در کشورهای اندونزی، هند، ایران و برزیل به ترتیب ۳۸، ۳۴، ۲۸ و ۷ درصد گزارش شده است.^۲ با توجه به میزان گسترش و شیوع ناهنجاری مذکور، یافتن روش‌های مناسب برای پیشگیری از آسیب‌های ثانویه آن و بهبود کارایی عضلات ناحیه زانو از اهمیت زیادی برخوردار است.^۳ از آنجایی که یکی از وظایف مفصل زانو، تحمل وزن و جذب بار در حرکات ایستا و پویا بوده و نقش منحصر به فردی را در ایجاد تعادل اندام تحتانی ایفا می‌کند؛ ممکن است دچار نقص و آسیب‌هایی در این رابطه شود. افزایش زاویه زانو یا زانو ضربدري با ایجاد تغییراتی در راستای طبیعی وضعیت بدنی، سبب تغییر در راستای مرکز ثقل بدن و ایجاد محدودیت در کنترل صحیح تعادل ایستا و پویا می‌شود.^۴ تعادل ایستا و پویا به‌عنوان توانایی

خطر زای آسیب مطالعه کردند و نتایج نشان‌دهنده تغییر این عوامل در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل بود.^{۱۷} در بررسی ادبیات پیشینه ناهنجاری زانوی ضربدری، محقق مطالعه‌ای را که در آن اثربخشی تمرینات عصبی عضلانی بر زانوی ضربدری بررسی شده باشد؛ یافت نشد و غالب مطالعات انجام شده در این زمینه، تنها از رویکرد سنتی و رایج در اصلاح این ناهنجاری استفاده کرده‌اند. همچنین برنامه‌های تمرینی آنها به صورت عمومی طراحی شده و بدون نظارت دقیق (به صورت گروهی یا در منزل) انجام شده‌اند که این مسأله اثربخشی مطلوب اینگونه تمرینات اصلاحی را با تردید روبرو می‌سازد. در همین راستا در مطالعات پیشین توجه کمتری به اصول طراحی تمرین، نظیر تقدم تمرینات زنجیره بسته به باز، تقدم تمرینات فازییک به تونیک، اعمال راستای صحیح و مهار متقابل شده است.^{۱۹،۱۸} این مطالعه به منظور تعیین اثربخشی تمرینات عصبی عضلانی بر تعادل ایستا و پویا پسران نوجوان دارای زانوی ضربدری انجام شد.

روش بررسی

این مطالعه شبه تجربی روی ۲۴ دانش‌آموز غیرورزشکار ۱۲ تا ۱۴ سال دارای زانو ضربدری در کانون حرکات اصلاحی منطقه یک ولنجک و منطقه ۲۰ شهر ری طی سال ۱۴۰۲ انجام شد.

آزمودنی‌ها به روش نمونه‌گیری در دسترس (هدفمند) انتخاب شدند و براساس معیارهای ورود و خروج در دو گروه تمرین و کنترل بر پایه متغیر زانوی ضربدری، مطالعات مرتبط در این زمینه^{۹،۶} و با استفاده از نرم‌افزار جی پاور با آلفای ۰/۰۵ و توان آماری ۰/۹۵، حجم نمونه ۲۱ نفر برای ورود به مطالعه تعیین گردید که این تعداد با توجه به احتمال ریزش ۱۵ درصدی آزمودنی‌ها در فرآیند مطالعه، هر گروه ۱۲ نفر و مجموعاً ۲۴ نفر در نظر گرفته شدند.

معیارهای ورود به مطالعه شامل دانش‌آموزان پسر دارای زانوی ضربدری در دامنه سنی ۱۲ تا ۱۴ سال دارای شاخص توده بدنی بین ۱۸/۵ تا ۲۵ بودند. زانو ضربدری براساس غربالگری وضعیت بدنی و اندازه‌گیری فاصله دو قوزک داخلی پا که حداقل ۲/۵ و حداکثر ۷/۵ سانتی‌متر (درجه ۲ و ۳ ناهنجاری) بودند.^{۲۰} همچنین نداشتن سابقه ورزش منظم، عدم مصرف داروهای آرام‌بخش در طول ۴۸ ساعت قبل از آزمون تعادل، عدم وجود هر گونه درد و خستگی در زمان آزمون تعادل، از دیگر معیار ورودهای به مطالعه بودند.^{۲۱}

معیار عدم ورود به مطالعه شامل داشتن زانو ضربدری ساختاری بود. بدین منظور از فرد خواسته شد که در حالت بدون تحمل وزن و طاق‌باز بر روی تخت دراز بکشد و اگر در این حالت به دلیل ساختاری بودن عارضه دارای زانوی ضربدری بود؛ در مطالعه وارد نشد. از دیگر معیارهای عدم ورود به مطالعه شامل: الف) داشتن آسیب‌های درجه سه اندام تحتانی مانند پارگی لیگامنت؛ ب) تاندون و عضله در ۶ ماه اخیر؛ ج) داشتن سابقه آسیب یا جراحی در یک

کشکک، ناپایداری مفصل، تحلیل غضروف و در نهایت آرتروز زودرس می‌شود.^{۸،۷} عوارض مربوط به زیرسیستم فعال نیز شامل ضعف عضلات نزدیک کننده ران (عضلات گلوئتال و فاشیالاتا)، افزایش نیروی عضله چهار سر ران به کشکک، افزایش نیروی کششی به داخل، افزایش نیروی فشاری و خستگی زودرس حین راه رفتن است.^۹ عوارض زانوی ضربدری در زیرسیستم عصبی شامل کاهش شاخص تعادل، تغییر مرکز فشار، تغییر الگوی فعالیت عضلانی، تغییر الگوی حرکتی و ضعف عملکرد حرکتی است. در واقع هرگونه تغییر در وضعیت مفصل زانو یا مفاصل دور و نزدیک آن، می‌تواند بر راستای و الگوهای حرکتی زانو اثر منفی گذاشته و سبب تغییر در الگوهای حرکتی طبیعی شود.^{۱۰}

به منظور پیشگیری، کاهش عوارض احتمالی و بازتوانی آسیب‌های مرتبط با این بدراستایی راه‌های مختلفی مانند روش‌های جراحی، اورترها، روش‌های تمرینی شامل تمرین با کش، حرکات و بازی‌های اصلاحی پیشنهاد شده است.^{۱۱} در میان این روش‌ها، برنامه تمرینی از جمله ایمن‌ترین و مؤثرترین روش‌های اصلاحی بوده که به دلیل اثرگذاری، آموزش ساده و هزینه کم می‌توان برای اصلاح برخی از اختلالات اسکلتی عضلانی و عوارض ناشی از آن استفاده کرد.^{۱۲} در دهه‌های گذشته تأکید بر تمرینات موضعی بوده؛ اما در رویکرد جدید تمرینی به عملکرد همه بخش‌ها در ارتباط با هم نگاه می‌کنند و هدف این رویکرد توجه به کنترل حرکتی و کنترل تمام بدن است.^{۱۳} در واقع به دلیل وجود واکنش‌های زنجیره‌ای، کل بدن را بایستی به صورت یک سیستم واحد در نظر گرفت و بجای تمرکز موضعی بر روی یک ناحیه، به زنجیره‌های عضلانی براساس سیستم حسی حرکتی توجه نمود.^{۱۴} در همین رابطه در مطالعه Yoon و همکاران روی میزان تعادل ایستا و پویای افراد دارای زانوی ضربدری، نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار تعادل در گروه ناهنجاری نسبت به گروه کنترل بود.^۹ در مطالعه Baldon Rde و همکاران اثر تمرینات عصبی عضلانی همراه با پایداری بر روی فاکتورهای عملکردی زنان بررسی شد و مشخص گردید که این پروتکل تمرینی (هشت هفته، سه بار در هفته) بر متغیرهای عملکردی مانند نزدیک شدن ران، چرخش داخلی ران و زانوی ضربدری اثرگذار است.^{۱۵} در همین رابطه Barendrecht و همکاران اثر یک پروتکل ۱۰ هفته‌ای تمرینات عصبی عضلانی را به تمرینات بازیکنان هندبال دارای زاویه والگوس اضافه کردند و نتایج نشان داد که میزان والگوس زانوی گروه تمرین کرده نسبت به گروه تمرین نکرده کاهش معنی‌داری یافته است.^{۱۶} همسو با تحقیق بالا، Nagano و همکاران نیز اثر یک پروتکل ترکیبی تمرینات تعادلی را بر فعالیت عضلانی، چرخش درشت‌نی و میزان ولگوس زانو در بسکتبالیست‌های زن را به منظور بررسی چگونگی کاهش عوامل

شامل هرگونه برخورد پای بالا رفته با زمین، برخورد پا به پای تکیه‌گاه و جابجایی پای تعادل از پاشنه بود.^{۲۲}



شکل ۱: آزمون تعادل ایستا



شکل ۲: آزمون تعادل ۷

آزمون تعادل پویای ۷: به منظور ارزیابی تعادل پویای نمونه‌ها از آزمون ۷ استفاده گردید که به دلیل سادگی اجرا، پایایی بالا از محبوبیت بسیاری برخوردار است. هدف این تست نگهداری تعادل تک پا و رساندن پا در سه جهت قدمی، داخلی و خارجی با پای بالا رفته است. روش کار بدین صورت بود که نمونه‌ها با پای برهنه در مرکز کیت آزمون تعادل ۷ قرار گرفتند (شکل ۲). با پایایی که راحت‌تر بودند؛ به صورت تک پا ایستاده و با پای غیر اتکا در هر سه جهت به دلخواه اقدام به رساندن نوک پا کردند. هر آزمون سه بار تکرار شد و بیشترین مقدار به عنوان امتیاز نمونه‌ها در نظر گرفته شد. فاصله‌های رسیدن پا به نزدیک‌ترین ۰/۵ سانتی‌متر، ثبت شده و برای نرمال کردن، این فاصله ثبت شده بر طول پای آنها تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد.^{۲۳}

برنامه تمرینی: برنامه تمرینی در عین تمرکز بر روی تقویت عضلات درگیر در عارضه (بخش‌های پایینی عضلات اینورتور و سوپیناتور مخصوصاً تیبیالیس خلفی و در سگمان‌های بالاتر عضلات اکسترنال روتیشن و آبداکتورها)، سعی شد تا تمامی حرکات با داشتن اجزا عصبی عضلانی به بهبود کنترل عصبی عضلانی منجر شود. برای این منظور کیفیت اجرای حرکات (تاکید بر حرکات از

سال گذشته در اندام تحتانی که موجب محدودیت عملکردی و یا تغییر راستای طبیعی فرد شده بود؛ ه) مشاهده ناهنجاری‌های اسکلتی عضلانی در ستون فقرات و اندام تحتانی با استفاده از صفحه شطرنجی؛ و) آنتی‌ورژن فمور بیش از ۱۵ درجه (با استفاده از تست کریگ و ابزار مربوطه)؛ ز) داشتن قوس کم یا بیش از حد کف پای (کف پای صاف یا گود) تعیین شده با غربالگری؛ ح) داشتن پای پنجه به بیرون با زاویه پنجه بیشتر از ۱۸ درجه در نمای ساجیتال؛ ط) داشتن لوردوز و کایفوز افزایش یافته قابل مشاهده؛ ی) داشتن اسکولیوز؛ ک) سابقه استفاده از کفی طبی؛ ل) داشتن سابقه آسیب به سر و م) مشکلات سیستم عصبی و دهلیزی بودند.^{۲۱}

معیارهای خروج از مطالعه شامل داشتن غیبت بیش از سه جلسه تمرینی و یا یا دو جلسه پشت سر هم بودند. تمامی آزمون‌ها و تمرینات در کانون حرکات اصلاحی ولنجک، شهری انجام گردید.

ابزار مورد استفاده در مطالعه شامل استفاده از صفحه شطرنجی (غربالگری اولیه)، قدسنج، ترازو، کولیس، کرنومتر، کیت تست تعادل Y، فرم رضایت‌نامه، کش تراباند و توپ تنیس بودند. قد آزمودنی‌ها با استفاده از قدسنج معمولی با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. از فرم رضایت‌نامه و اطلاعات شخصی نمونه‌ها برای کسب اطلاعاتی نظیر سن، قد و وزن نمونه‌ها، سابقه آسیب و کسب رضایت آنها استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری زانوی ضربدری به روش کلینیکی و با استفاده از کولیس، نمونه بدون کفش و جوراب در حالی که زانو و ران‌های وی دیده می‌شد و هیچگونه انقباضی در عضلات ران نداشت؛ در وضعیت ایستاده قرار گرفت. زانو در بازشدگی کامل به صورتی که استخوان کشکک زانوها هر دو به سمت جلو و روبرو بودند؛ قرار گرفت. سپس فاصله بین دو قوزک داخلی مچ پا از طریق کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد. مقادیر کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر درجه یک، ۲/۵ تا ۵ سانتی‌متر درجه دو، ۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر درجه سه و بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر درجه چهار طبقه‌بندی شد.^{۱۱}

اندازه‌گیری تعادل ایستا: از آزمون تعادل ایستادن روی یک پا، برای ارزیابی تعادل ایستا استفاده شد. این روش آزمون تعادل کم‌هزینه، ساده و دارای پایایی بالا ۰/۹۸ است که با یک کرنومتر اندازه‌گیری شد. در این آزمون از نمونه‌ها خواسته شد که پاها را به اندازه عرض شانه باز کرده و دستان خود را در کنار بدن به صورت راحت قرار دهند. سپس یک پا را بلند کنند و از ناحیه ران و زانو به ترتیب ۴۵ و ۹۰ درجه خم کنند (شکل یک). آزمونگر تا زمانی که تعادل برقرار بود؛ به نمونه‌ها زمان داد و امتیاز آنها برابر با مدت زمان حفظ این حالت برحسب ثانیه بود. نمونه‌ها این آزمون را سه بار انجام دادند و بهترین زمان آنها در نظر گرفته شد. خطاهای متداول آزمون

جدول ۱: برنامه تمرینات اصلاحی عضلانی آزمودنی‌های دارای زانوی ضربدری

فازها	هفته	تکرار در هفته	شدت (تکرار)	زمان (دقیقه)	نوع تمرین	ست/تکرار/زمان نگه داشتن	استراحت (ثانیه)	زمان (دقیقه)	حجم (درصد)
فاز اولیه	۱	۳-۲	۴	۷-۵	۳-۲-۱	۱۰-۶-۲	۱۵	۲۰-۱۵	۲۵
	۲	۳-۲	۴	۷-۵	۳-۲-۱	۱۰-۷-۲	۱۵	۲۰-۱۵	۲۵
	۳	۳-۲	۵	۸-۶	۴-۳-۲	۱۲-۷-۳	۱۵	۲۲-۲۰	۳۰
	۴	۳-۲	۵	۸-۶	۴-۳-۲	۱۲-۸-۳	۱۵	۲۴-۲۲	۳۵
فاز پیشرفت	۵ و ۶	۴-۳	۶	۹-۸	۶-۵-۴	۱۴-۸-۴	۱۵	۲۶-۲۴	۴۰
	۷ و ۸	۴-۳	۷	۱۰-۸	۸-۷-۶-۵	۱۲-۹-۴	۱۵	۲۷-۲۵	۴۵
	۹ و ۱۰	۴-۳	۸	۱۱-۹	۹-۸-۷-۶	۱۰-۱۰-۴	۱۵	۲۸-۲۶	۵۰
فاز حفظ	۱۱ و ۱۲	۴-۳	۹	۱۲-۹	۱۱-۱۰-۹-۸	۸-۱۱-۴	۱۵	۲۹-۲۷	۵۵
	+۱۲	۴-۳	۱۰	۱۲-۱۰	۱۱-۱۰-۹-۸	۸-۱۲-۴	۱۵	۳۰-۲۸	۶۵

کردن مجموعه عضلات اندام تحتانی، لگن و تنه) در آزمودنی‌ها هنگام اجرای تست‌های عملکردی بود. در طراحی تمرینات این بخش سعی شد توالی‌های صحیح (انجام تمرینات از ساده به پیچیده، تمرینات بدون تحمل وزن به سمت تمرینات با تحمل وزن) به کارگیری عضلات که در فازهای قبلی ایجاد شده؛ در طی انجام حرکات عملکردی نیز به درستی به کار گرفته شود و آزمودنی‌ها بتوانند حرکات عملکردی را با راستای صحیح و توالی‌های درست به کارگیری عضلات اجرا نمایند (شکل ۵).^{۲۴} طراحی تمرین براساس راهنمای کالج پزشکی ورزشی آمریکا بر در بین بچه‌های ۶ تا ۱۷ سال بود که به فعالیت بدنی روزانه حداقل ۶۰ دقیقه روزانه با شدت متوسط تا شدید توصیه شده است. با این رویکرد نوجوانان پسر ۱۲ هزار تا ۱۶ هزار قدم در روز بهتر است پیاده روی نماید و با محدوده ادراک سختی ۴۰ تا ۶۰ درصد با مقیاس بورگ که موجب پیشگیری از خستگی، افزایش تعریق و متعاقب آن آسیب در نظر گرفته شد. تمرینات در سه فاز مقدماتی، پیشرفته و حفظ در چهار هفته ابتدایی و هشت هفته بعد طراحی که محدوده ایده‌آل جلسات در هفته بین سه تا چهار جلسه در هفته است و شدت یا سختی تمرینات قدرتی با تکرار شش تا دوازده تکرار تا آستانه تمرینات استقامتی قرار داده شد.^{۲۵} تمرینات انقباضی و کششی با استاندارد ۱۰ تا ۲۰ ثانیه و دو تا چهار تکرار تا جمع ۶۰ ثانیه برای هر حرکت که زمان ایده‌آل تمرین بین ۲۰ تا ۴۰ دقیقه بدون احتساب گرم و سرد کردن، با محدوده ایمن دو تا ۴ ست برنامه‌ریزی گردید. ۲۵ از نمونه‌ها خواسته شد در صورت احساس خستگی بالای ۶۰ درصد تمرین را متوقف کرده و به مربی اعلام نمایند تا از تحقیق کنار گذاشته شوند که در تحقیق حاضر فردی با این وضعیت مواجه نشد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-27 تجزیه و تحلیل شدند. از آمار توصیفی میانگین و انحراف معیار، به منظور توصیف ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌های استفاده شد. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیروویلک استفاده گردید. برای تحلیل استنباطی داده‌ها، با توجه به نرمال بودن متغیرها و نحوه قرارگیری آنها از تی‌زوجی و تحلیل کوواریانس برای مقایسه

ساده به پیچیده به منظور اجرای درست و بدون خطا) در برنامه تمرینی حاضر بسیار مهم و مدنظر قرار گرفت و تنها روی تقویت صرف گروه عضلانی خاص تمرکز نداشته که برای رسیدن به این مهم برنامه تمرینی عضلانی حاضر، با تاکید بر روی سه فاز تمرینات بدون تحمل وزن، تمرینات با تحمل وزن و تمرینات عملکردی اجرا گردید. هدف اصلی در فاز اول یعنی تمرینات بدون تحمل وزن که از هفته اول تا چهارم را شامل شد. آشناسازی آزمودنی‌ها با تمرینات و گرفتن انقباضات اولیه و با شدت کم از گروه‌های عضلانی فوق‌الذکر به کارگیری این دسته از عضلات بود (شکل ۳). کمترین میزان پیشرفت، در تمرینات این فاز بود؛ چرا که هدف از این تمرینات گرفتن انقباض از عضلات مشخص و یادگیری حرکت صحیح از هر یک مجموعه عضلات بود. تمرینات فاز اول بعد از هفته چهارم (با در نظر گرفتن اصل پیشرفت تمرینی و تنوع تمرینی) حذف شدند و آزمودنی‌ها وارد فاز دوم و اجرای تمرینات جدید شدند. هدف فاز دوم در هفته ۴ تا ۸، تمرینات با تحمل وزن فرد بود که شامل بخش اصلی تمرین و پیشرفت تمرینی با هدف ایجاد سازگاری و اصلاح ناهنجاری صورت گرفت (جدول یک). در این بخش نیز مانند فاز اول، تمرکز بر کیفیت اجرای حرکات (انجام حرکات بدون خطا و از ساده به پیچیده) بود (شکل ۴). پیشرفت تمرینی نیز شامل افزایش زمان و تکرار اجرای حرکات بود که بیشترین میزان افزایش را جهت بهبود قدرت و کنترل عضلات بر روی حرکات اندام تحتانی داشتند و سعی شد تا گروه‌های عضلانی فعال شده در مرحله قبل، در این مرحله با توالی درست (به کار گرفتن عضلات درگیر در اصلاح ناهنجاری زانوی ضربدری مانند عضلات گلوئیتال و بخش داخلی زانو) و در زنجیره صحیح به کار گرفته شوند؛ به گونه‌ای ران در وضعیت صحیح و بدون چرخش قرار گرفته و زانو از وضعیت ضربدری هنگام تمرینات دور شود. در نهایت در فاز سوم یعنی حرکات عملکردی که از هفته ۹ تا ۱۲ را شامل شد؛ هدف فراهم آوردن بیشترین اثرگذاری بر کنترل عضلانی، بهبود کنترل حرکات (ساده به پیچیده) و حفظ راستای صحیح (هنگام انجام حرکات پیچیده‌تر و سخت‌تر، نیازمند فعال



شکل ۳: منتخبی از تمرینات کششی عضلات کوتاه و بیش فعال در زانوی ضربدری، تقویت عضلات گلوئیتال در هفته اول تا چهارم (تمرینات بدون تحمل وزن)



شکل ۴: منتخبی از تمرینات تقویتی عضلات چهار سر، گلوئیتال و عضلات بخش داخلی زانو در هفته چهارم تا هشتم (تمرینات با تحمل وزن)



شکل ۵: منتخبی از تمرینات تقویتی عملکردی عضلات چهار سر، گلوئیتال و افزایش هم انقباضی و هماهنگی در عضلات کنترل کننده زانو در هفته نهم تا دوازدهم (حرکات فانکشنال)

پیش‌آزمون با پس‌آزمون تعادل ایستا افزایش معنی‌داری را نشان داد ($P < 0/001$). در مقابل گروه کنترل در مقایسه پیش‌آزمون با پس‌آزمون تعادل ایستا تفاوت و تغییرات معنی‌داری را نشان نداد. همچنین در مقایسه درون‌گروهی تعادل پویا دو گروه کنترل و تمرین، گروه تمرین در جهات قدامی ($P < 0/005$)، خلفی / داخلی ($P < 0/001$) و خلفی / خارجی ($P < 0/017$) دسترسی بیشتری در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون از خود نشان دادند که سبب تفاوت و تغییر معنی‌دار گردید. با این وجود گروه کنترل در مقایسه پیش‌آزمون با پس‌آزمون تعادل پویا در هیچ‌کدام از جهات قدامی، خلفی / داخلی و خلفی / خارجی تغییر و تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳).

بحث

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، در مقایسه درون‌گروهی تعادل ایستا دو گروه کنترل و تمرین، گروه تمرین در مقایسه پیش‌آزمون با پس‌آزمون تعادل ایستا توانست؛ در پس‌آزمون تعادل ایستا عملکرد بهتر و زمان بیشتری را ثبت کند که در نهایت منجر به افزایش معنی‌دار در آنها شد. در مقایسه پس‌آزمون‌های تعادل پویا در جهات قدامی

درون‌گروهی و بین‌گروهی استفاده شد. سطح معنی‌داری آزمون‌ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

میانگین و انحراف استاندارد مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها به تفکیک گروه کنترل و تمرین در جدول ۲ آمده است.

نتایج اثرات درون‌گروهی و بین‌گروهی ۱۲ هفته تمرینات عضبی عضلانی بر میزان تعادل ایستا و پویا آزمودنی‌ها در جدول ۳ آمده است.

با مقایسه پس‌آزمون‌های تعادل ایستا گروه کنترل و تمرین، تفاوت و تغییر معنی‌داری در مقایسه پس‌آزمون‌های دو گروه (با در نظر گرفتن پیش‌آزمون‌ها به‌عنوان مخدوش کننده) مشاهده شد ($P < 0/001$). همچنین در مقایسه پس‌آزمون‌های تعادل پویا در جهات قدامی ($P < 0/004$)، خلفی / داخلی ($P < 0/001$) و خلفی / خارجی ($P < 0/020$) بین دو گروه کنترل و تمرین (با در نظر گرفتن پیش‌آزمون‌ها به‌عنوان مخدوش کننده)، تفاوت و افزایش معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳).

در مقایسه درون‌گروهی تعادل ایستا گروه تمرین در مقایسه

جدول ۲: میانگین و انحراف استاندارد مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌های دو گروه کنترل و تمرین

متغیرها	گروه کنترل	گروه تمرین	T	P-value
سن (سال)	۱۲/۸±۰/۴	۱۲/۵±۰/۳	۱/۳۰۱	۰/۲۰۷
قد (سانتی‌متر)	۱۶۸/۵±۵/۴	۱۶۵/۰±۳/۶	۱/۰۳۸	۰/۳۱۱
وزن (کیلوگرم)	۶۷/۷±۶/۳	۶۳/۴±۵/۵	۱/۰۰۸	۰/۳۲۵
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/مترمربع)	۲۳/۶±۰/۱۹	۲۳/۱۱±۱/۱	۰/۷۳۵	۰/۴۷۰
فاصله دو فوزک داخلی (سانتی‌متر)	۶/۷±۰/۵	۶/۱±۰/۶	۱/۳۷۰	۰/۱۸۴

جدول ۳: نتایج آزمون تی زوجی و تحلیل کوواریانس برای مقایسه درون گروهی و بین گروهی متغیر تعادل ایستا و پویا در دو گروه کنترل و تمرین

متغیرها	گروهها	میانگین و انحراف استاندارد		T	Df	P-value	F	میانگین و انحراف استاندارد پس آزمون	
		پیش آزمون	پس آزمون					پیش آزمون	پس آزمون
تعادل ایستا	کنترل	۳۰/۴۲±۱/۴۵	۲۹/۳۲±۱/۶۶	۰/۵۳	۱۱	۰/۷۸	۱۲/۰۰	۲۹/۳۲±۱/۶۶	۴۵/۹۴±۳/۲۸
	تمرین	۲۸/۷۵±۱/۳۴	۴۵/۹۴±۳/۲۸	۱۲/۶۰	۱۱	۰/۰۰۱		۴۵/۹۴±۳/۲۸	
تعادل پویا (جهت قدمی)	کنترل	۶۸/۹۸±۴/۱۴	۶۹/۳۰±۳/۹۲	۰/۳۲	۱۱	۰/۷۵	۱۰/۹۵	۶۹/۳۰±۳/۹۲	۸۵/۷۷±۴/۰۴
	تمرین	۷۰/۲۲±۵/۰۲	۸۵/۷۷±۴/۰۴	۱۰/۵۸	۱۱	۰/۰۰۵		۸۵/۷۷±۴/۰۴	
تعادل پویا (جهت خلفی / داخلی)	کنترل	۷۴/۹۰±۵/۰۱	۷۵/۴۵±۵/۶۲	۰/۴۹	۱۱	۰/۶۶	۱۳/۱۵	۷۵/۴۵±۵/۶۲	۸۸/۷۰±۶/۴۳
	تمرین	۷۵/۸۱±۴/۹۹	۸۸/۷۰±۶/۴۳	۱۳/۱۹	۱۱	۰/۰۰۱		۸۸/۷۰±۶/۴۳	
تعادل پویا (جهت خلفی / خارجی)	کنترل	۷۰/۴۳±۴/۲۲	۷۱/۸۳±۳/۱۲	۰/۴۴	۱۱	۰/۷۰	۸/۰۲	۷۱/۸۳±۳/۱۲	۸۲/۱۶±۵/۸۸
	تمرین	۷۱/۶۶±۴/۰۳	۸۲/۱۶±۵/۸۸	۸/۳۹	۱۱	۰/۰۱۷		۸۲/۱۶±۵/۸۸	

اتفاق می‌افتد.^{۲۷} تمرینات عصبی-عضلانی به کار رفته از نوع زنجیره جنبشی بسته، باعث تحریک گیرنده‌های مکانیکی مفاصل و عضلات اندام تحتانی می‌شود.^{۲۴} احتمالاً بهبود تعادل ایستا و پویا به دلیل بهبود عملکرد گیرنده‌های مکانیکی و متعاقب آن بهبود کنترل عصبی-عضلانی است. در واقع بهبود کنترل عصبی عضلانی، یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در بهبود تعادل است. علاوه بر این تمرینات عصبی-عضلانی، پیام‌رسانی از مراکز سوماتوسنسوری را به سمت دستگاه عصبی مرکزی بهبود بخشیده و گذرگاه‌های عصبی جبرانی را فراهم می‌آوردند.^{۲۸} همچنین استفاده از این تمرینات باعث می‌شود که انقباض همزمان عضلات افزایش یافته و باعث ثبات بیشتر در مفاصل بدن شوند. عضلات آنتاگونیست ممکن است در این نوع تمرینات به‌طور مؤثرتری مورد استفاده قرار گیرند و عدم اطمینان از حرکت را کاهش دهند که در نتیجه می‌توانند صرف انرژی را کاهش و بهره‌وری حرکتی را افزایش دهند.^{۲۹} در حقیقت تمرینات عصبی عضلانی باعث تحریک سیستم عصبی مرکزی و هماهنگی عصبی-عضلانی می‌شود که این تغییرات در نهایت منجر به هماهنگی در انقباضات عضلات همکار و عضلات مخالف می‌شود.^{۳۰} در نتیجه انجام تمرینات عصبی عضلانی هم انقباضی و هماهنگی عصبی عضلانی افزایش پیدا می‌کند و با توجه به این که هم انقباضی و هماهنگی انقباضات عضلات اندام تحتانی، حول هریک از مفاصل و اتکا برای تثبیت مفصل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ احتمالاً یکی از دلایل بهبود تعادل پس از انجام این تمرینات، تقویت عضلات و افزایش هماهنگی انقباضات عضلات همکار است.^{۳۱}

خلفی / داخلی و خلفی / خارجی بین دو گروه کنترل و تمرین، تفاوت و تغییر معنی‌داری مشاهده شد.

نتایج مطالعه حاضر با نتایج برخی مطالعات^{۱۵-۱۷،۹} همخوان بود که هریک با به‌کارگیری تمرینات مختلف مانند ترکیبی، تعادلی و عصبی عضلانی در متغیرهایی نظیر فعالیت عضلانی، کنترل والگوس و تغییر در کینماتیک زانو و ران در صفحات فرونتال، بهبود معنی‌دار را در زنان و مردان (دارای زانو ضربدری) رشته مختلف ورزشی که در گروه تمرین قرار داشتند؛ گزارش کردند که با مطالعه ما همخوانی داشت. در همین رابطه بایستی ذکر کرد که محقق در ارتباط با نتایج مطالعه حاضر، گزارش ناهمخوانی نیافت.

بر اساس فرضیه سازماندهی حسی، سیستم عصبی مرکزی با پردازش داده‌های گرفته شده از سیستم‌های بینایی، وستیبولار و حس عمقی قادر به تنظیم سازوکار مناسب برای کنترل تعادل است و این بدین معناست که حفظ تعادل در زنجیره حرکتی بسته، به راهبردهای حرکتی و بازخورد هماهنگ بین ران، زانو و مچ پا بستگی دارد که کاهش بازخوردهای آوران یا کاهش قدرت و ثبات مکانیکی هر مفصل به تنهایی یا کل ساختار در زنجیره حرکتی اندام تحتانی، می‌تواند تعادل را مختل کند.^{۲۶} از اینرو اختلال در داده‌های حسی (در نتیجه تغییر در راستا زانو) که وضعیت و موقعیت بدن را گزارش می‌دهند؛ در نهایت ممکن است موجب عدم تعادل و ثبات شود. شاید دلیل اثرگذاری تمرینات عصبی-عضلانی بر تعادل را بتوان این گونه بیان کرد که حداکثر تحریک گیرنده‌های مکانیکی کف پا، عضلات و مفاصل اندام تحتانی در تمرینات زنجیره حرکتی بسته

اثرگذار بوده که با مطالعه Komatsu و همکاران^{۳۴} و مطالعه Salekar و همکاران^{۳۵} همخوان است. تقویت عضلات سگمان‌های بالاتر مانند عضلات اکسترنال روتیشن و آبداکتورها در بهبود تعادل پویا تاثیرگذار بوده که با مطالعات Dimitriou و همکاران^{۳۶} و مطالعه Ichikawa و همکاران^{۳۷} همخوان است.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم دسترسی به امکانات دقیق آزمایشگاهی برای سنجش اصلاح راستای زانو و تعادل‌های ایستا و پویا، عدم کنترل روی شرایط روحی و روانی آزمودنی‌ها در روز تست و برنامه تمرینی اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که ۱۲ هفته تمرین اصلاحی عصبی عضلانی بر تعادل ایستا و پویا در پسران نوجوان دارای ناهنجاری زانو ضربدری می‌تواند اثربخش باشد. به منظور بهبود و ارتقای هرچه بهتر تعادل آزمودنی‌های دارای زانو ضربدری و قرارگیری در سنین رشد، لزوم توجه به پیشگیری از تشدید، بازتوانی و اصلاح ناهنجاری زانو ضربدری آنان ضروری به نظر می‌رسد.

ملاحظات اخلاقی

مطالعه مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی (IR.SSRC.REC.1402.178) قرار گرفت. از والدین آزمودنی‌ها رضایت‌نامه کتبی شرکت در مطالعه اخذ شد.

حمایت مالی

این مقاله حاصل پایان‌نامه آقای نیما جوادی برای اخذ درجه دکتری در رشته آسیب شناسی ورزشی - حرکات اصلاحی از پردیس کیش دانشگاه تهران واحد بین‌الملل بود. این مطالعه مورد حمایت مالی نهادی قرار نگرفته است.

مشارکت نویسندگان

نیما جوادی: انجام پروژه، جمع‌آوری داده‌ها، آنالیز داده‌ها و نوشتن نسخه اولیه مقاله.

دکتر محمدحسین علیزاده: مدیریت و طراحی پروژه، تفسیر نتایج و تایید نسخه نهایی مقاله.

دکتر امیرحسین بواتی: مدیریت و طراحی پروژه، تفسیر نتایج و تایید نسخه نهایی مقاله.

تعارض منافع

بین نویسندگان تعارض منافع وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

از تمام شرکت کنندگان در مطالعه و عزیزانی که ما را در انجام این مطالعه یاری نمودند؛ صمیمانه تشکر می‌نمایم.

با توجه به تاثیر زانوی ضربدری بر انحراف مکانیکی برنامه تمرین اصلاحی عصبی عضلانی مطالعه حاضر، علاوه بر تمرکز روی تقویت عضلات درگیر در عارضه (سگمان‌های پایینی عضلات اینورتور و سوپینیتور مخصوصاً تیبیالیس خلفی و در سگمان‌های بالاتر عضلات اکسترنال روتیشن و آبداکتورها) سعی شد تا تمامی حرکات با داشتن اجزا عصبی عضلانی به بهبود کنترل عصبی عضلانی منجر شوند و تنها روی تقویت صرف گروه عضلانی خاص تمرکز نداشته که برای رسیدن به این مهم برنامه تمرینی عصبی عضلانی حاضر، با تاکید بر روی سه فاز تمرینات بدون تحمل وزن، تمرینات با تحمل وزن و تمرینات عملکردی اجرا گردید.^{۳۴} در حقیقت با تاکید بر درگیر کردن همه جانبه عضلات و مفاصل دیستال و پروگزیمال ناحیه درگیر، تلاش بر ایجاد سازگاری و اصلاح ناهنجاری شد. در هر یک از فازهای تمرینی تمرکز بر کیفیت اجرای حرکات بود. پیشرفت تمرینی نیز شامل افزایش زمان و تکرار اجرای حرکات بود که بیشترین میزان افزایش را به منظور بهبود قدرت و کنترل عضلات بر روی حرکات اندام تحتانی در فاز دوم بود که سعی شد گروه‌های عضلانی فعال شده در مرحله قبل، در این مرحله با توالی درست و در زنجیره صحیح به کار گرفته شوند. در نهایت در فاز سوم یعنی حرکات عملکردی که از هفته ۹ تا ۱۲ را شامل شد؛ سعی در فراهم آوردن بیشترین اثرگذاری بر کنترل عصبی عضلانی و بهبود کنترل حرکات و حفظ راستای صحیح در آزمودنی‌ها هنگام اجرای تست‌های تعادل شد. در حالی که در تمرینات پیشین بیشتر تمرکز روی اصلاح عضلات، مفاصل و بخش‌های ناحیه درگیر شده و به جامع بودن تمرینات و رعایت اصول عصبی عضلانی و پیشرفت تمرینی توجه چندانی نشده است. به همین جهت می‌توان اظهار داشت که آزمودنی‌های گروه تمرین با بهره‌گیری از خصوصیات ویژه و تنوع تمرینی ذکر شده در تمرینات اصلاحی عصبی عضلانی مطالعه حاضر، احتمالاً با ایجاد تغییرات اثرگذار بر کنترل اندام تحتانی در صفحه فرونتال، ارتقاء فعالیت عصبی عضلانی عضلات دیستال و پروگزیمال و اصلاح راستا، توانستند در تعدیل نیروهای اعمالی شده بر زمین و برعکس به شکل کارآمد عمل کرده و در نتیجه بهبود تعادل ایستا و پویا را در پس‌آزمون نشان دهند.^{۳۴،۳۵} از طرفی به‌نظر می‌رسد تقویت عضلات درگیر در سگمان‌های پایینی مثل عضلات اینورتور و سوپینیتور در بهبود تعادل ایستا تاثیرگذار بوده که با مطالعه Komatsu و همکاران^{۳۴} و مطالعه Salekar و همکاران^{۳۵} همخوان است. به‌نظر می‌رسد تقویت عضلات درگیر در سگمان‌های پایینی مثل عضلات اینورتور و سوپینیتور در بهبود تعادل ایستا

References



تحقیقی

- Tharmaseelan S, Kamisan N, Ismail II. Growth modulation in genu valgum secondary to multiple hereditary exostosis. *Med Sci Discov.* 2024;11(1):36-39. <http://dx.doi.org/10.36472/msd.v11i1.1108>.
- Gupta R, Nayyar AK, Ghatak S. Clinical measurement of intermalleolar distance in Western Indian population. *IJRMS.* 2021;9(2):494-97. <https://doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20210430>.
- Ashraf S, Viveiros R, França C, Ornelas RT, Rodrigues A. Association between Body Composition, Physical Activity Profile, and Occurrence of Knee and Foot Postural Alterations among Young Healthy Adults. *Future.* 2024;2(1):16-29. <https://doi.org/10.3390/future2010002>.
- Prakash J, Boruah T, Mehtani A, Chand S, Lal H. Experience of supracondylar chevron osteotomy for genu valgum in 115 adolescent knees. *J Clin Orthop Trauma.* 2017 Jul-Sep;8(3):285-92. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2017.05.017>.
- Rabiei M, Jafarnejhad-Gre T, Binabaji H, Hosseininejad E, Anbarian M. [Assessment of postural response after sudden perturbation in subjects with genu valgum]. *J Shahrekord Univ Med Sci.* 2012;14(2):90-100. [Article in Persian]
- Tuncer D, Gurses HN, Senaran H, Uzer G, Tuncay I. Evaluation of postural control in children with increased femoral anteversion. *Gait Posture.* 2022 Jun;95:109-14. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.04.011>.
- Hodges PW, Cholewicki J, van Dieen JH. *Spinal Control: The Rehabilitation of Back Pain: State of the art and science.* 1st ed. London: Churchill Livingstone. 2013; pp: 1-327.
- Mathew SE, Milbrandt TA, Young ML. Lateral Opening Wedge Osteotomy of the Distal Femur for Genu Valgum. *J Pediatr Soc North Am.* 2022;4(3):465. <https://doi.org/10.55275/JPOSNA-2022-0033>.
- Yoon JU, Yoo KT, Lee HS. [Evaluation of Muscle Activity and Foot Pressure during Gait, and Balance Test in Patients with Genu Valgum]. *J Korean Soc Phys Med.* 2022;17(1):127-37. <https://doi.org/10.13066/kspm.2022.17.1.127>. [Article in Korean]
- Theisen BJ, Larson PD, Chambers CC. Optimizing Rehabilitation and Return to Sport in Athletes With Anterior Knee Pain Using a Biomechanical Perspective. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2022 Jan;4(1):e199-e207. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2021.10.028>.
- Ghaznavi A, Mohammadpour M, Taheri N, Cheraghiloohehara S, Aslani M. Temporary hemiepiphyodesis for correction of genu valgum due to cystinosis: A preliminary interventional study in children. *Curr Orthop Pract.* 2022;33(5):424-27. <https://doi.org/10.1097/BCO.0000000000001149>.
- Sahrman S, Azevedo DC, Dillen LV. Diagnosis and treatment of movement system impairment syndromes. *Braz J Phys Ther.* 2017 Nov-Dec;21(6):391-99. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.08.001>.
- National Academy of Sports Medicine (NASM). *NASM Essentials of Corrective Exercise Training.* 1st ed. Jones & Bartlett Learning. 2013; pp: 342-43.
- Page P, Frank C, Lardner R. Assessment and Treatment of Muscle Imbalance: The Janda Approach. 1st ed. Human Kinetics Champaign. 2010; pp: 128-29.
- Baldon Rde M, Lobato DF, Carvalho LP, Wun PY, Santiago PR, Serrão FV. Effect of functional stabilization training on lower limb biomechanics in women. *Med Sci Sports Exerc.* 2012 Jan;44(1):135-45. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31822a51bb>.
- Barendrecht M, Lezeman HC, Duysens J, Smits-Engelsman BC. Neuromuscular training improves knee kinematics, in particular in valgus aligned adolescent team handball players of both sexes. *J Strength Cond Res.* 2011 Mar;25(3):575-84. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3182023bc7>.
- Nagano Y, Ida H, Akai M, Fukubayashi T. Effects of jump and balance training on knee kinematics and electromyography of female basketball athletes during a single limb drop landing: pre-post intervention study. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2011 Jul;3(1):14. <https://doi.org/10.1186/1758-2555-3-14>.
- Pamboris GM, Pavlou K, Paraskevopoulos E, Mohagheghi AA. Effect of open vs. closed kinetic chain exercises in ACL rehabilitation on knee joint pain, laxity, extensor muscles strength, and function: a systematic review with meta-analysis. *Front Sports Act Living.* 2024 Jun;6:1416690. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1416690>.
- Kopack JK, Cascardi KA. *Principles of Therapeutic Exercise for the Physical Therapist Assistant.* 1st ed. New York: Routledge. 2023; pp: 81-126.
- Waldon KV, Stout A, Manning K, Gray L, Wilson DG, Kang GE. Dual-task interference effects on lower-extremity muscle activities during gait initiation and steady-state gait among healthy young individuals, measured using wireless electromyography sensors. *Sensors.* 2023 Oct;23(21):8842. <https://doi.org/10.3390/s23218842>.
- Ghani Zadeh Hesar N, Moradi B, Azarpur S. [Comparison of Balance and Core Stability between Female Students with Genu Recurvatum and Their Healthy Counterparts]. *J Gorgan Univ Med Sci.* 2022;24(4):76-84. [Article in Persian]
- Blodgett JM, Ventre JP, Mills R, Hardy R, Cooper R. A systematic review of one-legged balance performance and falls risk in community-dwelling adults. *Ageing Res Rev.* 2022 Jan;73:101501. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101501>.
- Bennett H, Chalmers S, Milanese S, Fuller J. The association between Y-balance test scores, injury, and physical performance in elite adolescent Australian footballers. *J Sci Med Sport.* 2022 Apr;25(4):306-311. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.10.014>.
- Ries MA. *The Effect of a Twelve-Week Neuromuscular Training Program on Female High School Multi-Sport Athletes Balance, Strength, and Knee Valgus.* Thesis. Adams State University. 2020.
- American College of Sports Medicine. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription.* 9th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2013; pp: 168-73.
- Moradi B, Letafatkar A, Hadadnezhad M, Hosseinzadeh M, Khalghi M. The effect of neuromuscular training on kinetic variables in male athletes with trunk control defects. *Sport Sciences and Health Research.* 2023, 15(1): 53-66.

- <https://doi.org/10.22059/sshr.2024.363547.1102>.
27. Mohanty T, Pattnaik M, Sethy GC, Jee RN. Hybrid External Fixator for Correction of Genu Valgum in an Adult. *Journal of Orthopedics, Traumatology and Rehabilitation*. 2022; 14(1):86-89. https://doi.org/10.4103/jotr.jotr_61_21.
28. Palmer K, Hebron C, Williams JM. A randomised trial into the effect of an isolated hip abductor strengthening programme and a functional motor control programme on knee kinematics and hip muscle strength. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015 May;16:105. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0563-9>.
29. Rahmani Nia F, Daneshmandi H, Irandoust K. Prevalence of Genu Valgum in Obese and Underweight Girls. *World J Sport Sci*. 2008;1(1):27-31.
30. Soheilipour F, Pazouki A, Mazaherinezhad A, Yagoubzadeh K, Dadgostar H, Rouhani F. The Prevalence of Genu Varum and Genu Valgum in Overweight and Obese Patients: Assessing the Relationship between Body Mass Index and Knee Angular Deformities. *Acta Biomed*. 2020 Oct;91(4):e2020121. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i4.9077>.
31. Patel K. Corrective exercise: a practical approach: a practical approach. Chap 14. 1st ed. London: Routledge. 2005; pp: 1-51.
32. Wu KW, Lee WC, Ho YT, Wang TM, Kuo KN, Lu TW. Balance control and lower limb joint work in children with bilateral genu valgum during level walking. *Gait Posture*. 2021 Oct;90:313-19. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.09.187>.
33. Park SR, RoHL, 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. <https://doi.org/10.13066/kspm.2017.12.1.83>.
34. Komatsu T, Tateuchi H, Hirono T, Yamagata M, Ichihashi N. Influence of ankle invertor muscle fatigue on workload of the lower extremity joints during single-leg landing in the sagittal and frontal planes. *Gait Posture*. 2024 May;110:29-34. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2024.02.021>.
35. Salekar B, Patil R, Patil M, Mankar S. Association of Foot Deviations with Foot Functional Activity and Dynamic Balance in Female Kathak Dancers. *IJHSR*. 2024;14(4):35-43. <http://dx.doi.org/10.52403/ijhsr.20240406>.
36. Dimitriou D, Meisterhans M, Geissmann M, Borpas P, Hoch A, Rosner J, et al. The effect of experimentally induced gluteal muscle weakness on joint kinematics, reaction forces, and dynamic balance performance during deep bilateral squats. *J Orthop Res*. 2024 Jan;42(1):164-71. <https://doi.org/10.1002/jor.25644>.
37. Ichikawa S, Kumai T, Akiyama Y, Okunuki T, Maemichi T, Matsumoto M, et al. Relationship between Dynamic Balance and Physical Characteristics and Functions in Elite Lifesaving Athletes. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2024 Aug;9(3):134. <https://doi.org/10.3390/jfmk9030134>.