Hakim Sabzevari Univ

Journal of Sport in Biomotor Sciences

Homepage:http://sbs.hsu.ac.ir

P- ISSN: 2228-723X
E- ISSN: 3041-959X

Iranian Medicinal Plants Association

Sport and Biomotor Sciences ورزش و علوم زیست حرکتی

The effect of concurrent training on the thickness, strength, and strength ratio of quadriceps to hamstring muscles in Middle-Aged Men

Javad Pourjahed [1], *Seyed Alireza Hosseini Kakhak** [2], *Mahtab Moazzami* [3], *Davachi Behrouz* [4]

1. Ph.D Candidate, Department of Physical Education, Faculty of Humanities and Basic Sciences, Islamic Azad University of Bojnourd. Bojnourd. Iran pourjahed@yahoo.com
2. Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. hosseinik@um.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. moazami@um.ac.ir
4. Associate Professor, Clinical Department, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. Davachi@mums.ac.ir

Article Information

Article type: Research Article
Vol: 17
No: 33
P: 54-70

Article history:
Received: 2025-05-02
Revised: 2025-09-07
Accepted: 2025-09-11

Cite this Article:

Javad Pourjahed, Seyed Alireza Hosseini Kakhak, Mahtab Moazzami, Davachi Behrouz. The effect of concurrent training on the thickness, strength, and strength ratio of quadriceps to hamstring muscles in Middle-Aged Men. *Journal of Sport and Biomotor Sciences*. 2025; 17(33): 54-70.
doi: 10.22034/sbs.2025.517956.1141

Publisher: Hakim Sabzevari University

Authors retain the copyright and full publishing rights.

10.22034/sbs.2025.517956.1141

Abstract

Introduction and Purpose: The effect of concurrent training on the quadriceps and hamstring muscles, particularly through aerobic activities such as walking and running backward, has been less studied. This study aimed to examine the impact of concurrent training on the thickness, strength, and strength ratio of the quadriceps and hamstring muscles in middle-aged men.

Materials and Methods: This semi-experimental study included 48 men aged 50 to 65 years, who were randomly divided into four training groups: (1) strength-aerobic with forward walking, (2) strength-aerobic with backward walking, (3) resistance, and (4) control. The training was performed over eight weeks, with three sessions per week. Assessments of body composition, balance, thickness, strength, and the quadriceps-to-hamstring strength ratio were conducted before and after the training period. The data were analyzed using repeated-measures ANOVA, with a significance level set at $P \leq 0.05$.

Results: No significant differences were observed between the exercise groups in weight, body mass index, quadriceps thickness, hamstring strength, and balance ($p > 0.05$). Fat-free mass and hamstring muscle thickness increased significantly in the exercise groups **compared to the control** group ($p \leq 0.05$). The increase in quadriceps strength was significant only in the **resistance training** group ($p \leq 0.05$). The ratio of quadriceps strength to hamstring strength decreased significantly in the **strength–aerobic training** groups and increased significantly in the **resistance training** group ($p \leq 0.05$).

Conclusion: Concurrent training, with an emphasis on aerobic activities (walking and running backward), improves body composition, increases hamstring thickness, corrects the quadriceps-to-hamstring strength ratio, enhances muscular balance and motor performance, and reduces the risk of injury in middle-aged men.

Key words: Concurrent Training, Muscle strength and thickness, Walking-running backward, Middle-aged men

Extended Abstract

1. Introduction and Purpose

Middle age refers to the period of life between young adulthood and old age, typically defined as the age range of 40 or 45 to 65 years. During this stage of life, physical functional limitations increase with age, leading to a gradual decline in aerobic fitness, strength, and muscle mass. The most recognized age-related change in skeletal muscle is the reduction of muscle mass, which is attributed to physical inactivity, a halt in the ability to synthesize new protein, and a decrease in the number and size of skeletal muscle fibers. Concurrently, changes in the biomechanical capacities of individuals during aging can lead to injuries and gait disturbances, increasing the prevalence and severity of postural and gait disorders. As timely interventions through evidence-based training methods may play a vital role in preventing physical disabilities in later years, a combination of strength and aerobic training (concurrent training) appears to be the most effective strategy for improving neuromuscular and cardiorespiratory functions in older adults, particularly when backward walking-running is incorporated into the aerobic training component. Previous studies have inadequately investigated the effect of concurrent training, with an emphasis on aerobic activities (specifically backward walking-running), on the quadriceps and hamstring muscles. Therefore, this study aimed to investigate the effect of concurrent training on the thickness, strength, and quadriceps-to-hamstring (Q:H) strength ratio in middle-aged men.

2. Materials and Methods

This quasi-experimental study with a pre-test/post-test design was conducted on middle-aged men aged 50 to 65. Subjects were randomly assigned to one of four groups of 12: 1) Strength & Forward Aerobic Training, 2) Strength & Backward Aerobic Training, 3) Resistance Training, and 4) Control. Muscle thickness and volume were measured using ultrasonography, quadriceps and hamstring strength with a dynamometer, static balance with the Berg Balance Scale (BBS) system, and body composition using a body composition analyzer. Height and weight were measured at the beginning and end of the study.

The eight-week training program consisted of three sessions per week, with each session lasting between 60 to 90 minutes, including a 15-minute warm-up and a 10-minute cool-down. Resistance training was performed using machines and free weights. Exercises were conducted in three sets of 10 to 12 repetitions, with a 30-second rest between sets and a 60-second rest between exercises.

In the first phase, the aerobic training for both concurrent training groups included treadmill walking (approx. 10 minutes) and stationary cycling (approx. 5 minutes). In the second phase, the Strength & Forward Aerobic group performed forward walking-running on the treadmill, while the Strength & Backward Aerobic group performed backward walking-running on the treadmill. The intensity and duration of aerobic training increased from 70-75% of maximum heart rate for 20 minutes in the initial weeks to approximately 80-85% for 30-35 minutes in the final weeks. Intensity was monitored using a heart rate monitor and by checking the radial pulse.

To analyze the data, the homogeneity of variances was assessed using Levene's test, and the normality of data distribution was checked using the Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests. Assuming these preconditions were met, a repeated-measures ANOVA was performed, followed by a Bonferroni post-hoc test if significance was found. Analyses were conducted using SPSS version 21, with the significance level set at $P \leq 0.05$.

3. Results

Based on the results, a significant time-by-group interaction effect was observed for lean body mass, hamstring muscle thickness, quadriceps strength, and the quadriceps-to-hamstring strength ratio.

The Bonferroni post-hoc test showed that lean body mass significantly increased in all three experimental groups (from pre- to post-test) compared to the control group (Group 1: P=0.001, Group 2: P=0.03, Group 3: P=0.007). However, there was no significant difference among the three experimental groups (P>0.05). Hamstring muscle thickness also significantly increased in all three experimental groups compared to the control group (Group 1: P=0.0001, Group 2: P=0.001, Group 3: P=0.002), with no significant difference observed among them (P>0.05).

Quadriceps strength significantly increased only in Group 3 (resistance training) from pre- to post-test (P=0.005). However, no significant difference was found among the three experimental groups (P>0.05).

The quadriceps-to-hamstring strength ratio showed significant changes in all three experimental groups compared to the control group. Groups 1 and 2 exhibited a significant decrease (P=0.001), while Group 3 showed a significant increase (P=0.001). Furthermore, significant differences were found

between the experimental groups (except between Groups 1 and 2).

Regarding weight, body mass index, quadriceps muscle thickness, hamstring strength, and balance, the time-by-group interaction effect was not significant ($P>0.05$).

4. Discussion and Conclusion

The results of this study indicate that concurrent training with an emphasis on backward walking-running activities has a considerable impact on the physical performance indices of middle-aged men, leading to improvements in body composition and significant changes in the quadriceps-to-hamstring strength ratio. However, for greater efficacy, it appears that the training period should be extended to at least 12 weeks with four sessions per week, and balance exercises should be incorporated. Therefore, given the differences in training methodologies and the limited existing evidence, further research is necessary to investigate various components of physical performance.

5. Authors Contributions

All authors contributed to the paper. All authors have read and approved the final manuscript.

6. Conflict of Interest

There is no conflict of interest in this article.

7. Acknowledgments and Funding

This article is derived from a PhD dissertation in Exercise Physiology, Department of Physical Education, Faculty of Humanities and Basic Sciences, Islamic Azad University, Bojnourd Branch. The authors would like to thank the managers of the Faculty of Physical Education at Ferdowsi University for providing access to their sports facilities and all the subjects who participated in the research.

8. Ethical Guidelines

This study was approved by the Ethics Committee with the code IR.IAU.BOJNOURD.REC.1399.02

ورزش و علوم زیست حرکتی

Sport and Biomotor Sciences ورزش و علوم زیست حرکتی

انجمن کایلان دارویی ایران

دانشگاه حکیم سبزواری

تاثیر تمرینات ترکیبی بر ضخامت، قدرت و نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ در مردان میان‌سال

جواد پورجاهد [۱]، سید علیرضا حسینی کاخک [۲*]، مهتاب معظمی [۳]، بهروز دواچی [۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه تربیت بدنی، دانشکده انسانی و علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، بجنورد، ایران. pourjahed@yahoo.com
۲. استاد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. hosseinik@um.ac.ir
۳. دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. moazami@um.ac.ir
۴. دانشیار، گروه بالینی، دانشکده پزشکی مشهد، مشهد، ایران. Davachi@mums.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی
دوره: ۱۷
شماره: ۳۳
صفحه: ۵۴-۷۰
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

نحوه ارجاع به این مقاله:
جواد پورجاهد، سید علیرضا حسینی کاخک، مهتاب معظمی، بهروز دواچی. تاثیر تمرینات ترکیبی بر ضخامت، قدرت و نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ در مردان میان‌سال. نشریه ورزش و علوم زیست حرکتی. ۱۴۰۴؛ ۱۷(۳۳): صفحه ۵۴-۷۰.
doi: 10.22034/sbs.2025.517956.1141

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری

نویسندگان حق نشر و حقوق انتشار کامل را حفظ می‌کنند.

10.22034/sbs.2025.517956.1141

چکیده

مقدمه و هدف: تأثیر تمرینات ترکیبی بر عضلات چهارسر و همسترینگ، با تأکید بر فعالیت‌های هوازی (راه رفتن – دویدن به عقب)، کمتر بررسی شده است. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر تمرینات ترکیبی بر ضخامت، قدرت و نسبت قدرت عضلات چهارسر به همسترینگ در مردان میان‌سال بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه نیمه تجربی، ۴۸ مرد ۵۰ تا ۶۵ ساله، به صورت تصادفی در چهار گروه تمرینی: ۱) قدرتی–هوازی با راه رفتن به جلو، ۲) قدرتی–هوازی با راه رفتن به عقب، ۳) مقاومتی، ۴) کنترل، تقسیم شدند. تمرینات طی ۸ هفته (سه جلسه در هفته) برگزار گردید. قبل و بعد از دوره تمرینی، ترکیب بدنی، تعادل، ضخامت، قدرت و نسبت قدرت عضلات چهارسر به همسترینگ ارزیابی شد. تحلیل داده‌ها از روش آنوا با اندازه‌گیری مکرر در سطح معنی‌داری $P\leq ۰/۰۵$ محاسبه گردید.

یافته‌ها: بین گروه‌های تمرینی از نظر وزن، شاخص توده بدن، ضخامت عضلات چهارسر، قدرت عضلات همسترینگ، تعادل، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). توده بدون چربی، ضخامت عضلات همسترینگ، در گروه‌های تمرینی نسبت به کنترل، افزایش معنی‌داری داشت ($P\leq ۰/۰۵$). افزایش قدرت عضلات چهارسر ران تنها در گروه تمرین مقاومتی معنی‌دار بود ($P\leq ۰/۰۵$). نسبت قدرت عضلات چهارسر به همسترینگ در گروه‌های تمرین قدرتی–هوازی، کاهش معنی‌دار و در گروه تمرین مقاومتی افزایش معنی‌داری داشت ($P\leq ۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: تمرینات ترکیبی با تأکید بر فعالیت‌های هوازی راه رفتن – دویدن به عقب، ضمن بهبود ترکیب بدن، با افزایش ضخامت عضلات همسترینگ و اصلاح نسبت قدرت عضلات چهارسر به همسترینگ، موجب تعادل بهتر قدرت عضلانی، ارتقا عملکرد حرکتی و کاهش آسیب‌های عضلانی در مردان میان‌سال می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تمرینات ترکیبی، ضخامت – قدرت عضلانی، راه رفتن – دویدن به عقب، مردان میانسال

مقدمه

اصطلاح میان‌سالی به دوره‌ای از زندگی اشاره دارد که بین جوانی و سالمندی قرار دارد که تقریبا به عنوان محدوده سنی ۴۰ یا ۴۵ تا ۶۵ سال تعریف می‌شود (۱). رشد بی سابقه در تعداد افراد میان‌سال و سالمند در جوامع قابل توجه است؛ هم چنان که احتمال محدودیت‌های عملکرد جسمانی نیز با سن افزایش می‌یابد (۲). افزایش سن باعث کاهش تدریجی آمادگی هوازی، قدرت و توده عضلانی می‌شود (۳). هرچند بیان شده است که مکانیسم‌های اساسی تغییرات مرتبط با سن، در آمادگی جسمانی و کنترل حرکتی چند عاملی هستند و به طور کامل شناخته نشده‌اند (۴)؛ اما شناخته‌ترین تغییرات در عضله اسکلتی مرتبط با افزایش سن، کاهش توده عضلانی است (۵).

از حدود ۴۰ سالگی، میزان آتروفی عضلانی در هر دهه ۸ درصد بوده و بعد از ۷۰ سالگی در هر دهه ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. این کاهش معمولاً با افزایش چربی بدن همراه بوده و در نتیجه وزن بدن معمولاً تغییری نمی‌کند (۶). آتروفی عضله اسکلتی مرتبط با افزایش سن چند فاکتوری بوده، اما شامل عدم فعالیت جسمانی، توقف توانایی سنتز پروتئین جدید و کاهش تعداد و سایز تار عضله اسکلتی است (۷). کاهش در عملکرد میتوکندریایی و افزایش مسیرهای کاتابولیک داخل سلولی در عضله اسکلتی افراد مسن، منجر به متابولیسم پروتئین و کاهش بیشتر عملکرد در توده عضله اسکلتی می‌گردد (۸).

تحقیقات قبلی نشان داده است که سطح آمادگی جسمانی در میان‌سالی می‌تواند عملکرد بدنی را در مراحل بعدی زندگی پیش‌بینی نماید (۹). از آن‌جا که شروع محدودیت‌های جسمانی بین سنین ۴۰ تا ۵۵ سال در ۵۰٪ بزرگسالان آشکار می‌گردد، ممکن است مداخلات به موقع از طریق روش‌های تمرینی مستند، نقش حیاتی در پیشگیری ناتوانی‌های جسمانی طی سال‌های بعدی در بزرگ‌سالی داشته باشد (۱۰). روش‌های تمرین ترکیبی در سال‌های اخیر به عنوان یک استراتژی ورزشی رایج شده‌اند و به نظر می‌رسد در افراد مسن‌تر، ترکیبی از تمرینات قدرتی و هوازی (تمرینات همزمان) موثرترین استراتژی برای بهبود عملکردهای عصبی عضلانی و قلبی تنفسی باشد (۱۱, ۱۲). از طرفی نشان داده شده است که تغییراتی که در ظرفیت‌های بیومکانیکی افراد در دوره سالمندی به وجود می‌آید، باعث بروز صدمات ناشی از آن و اختلال در راه رفتن سالمندان شده (۱۳) و شیوع و شدت اختلالات وضعیتی و گام برداشتن را در آنان افزایش می‌دهد (۱۴). بنابراین ضروری است که شیوه‌های تمرینی راه‌رفتن در تمرینات ترکیبی نیز بررسی گردد، چرا که تمرینات در این زمینه محدود است (۱۵). یکی از این شیوه‌های تمرینی، راه‌رفتن و دویدن رو به عقب است.

اخیرا راه رفتن – دویدن رو به عقب توجهات گسترده‌ای را در بین بسیاری از محققین به خود جلب کرده است و به طور گسترده‌ای برای افزایش توانایی تعادل بدن، تقویت سیستم قلبی عروقی و تقویت سیستم عضلانی اسکلتی به‌کار می‌رود. راه‌رفتن – دویدن رو به عقب هزینه‌ی متابولیکی بیشتری در بر دارد، چرا که به نظر می‌رسد تمرینات راه‌رفتن رو به عقب اتکای کمتری به کار اکسنتریک داشته و بیشتر روی کار کانسنتریک تمرکز دارد. همچنین دویدن رو به عقب نسبت به راه‌رفتن رو به عقب، اتکای بیشتری روی عناصر انقباضی واحدهای حرکتی دارد که مشخص شده این‌ها نیازهای انرژی بیشتری را می‌طلبد (۱۶, ۱۷).

طی راه‌رفتن به عقب گروه عضلات چهارسر ران با انقباض ایزومتریکی، به‌عنوان یک ثبات‌دهنده زانو و با انقباض درون‌گرایی، به‌عنوان شتاب‌دهنده عمل می‌کنند. بررسی‌های الکترو میوگرافی (EMG) نشان می‌دهد که در حین دویدن به عقب ۲۲ درصد افزایش در سیکل کاری همسترینگ طی مرحله تماس پا با زمین در انقباضات برونگرایی وجود دارد (۱۸). تحقیقات در مورد اثرات حاد دویدن به عقب، واکنش‌های قلبی تنفسی و بیومکانیکی منحصربه‌فردی را در مقایسه با دویدن به جلو نشان می‌دهد. در حالی‌که به نظر می‌رسد دویدن به عقب برای سیستم قلبی تنفسی سخت است و نیاز به فعال‌سازی کلی عضلات اندام تحتانی دارد؛ اما در مقایسه با دویدن به جلو، فشار مکانیکی کمتری روی مفصل زانو ایجاد می‌نماید. این تحقیقات اشاره می‌کند که اجرای دویدن به عقب در برنامه‌های تمرینی ورزشی طولی با کاهش شیوع آسیب، افزایش قدرت اندام تحتانی و بهبود عملکرد مرتبط است. محققین اظهار نموده‌اند

که اگرچه فواید حاد و طولی دویدن به عقب بسیار زیاد است، اما در حال حاضر در مقایسه با سایر اشکال حرکت در ادبیات علمی کمتر معرفی شده است (۱۹).

مطالعه مروری یازده تحقیق نشان می‌دهد که تمرین راه‌رفتن به عقب می‌تواند به عنوان یک ابزار بالقوه مفید برای بهبود عملکرد تعادل در بین افرادی که در معرض خطر سقوط قرار دارند، عمل کند (۲۰). ماریتز و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ی خود گزارش نمودند که ۱۰ جلسه تمرین راه رفتن به عقب در مردان و زنان سالم با میانگین سنی ۶۷ تا ۷۸ سال، باعث بهبود استقامت عضلات خم‌کننده کف پایی و تعادل پویا در طول راه‌رفتن می‌شود. این نتایج ضرورت انجام مطالعات دقیق‌تر و بررسی بیشتر در افراد مسن‌تر را توجیه می‌نماید (۲۱). نتایج تحقیق کچاناتو و همکاران (۲۰۱۳)، نشان می‌دهد که ۱۲ جلسه تمرین طی ۳ هفته در مردان و زنان با میانگین سنی ۲۰ سال، باعث بهبود تعادل ایستا و افزایش قدرت عضلانی، به‌ویژه در عضلات چهارسر ران و فلکسور کف پا، از طریق راه‌رفتن به عقب شده است (۲۲).

تاثیر تمرینات ترکیبی (مقاومتی و هوازی) بر قدرت و حجم عضلانی افراد میان‌سال نیز در تحقیقات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج یک مطالعه مروری نشان می‌دهد که تمرینات هوازی ترکیبی، باعث بهبود سلامت قلبی عروقی، قدرت عضلانی و تحرک در افراد میانسال می‌گردد (۲۳). مطالعه مروری سیستماتیک دیگری نیز نشان می‌دهد که تمرینات ترکیبی هوازی مقاومتی – قدرتی، تمرینات چند بخشی و تمرینات ترکیبی ریتمیک اثرات مثبت و معنی‌داری بر عملکرد فیزیکی قدرت بالاتنه و پایین تنه، تعادل پویا، خطر سقوط، تحرک، راه‌رفتن، چابکی و انعطاف‌پذیری سالمندان دارند (۲۴).

با وجود تحقیقات انجام شده در زمینه تاثیر تمرینات ترکیبی، شواهد موجود در خصوص تأثیر این نوع تمرینات بر ضخامت، قدرت و نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ در مردان میان‌سال محدود است. اغلب تحقیقات قبلی روی سالمندان یا جوانان متمرکز بوده و مردان میانسال که دچار تغییرات عضلانی و عملکردی ویژه‌ای می‌شوند، کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در تحقیق حاضر، تمرکز بر ترکیبی از تمرینات قدرتی و هوازی با تأکید بر راه‌رفتن و دویدن به عقب به عنوان رویکردی جدید است که ممکن است الگوی فعال‌سازی عضلات و پاسخ‌های عصبی– عضلانی را تغییر داده و منجر به اثرات متفاوتی بر ضخامت، قدرت و تعادل عضلات و در نتیجه بهبود عملکرد عضلانی در این گروه سنی گردد؛ لذا این مطالعه به همین منظور انجام شده است.

روش‌شناسی

این مطالعه از نوع نیمه تجربی با طرح پیش آزمون– پس آزمون (با سه گروه تمرینی و یک گروه کنترل) است. جامعه آماری مورد نظر مردان میان‌سال ۵۰ تا ۶۵ سال شهر مشهد بودند که از طریق فراخوان انتخاب گردیدند. حجم نمونه به تعداد ۴۸ نفر بر اساس نرم‌افزار G Power به صورت داوطلبانه و در دسترس انجام شد. آزمودنی‌ها در ابتدای تحقیق به طور تصادفی به چهار گروه ۱۲ نفره شامل: ۱) تمرین قدرتی – هوازی رو به جلو، ۲) تمرین قدرتی– هوازی رو به عقب، ۳) تمرین مقاومتی و ۴) کنترل، تقسیم شدند. معیارهای ورود به پژوهش شامل عدم داشتن بیماری، توانایی شرکت در تمرینات و عدم شرکت همزمان در برنامه‌های تمرینی دیگر بود. تمام این موارد بوسیله فرم سوابق پزشکی و دموگرافیک ارزیابی شد. معیارهای خروج از پژوهش نیز شامل عدم تمایل به همکاری، بروز هر گونه بیماری یا آسیب‌دیدگی درحین اجرای تمرینات بود. در جریان تحقیق تعداد ۱۱ نفر از افراد به دلیل عدم رعایت شرایط تحقیق از جمله انجام تمرینات خارج از فرآیند تحقیق و عدم حضور در پس آزمون حذف گردیدند. از همه مشارکت‌کنندگان رضایت‌نامه آگاهانه کتبی شرکت در تحقیق اخذ گردید و درباره موضوع تحقیق، مراحل اجرا و خطرات احتمالی تحقیق به افراد توضیحات لازم داده شد. سپس آزمون‌های ضخامت و قدرت عضلانی، تعادل و ترکیب بدن بر اساس برنامه زمانی مشخص به عنوان پیش آزمون به عمل آمد. برنامه تمرینات ترکیبی سه گروه تجربی، هفته‌ای سه جلسه زیر نظر محقق و توسط مربیان با تجربه و متخصص انجام شد. گروه کنترل نیز هیچگونه تمرینی در دوره زمانی تحقیق انجام ندادند. بعد از اتمام برنامه تمرین، از تمام آزمودنی‌ها مجددا پس آزمون به‌عمل آمد.

برنامه تمرین: برنامه تمرین به مدت هشت هفته (سه جلسه در هفته)، در سالن‌های ورزشی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گردید. مدت زمان هرجلسه تمرینی بین ۶۰ تا ۹۰ دقیقه برنامه‌ریزی شد. قبل از اجرای برنامه‌های تمرین در هر جلسه تمرین، به مدت ۱۵ دقیقه برنامه گرم کردن و در انتهای تمرین، برنامه سرد کردن به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. گروه‌های تمرینی در قالب گروه تمرینی قدرتی، گروه تمرین قدرتی و هوازی (راه رفتن– دویدن به جلو) و گروه تمرینی

قدرتی و هوازی (راه رفتن – دویدن به عقب) زیر نظر مربیان به تمرینات خود می‌پرداختند.

تمرینات مقاومتی: تمرینات مقاومتی به ترتیب شامل پرس سرشانه نشسته، پرس سینه، کشش جانبی از پهلو، جلو بازو و پشت بازو با دمبل، پرس پا، جلو پا و پشت پا با دستگاه (نشسته)، اسکوات از پشت، بلند شدن روی پنجه پا بود. این تمرینات با استفاده از دستگاه‌ها و ماشین‌های بدنسازی و همچنین وزنه‌های آزاد (دمبل و هالتر) انجام شد. حرکات در سه ست، هر ست با ۱۰ تا ۱۲ تکرار و فاصله استراحت به ترتیب، بین ست‌ها ۳۰ ثانیه و بین حرکات ۶۰ ثانیه تعیین گردید.

تمرینات هوازی: تمرینات هوازی در دو مرحله طراحی و اجرا گردید. مرحله اول شامل راه رفتن روی تردمیل (حدود ۱۰ دقیقه) با سرعت چهار تا شش کیلومتر در ساعت و رکاب زدن روی دوچرخه ثابت (حدود پنج دقیقه) بود. این مرحله توسط هر دو گروه تمرین ترکیبی (قدرتی–هوازی) به صورت یکسان اجرا شد. در مرحله دوم که شامل تمرین اصلی بود، گروه تمرین قدرتی و هوازی راه‌رفتن– دویدن به جلو، تمرینات مستمر راه‌رفتن و دویدن به جلو را روی تردمیل انجام می‌دادند و گروه تمرینی قدرتی و هوازی راه رفتن – دویدن به عقب نیز با کمک و نظارت دستیار پژوهشگر، راه رفتن و دویدن به عقب را روی تردمیل اجرا می‌کردند. بخشی از تمرینات هوازی نیز به علت محدودیت تعداد تردمیل، در سالن ورزشی و با رعایت اصول پروتکل تمرینی انجام شد. شدت و مدت تمرین هوازی در هفته‌های ابتدایی، بین۷۰ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت۲۰ دقیقه، تعیین گردید و تا حدود۸۰ تا ۸۵ درصد به مدت۳۰ تا ۳۵ دقیقه، در هفته‌های پایانی افزایش یافت. شدت تمرین با استفاده از ضربان‌سنج پولار و اندازه‌گیری نبض رادیال کنترل می‌شد.

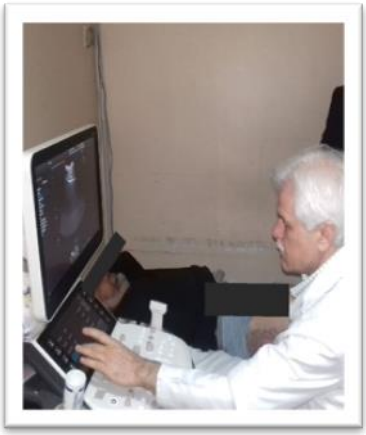
اندازه‌گیری قد و وزن: در شرایط استاندارد با استفاده از قدسنج و ترازوی مدل "سکا" ساخت آلمان، با دقت یک میلی‌متر انجام شد. شاخص توده بدن (BMI) از طریق تقسیم وزن (کیلوگرم) بر مجذور قد (متر) محاسبه گردید. برای سنجش ترکیب بدنی (توده عضلانی و درصد چربی)، از دستگاه تجزیه و تحلیل ترکیب بدن AKERN ساخت ایتالیا، بر اساس روش BIA و مطابق دستورالعمل شرکت سازنده، در حالت خوابیده استفاده شد.

قدرت عضلات چهارسر ران و همسترینگ: با استفاده از داینامومتر که بر اساس مقالات علمی طراحی گردیده بود اندازه‌گیری شد (شکل ۱). برای ارزیابی قدرت عضلات چهارسر ران، از آزمودنی خواسته شد روی لبه تخت به صورت قائم و بدون چرخش و خم شدگی بنشیند، به‌طوری‌که دست‌ها در کنار بدن، لبه تخت را گرفته و ران‌ها موازی با یکدیگر و در امتداد محور بدن به حالت افقی و در تماس کامل با سطح تخت بوده، پاها به حالت آویزان و بدون تماس با زمین و زاویه زانو در محدوده ۹۰ تا ۱۰۰ درجه قرار می‌گرفت. ران و هیپ نیز با استفاده از کمربندهای ایمنی ثابت می‌شدند. برای اندازه‌گیری قدرت عضلات جهارسر ران، داینامومتر با فاصله حدود ۳۰ سانتی‌متری از پشت پای آزمودنی روی زمین قرار می‌گرفت به صورتی که بازوی متحرک داینامومتر، به یک کفی قابل تنظیم که مچ پای آزمودنی را در بر می‌گرفت متصل و بازوی دیگر آن به پایه میز ثابت می‌شد. زاویه بازوی داینامومتر با محور ساق تقریباً صفر درجه (افقی و موازی با زمین) و با محور زانو ۹۰ درجه بود. سپس از آزمودنی خواسته شد تا با انجام انقباض ایزومتریک و تلاش حداکثری به مدت ۵ ثانیه، حرکت اکستنشن زانو را انجام دهد. برای اندازه‌گیری قدرت عضلات همسترینگ، آزمودنی در همان وضعیت بدنی استاندارد و تثبیت‌شده مطابق با پروتکل آزمون عضلات چهارسر ران قرار می‌گرفت. داینامومتر این بار در جلوی پای آزمودنی و روی زمین در موقعیت ثابتی قرار داده می‌شد، به‌گونه‌ای که کفی قابل تنظیم آن همچنان مچ پای آزمودنی را در برگرفته و اتصال آن با بازوی اندازه‌گیری حفظ شود. در این مرحله، آزمودنی با انقباض ایزومتریک عضلات همسترینگ، حرکت فلکشن زانو را انجام می‌داد. بالاترین رکورد ثبت شده در هر تلاش ۳ تا ۵ ثانیه‌ای برای هر عضله، به‌عنوان مقدار نهایی قدرت عضلانی در نظر گرفته شد (۲۵, ۲۶).

حجم و ضخامت عضلات چهارسر و همسترینگ: با استفاده از دستگاه سونوگرافی مدل Samsung WS ساخت کره جنوبی اندازه‌گیری شد (شکل ۲). برای این منظور، شرکت‌کنندگان در حالت افقی و در وضعیت خوابیده با دست‌ها و پاهای کشیده قرار

گرفتند. آن‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در این حالت ماندند تا سیالات بدن به حالت پایدار برسند. سپس ترانس دیوسر به‌صورت عمودی بر روی پا و در بزرگترین قطر عضله قرار داده شد. ضخامت عضلات به‌عنوان بیشترین فاصله بین لبه‌های بالایی و پایینی عضله و بافت چربی اندازه‌گیری گردید (۲۷, ۲۸).

شکل ۱. اندازه‌گیری قدرت عضلات چهار سر ران و همسترینگ



شکل ۲ . اندازه‌گیری حجم و ضخامت عضلات چهار سر ران و همسترینگ

تعادل ایستا: با استفاده از سیستم تعادل BIODEX Balance System SD (BBS) ساخت آمریکا اندازه‌گیری شد. از آزمودنی خواسته شد روی سکوی دستگاه بایودکس ایستاده و دست‌هایش را در کنار بدن آویزان نماید و با شروع برنامه سعی نماید کنترل خود راحفظ کند. BBS دارای یک نمایشگر است که به ما درباره وضعیت فرد به صورت لحظه‌ای بازخورد می‌دهد. در این تحقیق، پروتکل نرم‌افزاری Fall Risk Test (FRT) (تست خطر سقوط) مورد استفاده قرار گرفت. این آزمون با استفاده از تنظیمات استاندارد نرم‌افزار، سه بار و هر بار به مدت ۲۰ ثانیه، با استراحت ۱۰ ثانیه بین هر آزمون انجام شد (۲۹). کد اخلاق IR.IAU.BOJNOURD.REC.1399.021 برای این تحقیق نیز اخذ گردید.

روش‌های آماری

از روش‌های آمار توصیفی برای توصیف داده‌ها استفاده شد. برای بررسی واریانس خطای مدل از آزمون لوین و برای بررسی نرمال بودن توزیع خطاهای مدل از آزمون شاپیرو – ویلک وکولوموگراف –اسمیرنوف استفاده گردید. در صورت برقراری پذیره‌های زیربنایی، ازروش‌های آماری آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای آزمون فرضیه‌ها و در صورت معنی‌داری بین گروهی، از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. تمام تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۱ صورت پذیرفت و سطح معنی‌داری $P\leq ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

نتایج آمار توصیفی و تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در مورد شاخص‌های تن‌سنجی و متغیرهای وابسته به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است. نتایج آمار استنباطی نیز نشان می‌دهد که نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس در تمام متغیرها برقرار است. بر اساس نتایج تحلیل آماری، اثر تعاملی زمان در گروه در مورد توده بدون چربی، ضخامت عضلات همسترینگ، قدرت عضلات چهارسر ران و نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان می‌دهد که در توده بدون چربی هرسه گروه تجربی (از قبل تا بعد از تمرین) در مقایسه با گروه کنترل افزایش معنی‌داری داشتند (گروه اول $P=۰/۰۰۱$، گروه دوم $P=۰/۰۳$، گروه سوم $P=۰/۰۰۷$). هرچند بین سه گروه تجربی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P>۰/۰۵$). در مورد ضخامت عضلات همسترینگ هرسه گروه تجربی (از قبل تا بعد از تمرین) در مقایسه با گروه کنترل افزایش معنی‌داری داشتند (گروه اول $P=۰/۰۰۰۱$، گروه دوم $P=۰/۰۰۱$، گروه سوم $P=/۰۰۲$). هرچند بین سه گروه تجربی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). در مورد قدرت

عضلات چهارسر ران تنها گروه ۳ (از قبل به بعد از تمرین) افزایش معنی‌داری داشت (P=۰/۰۰۵). هرچند بین سه گروه تجربی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). در مورد نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ هرسه گروه تجربی (از قبل تا بعد از تمرین) در مقایسه با گروه کنترل تغییرات معنی‌داری داشتند (گروه ۱ و ۲ کاهش معنی‌دار P=۰/۰۰۱، گروه ۳ افزایش معنی‌دار P=۰/۰۰۱). هم‌چنین بین گروه‌های تجربی (به جز گروه ۱ با ۲) تفاوت معنی‌داری وجود داشت. داده‌های جدول ۲ نیز نشان می‌دهد که در مورد وزن، شاخص توده بدن، ضخامت عضلات چهارسر ران، قدرت عضلات همسترینگ و تعادل، اثر تعاملی زمان در گروه معنی‌دار نیست (P>۰/۰۵).

جدول ۱. داده‌های توصیفی (میانگین ± انحراف استاندارد) آزمون‌ها در قبل و بعد ازتمرین

متغیرها		گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ٤
وزن (کیلوگرم)	قبل تمرین	۸۲/۳ ± ۱۱/۵	۷۴/۲ ± ۸/۲	۷۸/۸ ± ۸/۰۷	۸۲/۴ ± ۹/۹
	بعد تمرین	۸۱/۳ ± ۱۱/۴	۷۳ ± ۷/۸	۷۹/۲ ± ۷/۶	۸۲/۵ ± ۱۰/۵
شاخص توده بدن (کیلوگرم / مترمربع)	قبل تمرین	۲۷/۴ ± ۳/۰۸	۲۶/۲ ± ۲/۸	۲۶/۶ ± ۲/۶	۲۸/۰۶ ± ۳/۴
	بعد تمرین	۲۷/۱ ± ۳/۰۶	۲۵/۷ ± ۲/۵	۲۶/۸ ± ۲/۵	۲۸/۱ ± ۳/۷
توده بدون چربی (کیلوگرم)	قبل تمرین	۳۵/۲ ± ۲/۷	۳۳/۸ ± ۲/۹	۳۴/۲ ± ۱/۶	۳۶/۳ ± ۴/۴
	بعد تمرین	۳۵/۹ ± ۳/۱	۳۴/۳ ± ۳/۱	۳۵/۰۱ ± ۲/۰۱	۳۵/۷ ± ۴/۲
ضخامت عضلات چهارسر ران (میلی متر)	قبل تمرین	۴۳/۳ ± ۵/۸	۴۷/۵ ± ۳/۶	۴۵/۷ ± ۵/۱	۴۸/۰۵ ± ۵/۳
	بعد تمرین	۴۵/۸ ± ۶/۰۳	۵۰/۷ ± ۷/۵	۴۹/۳ ± ۵/۴	۴۹/۶ ± ۶/۵
قدرت عضلات چهارسر ران (کیلوگرم)	قبل تمرین	۴۱/۸ ± ۹/۶	۳۶ ± ۱۰/۷	۴۲/۲ ± ۱۰/۰۹	۴۹/۵ ± ۱۳/۸
	بعد تمرین	۴۱ ± ۱۱/۳	۳۶/۱ ± ۱۲/۱	۵۲/۱ ± ۱۶/۲	۴۷/۱ ± ۸/۸
ضخامت عضلات همسترینگ (میلی متر)	قبل تمرین	۵۶ ± ۷/۶	۵۵/۴ ± ۶/۴	۵۵/۵ ± ۹/۱	۶۷/۶ ± ۶/۹
	بعد تمرین	۶۶/۵ ± ۴/۱	۶۵/۶ ± ۷/۹	۶۵/۲ ± ۵/۱	۶۸/۱ ± ۱۰/۴
قدرت عضلات همسترینگ (کیلوگرم)	قبل تمرین	۱۴/۲ ± ۴/۶	۱۲/۹ ± ۶/۸	۱۴/۸ ± ۶/۲	۱۵/۴ ± ۳/۴
	بعد تمرین	۱۸/۸ ± ۶/۳	۱۶/۴ ± ۷/۰۸	۱۶ ± ۶/۵	۱۳/۶ ± ۴/۹
نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ	قبل تمرین	۳/۲۴ ± ۱/۴۰	۴/۰۴± ۲/۵۸	۳/۱۲ ± ۰/۸۹	۳/۳۰ ± ۱/۰۸
	بعد تمرین	۲/۳۶ ± ۰/۸۴	۲/۶۷ ± ۱/۴۵	۳/۹۰ ± ۲/۰۹	۳/۸۳ ± ۱/۴۳
تعادل	قبل تمرین	۱/۶ ± ۰/۶	۱/۴ ± ۰/۳	۱/۸ ± ۰/۶	۲/۰۱ ± ۰/۹
	بعد تمرین	۱/۵ ± ۰/۷	۱/۱ ± ۰/۳	۱/۲ ± ۰/۴	۱/۶ ± ۰/۸

جدول ۲. نتایج آزمون آنووا با اندازه گیری مکرربه تفکیک متغیرهای وابسته (اثرگروه، اثرزمان، اثر زمان در گروه)

متغیر	اثر زمان			اثر گروه			اثر زمان* گروه		
	آماره F	مقدار P	اندازه اثر	آماره F	مقدار P	اندازه اثر	آماره F	مقدار P	اندازه اثر
وزن (کیلوگرم)	۲/۴	۰/۱۲	۰/۰۶	۱/۸	۰/۱۵	۰/۱۴	۱/۹	۰/۱۳	۰/۱۵
شاخص توده بدن (کیلوگرم / مترمربع)	۲/۶	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۸۵	۰/۴۷	۰/۰۷	۲/۱	۰/۱۰	۰/۱۶
توده بدون چربی (کیلوگرم)	۹/۸	۰/۰۰۴	۰/۲۳	۰/۷۴	۰/۵۳	۰/۰۶	۷/۳	* ۰/۰۰۱	۰/۳۹
ضخامت عضلات چهارسر ران (میلی متر)	۱۳/۹	۰/۰۱	۰/۲۹	۱/۴	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۷۹	۰/۰۳
قدرت عضلات چهارسر ران (کیلوگرم)	۱/۳	۰/۲۴	۰/۰۴	۲/۶	۰/۰۶	۰/۱۹	۳/۰۹	* ۰/۰۴	۰/۲۲
ضخامت عضلات همسترینگ (میلی متر)	۳۲/۶	۰/۰۰۰۱	۰/۵۱	۲/۹	۰/۰۴	۰/۲۲	۳/۲	* ۰/۰۳	۰/۲۴
قدرت عضلات همسترینگ (کیلوگرم)	۳/۵	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۳۰	۰/۸۲	۰/۰۲	۲/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۶

متغیر	اثر زمان			اثر گروه			اثر زمان* گروه		
	آماره F	مقدار P	اندازه اثر	آماره F	مقدار P	اندازه اثر	آماره F	مقدار P	اندازه اثر
نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ	۱۲/۴۶۷	۰/۰۰۱	۰/۰۵۷	۸۲/۵۶۷	۰/۰۰۱	۰/۵۴۴	۱۱۶/۵۱۷	* ۰/۰۰۱	۰/۶۲۷
تعادل	۱۳/۶	۰/۰۰۱	۰/۲۹	۱/۲	۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۷۲	۰/۵۴	۰/۰۶

*اختلاف معنی‌داری در سطح P≤۰/۰۵

بحث

هدف از مطالعه، تاثیر تمرینات ترکیبی بر ضخامت، قدرت و نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ در مردان میانسال بود. نتایج مطالعه نشان داد که هشت هفته تمرین ترکیبی (مقاومتی، هوازی) با تاکید بر راه‌رفتن و دویدن به جلو و عقب، منجر به افزایش معنی‌دار قدرت عضلات چهارسر ران در گروه مقاومتی گردید. هرچند این افزایش در ضخامت عضلات مذکور در هیچ یک از گروه‌ها معنی‌دار نبود. هم‌چنین افزایش معنی‌داری در ضخامت عضلات همسترینگ در گروه‌های تمرینی مشاهده گردید؛ اما در قدرت عضلات همسترینگ نیز، این افزایش معنی‌داری نبود. پژوهش‌های زیادی در موافقت و مخالفت با نتایج ما گزارش گردیده است.

در ارتباط با قدرت عضلات چهارسر ران، سواتی و همکاران (۲۰۱۲)، گزارش نمودند که دویدن به عقب (شش‌ونیم کیلومتر در ساعت) و راه رفتن به عقب (چهارکیلومتر در ساعت) به مدت شش هفته (سه جلسه در هفته) باعث بهبود قدرت عضلات چهارسر ران پس از تمرین گردید (۱۸). آدریان مارکوف و همکاران (۲۰۲۳)، نیز در یک مطالعه سیستماتیک متاآنالیز در بزرگسالان سالم میانسال و مسن گزارش نمودند که تمرینات همزمان روش موثری برای بهبود قدرت، توان و استقامت قلبی تنفسی در بزرگسالان سالم بین ۵۰ تا ۷۵ سال بدون توجه به جنسیت است و بیشترین تاثیر بر قدرت عضلانی بعد از ۱۲ هفته تمرین قدرتی با بیش از ۳۰ تا ۶۰ دقیقه در هر جلسه (سه جلسه در هفته) با شدت بالای تمرین استقامتی و ترتیب انجام تمرین قدرتی قبل از استقامتی مشاهده شده است؛ اما در مطالعه آن‌ها مشخص نیست که قدرت کدام عضلات بهبود یافته است (۳۰).

برخلاف بزرگسالان جوان‌تر که هم افزایش قابل توجهی در عملکرد عصبی و هم هیپرتروفی را با تمرین تجربه می‌کنند، افزایش توان و قدرت عضلانی در بزرگسالان مسن‌تر عمدتا توسط سازگاری‌های عصبی شامل افزایش فعال‌سازی ارادی عضلات موافق و کاهش همزمان فعال شدن عضلات مخالف (۳۱)، از طریق افزایش به‌کارگیری واحد حرکتی، افزایش نرخ شلیک حداکثر واحد حرکتی، افزایش تحریک‌پذیری عصبی حرکتی نخاعی و افزایش محرک حرکتی وابران است (۳۲). بنابراین ممکن است یکی از دلایل افزایش معنی‌دار قدرت عضلات چهارسر ران در مطالعه حاضر، افزایش نیازهای قلبی تنفسی و هزینه متابولیکی فعالیت ناشی از به‌کارگیری واحدهای حرکتی بیشتر باشد چرا که راه‌رفتن – دویدن به عقب برای اکثر افراد یک کار جدید بوده است و منجر به مقدار بیشتری از فعال‌تر شدن عضله سکلتی نسبت به یک تمرین معادل (راه رفتن – دویدن به جلو) گردیده است (۱۷،۱۸،۱۹). افزایش احتمالی دیگر نیز می تواند فعال‌سازی سنتز پروتئین عضلانی از طریق مسیر آنابولیک Akt/mTOR و گیرنده‌های آندروژن ناشی از تمرینات قدرتی باشد (۳۳).

در ارتباط با ضخامت عضله چهارسر ران، میکولا و همکاران (۲۰۱۲)، در مطالعه خود گزارش نمودند که در انقباض ایزومتریک و ایزوتونیک درون گروهی پا، حداکثر نیروی تولید شده به طور مشابهی در گروه مقاومتی و ترکیبی افزایش یافت؛ اما افزایش سطح مقطع عضله چهارسر ران در گروه ترکیبی بیشتر از استقامتی و مقاومتی بود (۳۴). ویلهم و همکاران (۲۰۱۴)، پس از تمرینات ترکیبی با استفاده از حرکات سریع عضلانی متحدالمرکز، افزایش ضخامت قابل توجهی در عضلات چهارسر ران مشاهده کردند (۳۵). هم چنین کادور و همکاران (۲۰۱۲)، نیز پس از ۱۲هفته تمرینات ترکیبی قدرت و استقامت در مردان ۶۴ سال، گزارش نمودند که حجم عضلات اکستنسور زانو با افزایش در هر دو گروه قدرت و استقامت، افزایش معنی‌داری داشت (۳۶). بنابراین با توجه به تحقیق یاد شده، می‌توان گفت عدم افزایش معنی‌دار ضخامت عضلات چهارسر ران در مطالعه کنونی، احتمالا به علت کوتاه بودن دوره تمرینی (هشت هفته) بوده است.

در ارتباط با قدرت عضلات همسترینگ، پژوهش‌های زیادی نشان می‌دهد که تمرینات قدرتی ایزومتریک و ایزوتونیک می‌تواند باعث افزایش قدرت و انعطاف‌پذیری عضلات همسترینگ شوند. ویدودو و همکاران (۲۰۲۲)، در یک مقاله مروری دریافتند، تمرینات ایزومتریک و ایزوتونیک

زمانی که با شدت کم اما با تکرار زیاد انجام شوند می‌توانند قدرت و انعطاف‌پذیری عضلات همسترینگ را بهبود بخشیده و منجر به افزایش عملکرد و کاهش خطرآسیب شوند. در حالی که تمرینات ایزوتونیک به عنوان موثرترین روش برای افزایش و تولید نیرو به خوبی توصیف شده‌اند و تمرینات ایزومتریک سفتی عضلات را بهبود می‌بخشند، ترکیب منطقی این دو نوع تمرین ممکن است منجر به بیشترین پیشرفت در قدرت عضلات همسترینگ برای عملکرد گردد (۳۷). ویتلی و همکاران (۲۰۱۱)، نیز در مطالعه خود تحت عنوان اثرات راه رفتن به عقب بر انعطاف‌پذیری عضلات همسترینگ و دامنه حرکت پایین کمر، مشاهده کردند که مداخله چهار هفته‌ای راه رفتن به عقب محرک مناسبی برای افزایش انعطاف‌پذیری عضلات همسترینگ است (۳۸). علی‌رغم اینکه تحقیقات نشان می‌دهد که راه رفتن– دویدن به عقب منجر به بهبود قدرت عضلات همسترینگ می‌شود (۲۰, ۳۹)، به نظر می‌رسد که این تمرینات باعث بهبود معنی‌دار در قدرت عضلات همسترینگ نمی‌شود؛ اما می‌تواند یک روش ایمن در طول توان‌بخشی کشیدگی عضلات همسترینگ علاوه بر نقش حفاظتی باشد. چنان که حداقل کشش را بر عضلات همسترینگ طی راه‌رفتن به عقب باعث شود (۲۲). تصور می‌شود که عدم تغییرات معنی‌دار قدرت عضلات همسترینگ در مطالعه حاضر نیز، تا حد زیادی ناشی از کاهش فعالیت این عضلات در حین انجام تمرین باشد.

در ارتباط با ضخامت عضلات همسترینگ، دانش ما نشان می‌دهد که مطالعات کمتری بر روی تاثیر تمرینات ترکیبی بر ضخامت عضلات همسترینگ با تاکید بر راه رفتن – دویدن به عقب در بخش هوازی انجام شده است. لازارچوک و همکاران (۲۰۲۴)، در یک دوره تمرینات ترکیبی ۱۰هفته‌ای (۲ بار در هفته) با شدت پیشرونده بر ۳۰ مرد فعال با میانگین سنی ۲۱ سال، گزارش نمودند که تمرینات نوردیک و اکستنشن ران، باعث افزایش قابل توجهی در اندازه عضلات همسترینگ شد (۴۰). نتایج فوق با نتایج مطالعه ما مشابه است؛ اما ضروری است تحقیقات بیشتری در رابطه با دوره، حجم و شدت این نوع تمرینات و همچنین سن و سابقه ورزشی شرکت کنندگان انجام گردد.

هم چنین نتایج مطالعه کنونی نشان می‌دهدکه قدرت عضلانی متناسب با ضخامت عضلانی افزایش معنی‌داری نداشته است. در توجیه نتایج فوق می‌توان به تحقیق راس و همکاران (۲۰۱۲)، اشاره کرد که آنان در مطالعه خود بیان کرده‌اند که تولید نیروی عضلانی تنها به اندازه عضله بستگی ندارد؛ بلکه بیشتر از ترکیبی از عوامل عصبی عضلانی و اسکلتی ناشی می‌شود و خواص بیولوژیکی هر دوی این سیستم‌ها با افزایش سن تغییر می‌کند. بر این اساس بسیاری از دانشمندان و پزشکان از اصطلاح کیفیت عضلانی برای توصیف رابطه بین قدرت عضلانی ارادی و اندازه عضله استفاده می‌کنند (۴۱). با این وجود می‌توان گفت اندازه عضلات علاوه بر این که عامل مهمی در تعیین قدرت بازکننده و خم‌کننده زانو است، همچنین بر تعادل قدرت اطراف مفصل زانو نیز تاثیر می‌گذارد (۴۲). بنابراین مداخلات تمرینی که باعث افزایش قدرت و کیفیت عضله می‌گردد بایستی همراه با ظرفیت هوازی برای افراد سالمند برجسته گردد (۴۳).

در مطالعه کنونی نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ (Q/H) در گروه‌های راه‌رفتن – دویدن به جلو و عقب، کاهش معنی‌دار و درگروه مقاومتی افزایش معنی‌داری را نشان داد. موافق با نتایج ما، رفیق و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه خود گزارش نمودند که تمرینات ایزوتونیک برای تقویت عضلات چهارسر ران و همسترینگ موثر بودند و افزایش قابل توجهی در نسبت (Q/H) بعد از این تمرینات مشاهده کردند (۴۴). نتایج تحقیق ما در رابطه با کاهش نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ در گروه‌های راه‌رفتن – دویدن به جلو و عقب، ممکن است به علت فرضیه تداخل تمرین باشد. فرضیه تداخل مستمر نشان می‌دهد که عضلات تمرین کرده قادر نیستند به طور مؤثر و مطلوب همزمان به لحاظ شکلی و یا سوخت و سازی برای هر دو تحریکات تمرینی استقامتی و مقاومتی سازگار گردند. تداخل در توسعه قدرت ممکن است هم‌چنین مربوط به نشانه‌های بیش تمرینی القاء شده به وسیله یک محیط هورمونی کاتابولیک و کاهش مزمن گلیکوژن عضله به علت تکرار یا حجم تمرین بالا باشد (۴۵, ۴۶).

در مطالعه کنونی تغییرات معنی‌داری در تعادل مشاهده نشد. فرض بر این بود که تمرینات راه رفتن – دویدن به عقب به عنوان بخشی از تمرینات هوازی ممکن است باعث تقویت تعادل گردد. چرا که تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که تمرینات راه رفتن به عقب باعث بهبود تعادل در افراد میانسال و سالمند می‌گردد (۱۰, ۲۰, ۴۷, ۴۸). مطالعات دیگری نیز افزایش عملکرد تعادل را به دنبال تمرینات قدرتی (۴۹)، هوازی (۵۰) و همزمان (۵۱, ۵۲)، گزارش نمودند. کانلی و همکاران (۲۰۲۳)، با مطالعه خود بر روی ۳۳ فرد میانسال (۸±۴۲) گزارش نمودند که تمرینات همزمان منجر به بهبود عملکرد تعادل ایستا، پویا و حس عمقی می‌شود (۵۳). هم چنین سیلوا و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه خود که شامل

مردان و زنان ۶۰ تا ۷۵ سال بود بیان کردند که تمرینات همزمان سطوح تعادل ایستا و پویا را بهبود بخشید (۵۴). موافق با نتایج مطالعه ما، نتایج یک مطالعه مروری نشان می‌دهد که تمرینات همزمان اثر قابل توجهی بر معیارهای تعادل نداشته است و دلایل آن را تا حدی محرک تمرینی ناکافی و یا فقدان ویژگی تمرین در مطالعات وارد شده ذکر نموده و پیشنهاد شده است که تنها تمرینات همزمان برای تحریک بهبود عملکرد تعادل موثر نیست و علاوه بر تمرینات همزمان، تمرینات تعادلی نیز بایستی به عنوان یک گزینه قابل قبول برای القای افزایش عملکرد تعادل در برنامه تمرینی بزرگسالان گنجانده شود (۳۰). بنابراین می‌توان گفت احتمالا یکی از دلایل نتایج مطالعه حاضر، عدم استفاده از تمرینات تعادلی در پروتکل تمرینی بوده و از طرفی حجم، شدت و دوره تمرینات انجام شده نیز برای ایجاد تغییرات در تعادل، ناکافی بوده است.

نتایج مطالعه حاضر، افزایش معنی‌داری را در توده بدون چربی نشان می‌دهد اگرچه در مورد وزن و شاخص توده بدن، تغییرات معنی‌دار نیست. موافق با نتایج مطالعه ما، لنتجا و همکاران (۲۰۲۴)، در یک مطالعه مروری سیستماتیک و متاآنالیز نتیجه گرفتند که تمرینات ترکیبی (همزمان) در مقایسه با تمرینات هوازی و مقاومتی در کاهش شاخص توده بدن و ترکیب چربی بدن بزرگسالان دارای اضافه وزن و یا چاق سالم موثرتر می‌باشد و این نوع تمرینات باعث بهبود توده بدون چربی در افراد تمرین‌کننده در مقایسه با گروه کنترل می‌گردد (۵۵)؛ اما بر خلاف نتایج مطالعه ما، بای و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی مداخله ترکیبی تمرین هوازی برای بهبود عملکرد بدنی در میان سالمندان و بر اساس بررسی نتایج ۹ مقاله، تغییرات قابل توجهی را در ارتباط با ترکیب بدن مشاهده نکردند و آنان اظهار نمودند که تنها برخی از تمرینات ترکیبی به کاهش قابل توجه معیارهای ترکیب بدن مانند توده بدن، توده چربی بدن، درصد چربی بدن و شاخص توده بدن کمک کردند. مدت زمان تمرین این مطالعات مساوی و یا کمتر از ۱۲ هفته بود و تنها یک مقاله با مدت زمان تمرین بیشتر از ۳۶ هفته تغییرات ترکیب بدن را در گروه تمرین مقاومتی نشان داد (۲۴). تناقص در نتایج مطالعات انجام شده را می‌توان احتمالا به تفاوت در روش‌های تمرینی مورد استفاده در این مطالعات نسبت داد که ممکن است در مورد تحقیق ما نیز صادق باشد. عوامل دیگری مانند حجم، شدت و دوره تمرین نیز می‌تواند بر نتایج مطالعه ما تاثیرگذار باشد؛ چرا که گزارش شده است که حجم و شدت تمرین به عنوان عامل کلیدی موثر بر تغییرات ترکیب بدن از جمله کاهش شاخص توده بدن و کاهش وزن است. در تحقیقات بسیاری نیز دوره تمرینی بیشتر از ۱۲ هفته، شامل چهار جلسه تمرینات مقاومتی، سه تا پنج جلسه تمرینات راه‌رفتن به عقب و مدت زمان ۴۰ دقیقه در هر جلسه، ایده‌آل معرفی شده است (۱۵, ۲۶).

تحقیقات نشان می‌دهد راه رفتن – دویدن به عقب به عنوان بخشی از تمرینات هوازی بر اهداف مختلف توان‌بخشی مانند کنترل تعادل، تقویت اندام تحتانی و آمادگی هوازی تمرکز دارد؛ اما توانایی‌های افراد بزرگسال برای انجام این تمرینات محدود است؛ چرا که کاهش طول گام در راه رفتن به عقب در آنان قابل توجه بوده و آن‌ها صرفا به افزایش سرعت متکی هستند و نتیجتا در افزایش همزمان طول و سرعت گام ناتوان نشان می‌دهند که ممکن است یکی از دلایل آن افزایش ترس از زمین خوردن باشد (۵۶). لذا به نظر می‌رسد این موضوع نیز نتایج تحقیق ما را تحت تاثیر قرار داده باشد؛ بنابراین ضروری است بررسی‌های بیشتری در تحقیقات آینده صورت گیرد.

در تحقیق حاضر محدودیت‌هایی وجود داشت که از جمله می‌توان به عدم کنترل الگوی تغذیه، خواب و فعالیت‌های خارج از پروتکل تمرین شرکت‌کنندگان اشاره نمود که ممکن است نتایج تحقیق را دستخوش تغییر کرده باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تمرینات ترکیبی با تاکید بر فعالیت‌های هوازی راه‌رفتن – دویدن به عقب، تاثیر قابل توجهی بر شاخص‌های عملکرد بدنی در افراد میانسال دارند و می‌توانند منجر به بهبود ترکیب بدن و تغییرات معنی‌داری در نسبت قدرت عضلات چهارسر ران به همسترینگ گردند؛ اما به نظر می‌رسد برای اثربخشی بیشتر این نوع تمرینات بر شاخص‌های مذکور در افراد میانسال، طول دوره تمرینی حداقل باید به ۱۲ هفته (چهار جلسه در هفته) افزایش یابد و از طرفی تمرینات تعادلی نیز همزمان با تمرینات ترکیبی در برنامه تمرینی گنجانده شود. با این حال از آن جا که روش‌های تمرینی خاص مورد استفاده در مطالعات انجام شده متفاوت است، شواهد برای اکثر مطالعات محدود است و اکثر مولفه‌های عملکرد بدنی هنوز برای اثبات، نیاز به تحقیقات بیشتری دارد؛ لذا ضروری است در طراحی برنامه تمرین، انعطاف‌پذیری لازم متناسب با توانایی‌های افراد، محدودیت‌های زمانی و اهداف تمرینات خاص، لحاظ گردد.

تشکر و قدردانی

از مدیران محترم دانشکده تربیت بدنی دانشگاه فردوسی به لحاظ در اختیار قرار دادن فضاها و امکانات ورزشی و هم چنین از تمامی آزمودنی‌ها که در این تحقیق مشارکت نمودند سپاس‌گزاری می‌گردد.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع

1. Dolberg P, Ayalon L. Subjective meanings and identification with middle age. The International Journal of Aging and Human Development. 2018;87(1):52-76. doi.org/10.1177/0091415017721932.
2. Straight CR, Lindheimer JB, Brady AO, Dishman RK, Evans EM. Effects of resistance training on lower-extremity muscle power in middle-aged and older adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Sports Medicine. 2016;46:353-64. doi:10.1007/s40279-015-0418-4.
3. Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Singh MAF, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ, et al. Exercise and physical activity for older adults. Medicine & science in sports & exercise. 2009;41(7):1510-30. doi:10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c.
4. Borzuola R, Giombini A, Torre G, Campi S, Albo E, Bravi M, et al. Central and peripheral neuromuscular adaptations to ageing. Journal of clinical medicine. 2020;9(3):741. doi.org/10.3390/jcm9030741.
5. III LJM, Khosla S, Crowson CS, OConnor MK, OFallon WM, Riggs BL. Epidemiology of sarcopenia. Journal of the American Geriatrics Society. 2000;48(6):625-30. doi.org/10.1111/j.1532-5415.2000.tb04719.
6. Gomes MJ, Martinez PF, Pagan LU, Damatto RL, Cezar MDM, Lima ARR, et al. Skeletal muscle aging: influence of oxidative stress and physical exercise. Oncotarget. 2017;8(12):20428. doi:10.18632/oncotarget.14670.
7. Dickinson JM, Volpi E, Rasmussen BB. Exercise and nutrition to target protein synthesis impairments in aging skeletal muscle. Exercise and sport sciences reviews. 2013;41(4):216-23. doi:10.1097/JES.0b013e3182a4e699.
8. Konopka AR, Harber MP. Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. Exercise and sport sciences reviews. 2014;42(2):53-61. doi:10.1249/JES.0000000000000007.
9. Cooper R, Strand BH, Hardy R, Patel KV, Kuh D. Physical capability in mid-life and survival over 13 years of follow-up: British birth cohort study. Bmj. 2014;348. doi.org/10.1136/bmj.g2219.
10. Straight CR, Brady AO, Evans EM. Muscle quality in older adults: what are the health implications? American Journal of Lifestyle Medicine. 2015;9(2):130-6. doi:org/10.1177/1559827613510681.
11. Cadore EL,Pinto RS, Alberton CL, Pinto SS, Lhullier FLR, Tartaruga MP, et al. Neuromuscular economy, strength, and endurance in healthy elderly men. The Journal of Strength & Conditioning Research 2011;25(4):997-1003. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d650ba.
12. Gao J, Yu L. Effects of concurrent training sequence on VO2max and lower limb strength performance: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Physiology. 2023;14:1072679. doi.org/10.3389/fphys.2023.1072679.
13. Sadeghi H, Prince F, Zabjek KF, Allard P. Sagittal-hip-muscle power during walking in old and young able-bodied men. Journal of Aging and Physical Activity. 2001;9(2):172-83. doi:org/10.1123/japa.9.2.172.
14. Rankin JK, Woollacott MH, Shumway-Cook A, Brown LA. Cognitive influence on postural stability: a neuromuscular analysis in young and older adults. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. 2000;55(3):M112-M9. doi.org/10.1093/gerona/55.3.M112.
15. Kachanathu SJ, Alenazi AM, Algarni AD, Hafez AR, Hameed UA, Nuhmani S, et al. Effect of forward and backward locomotion training on anaerobic performance and anthropometrical composition. Journal of physical therapy science. 2014;26(12):1879-82. doi:org/10.1589/jpts.26.1879.
16. Adesola A, Azeez O. Comparison of cardio-pulmonary responses to forward and backward walking and running. African Journal of Biomedical Research. 2009;12(2):95-100.
17. Cavagna G, Legramandi M, La Torre A. An analysis of the rebound of the body in backward human running. Journal of Experimental Biology. 2012;215(1):75-84. doi.org/10.1242/jeb.057562.
18. Swati K, Ashima C, Saurabh S. Efficacy of backward training on agility and quadriceps strength. Elixir Humam Physiol. 2012;53:11918-21. https://www.elixirpublishers.com

19. Uthoff A, Oliver J, Cronin J, Harrison C, Winwood P. A new direction to athletic performance: understanding the acute and longitudinal responses to backward running. Sports Medicine. 2018;48:1083-96. doi.org/10.1007/s40279-018-0877-5.
20. Wang J, Xu J, An R. Effectiveness of backward walking training on balance performance: A systematic review and meta-analysis. Gait & posture. 2019;68:466-75. doi:org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.002.
21. Maritz CA, Pigman J, Gravare Silbernagel K, Crenshaw J. Effects of backward walking training on balance, mobility, and gait in community-dwelling older adults. Activities, Adaptation & Aging. 2021;45(3):202-16. doi:org/10.1080/01924788.2020.1757329.
22. Kachanathu SJ, Hafez AR, Zakaria AR. Efficacy of backward versus forward walking on hamstring strain rehabilitation. International journal of therapies and rehabilitation research. 2013;2(1):8. doi: 10.5455/ijtrr.00000017.
23. Su Z, Su Y, Wang D. Effect of combined aerobic exercises on the physical health of the elderly without exercise comprehensive review. International Neurourology Journal. 2024;28(1):515-29. doi: 10.5123/inj.2024.1.inj58.
24. Bai X, Soh KG, Omar Dev RD, Talib O, Xiao W, Soh KL, et al. Aerobic exercise combination intervention to improve physical performance among the elderly: a systematic review. Frontiers in Physiology. 2022;12:798068. doi:org/10.3389/fphys.2021.798068.
25. Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM. Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. Journal of the American Geriatrics Society. 2004;52(6):901-8. doi:org/10.1111/j.1532-5415.2004.52256.x.
26. Yan P, Luo J, Zhang T, Wang X, Zhang X, Zhang L, et al. Physical fitness effect of three backward walking exercises intervention in overweight male college students. International Journal of Science. 2015;2(3):1-7.
27. Palmer TB, Akehi K, Thiele RM, Smith DB, Thompson BJ. Reliability of panoramic ultrasound imaging in simultaneously examining muscle size and quality of the hamstring muscles in young, healthy males and females. Ultrasound in medicine & biology. 2015;41(3):675-84. doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.10.011.
28. Pinto RS, Correa CS, Radaelli R, Cadore EL, Brown LE, Bottaro M. Short-term strength training improves muscle quality and functional capacity of elderly women. Age. 2014;36:365-72. doi: org/10.1007/s11357-013-9567-2.
29. Parraca JA, Olivares Sánchez-Toledo PR, Carbonell Baeza A, Aparicio García-Molina VA, Adsuar Sala JC, Gusi Fuertes N. Test-retest reliability of Biodex Balance SD on physically active old people. J Hum Sport Exer. 2011;6(2):444-451. doi: 10.4100/jhse.2011.62.25.
30. Markov A, Hauser L, Chaabene H. Effects of concurrent strength and endurance training on measures of physical fitness in healthy middle-aged and older adults: a systematic review with meta-analysis. Sports Medicine. 2023;53(2):437-55. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01764-2.
31. Hakkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, Jokelainen K, Lassila H, Malkia E, et al. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. Journal of applied physiology. 1998;84(4):1341-9. doi.org/10.1152/jappl.1998.84.4.1341.
32. Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2010;20(1):49-64. doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01084.x.
33. Basualto-Alarcon C, Jorquera G, Altamirano F, Jaimovich E, Estrada M. Testosterone signals through mTOR and androgen receptor to induce muscle hypertrophy. Medicine and science in sports and exercise. 2013;45(9):1712-20. doi.org/10.1249/mss.0b013e31828cf5f3.
34. Mikkola J, Rusko H, Izquierdo M, Gorostiaga E, Häkkinen K. Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. International journal of sports medicine. 2012;33(09):702-10. dx.doi.org/ 10.1055/s-0031-1295475.
35. Wilhelm EN, Rech A, Minozzo F, Botton CE, Radaelli R, Teixeira BC, et al. Concurrent strength and endurance training exercise sequence does not affect neuromuscular adaptations in older men. Experimental gerontology 2014;60:207-14. doi.org/10.1016/j.exger.2014.11.007.
36. Cadore EL, Izquierdo M, Alberton CL, Pinto RS, Conceicao M, Cunha G, et al. Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. Experimental gerontology. 2012;47(2):164-9. doi.org/10.1016/j.exger.2011.11.013.
37. Widodo AF, Tien C-W, Chen C-W, Lai S-C, Isotonic and isometric exercise interventions improve the hamstring muscles' strength and flexibility: A narrative review. Healthcare; 2022: MDPI. doi.org/10.3390/healthcare10050811.

38. Whitley CR, Dufek JS. Effects of backward walking on hamstring flexibility and low back range of motion. International Journal of Exercise Science. 2011;4(3):4. doi.org/10.70252/CRZW7475.
39. Hao W-Y, Chen Y. Backward walking training improves balance in school-aged boys. Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology. 2011;3:1-7. doi.org/10.1186/1758-2555-3-24.
40. Lazarczuk SL, Collings TJ, Hams AH, Timmins RG, Shield AJ, Barrett RS, et al. Hamstring muscle-tendon geometric adaptations to resistance training using the hip extension and nordic hamstring exercises. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2024;34(9):e14728. doi.org/10.1111/sms.14728.
41. Russ DW, Gregg-Cornell K, Conaway MJ, Clark BC. Evolving concepts on the age-related changes in "muscle quality". Journal of cachexia, sarcopenia and muscle. 2012;3:95-109. doi.org/10.1007/s13539-011-0054-2.
42. Evangelidis PE, Massey GJ, Pain MT, Folland JP. Strength and size relationships of the quadriceps and hamstrings with special reference to reciprocal muscle balance. European journal of applied physiology. 2016;116:593-600. doi.org/10.1007/s00421-015-3321-7.
43. Lusa Cadore E, Pinto RS, Bottaro M, Izquierdo Redín M. Strength and endurance training prescription in healthy and frail elderly. Aging and Disease, 2014;5(3):183-195. doi.org/10.14336/AD.2014.0500183.
44. Rafique N, Nizami GN, Rafique A. Effectiveness of isotonic exercises on quadriceps-hamstring strangth ratio in osteoarthritic females. Pakistan Journal of Rehabilitation. 2013;2(2):15-20. doi.org/10.1152/jappl.1995.78.3.976.
45. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, et al. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. Journal of applied physiology. 1995;78(3):976-89. doi.org/10.1152/jappl.1995.78.3.976.
46. Nader GA. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. Medicine and science in sports and exercise. 2006;38(11):1965. doi: 10.1249/01.mss.0000233795.39282.33.
47. Clary S, Barnes C, Bemben D, Knehans A, Bemben M. Effects of ballates, step aerobics, and walking on balance in women aged 50–75 years. Journal of sports science & medicine. 2006;5(3):390-399. https://www.jssm.org/vol5/n3/5/v5n3-5text.php.
48. Zhong S, Chen C, Thompson L. Sarcopenia of ageing: functional, structural and biochemical alterations. Brazilian journal of physical therapy. 2007;11:91-7. doi.org/10.1590/S1413-35552007000200002.
49. Lacroix A, Hortobagyi T, Beurskens R, Granacher U. Effects of supervised vs. unsupervised training programs on balance and muscle strength in older adults: a systematic review and meta-analysis. Sports medicine. 2017;47:2341-61. doi.org/10.1007/s40279-017-0747-6.
50. Dunsky A, Yahalom T, Arnon M, Lidor R. The use of step aerobics and the stability ball to improve balance and quality of life in community-dwelling older adults–a randomized exploratory study. Archives of gerontology and geriatrics. 2017;71:66-74. doi.org/10.1016/j.archger.2017.03.003.
51. Peters E, Pritzkuleit R, Beske F, Katalinic A. Demographic change and disease rates: a projection until 2050. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz. 2010;53:417-26. doi.org/10.1007/s00103-010-1050-y.
52. Sousa N, Mendes R, Silva A, Oliveira J. Combined exercise is more effective than aerobic exercise in the improvement of fall risk factors: a randomized controlled trial in community-dwelling older men. Clinical rehabilitation. 2017;31(4):478-86. doi: 10.1177/0269215516655857. Epub 2016 Jul 10.
53. Canii U, Prieto-Gonzaiez P. Following changes in balance and cognitive performance on healthy middleaged people: Evaluation of the effect of two types of concurrent training. Human Movement.24(4):98-109. doi.org/10.5114/hm.2023.133923.
54. Silva JC, Brandão EM, Puga GM, Kanitz AC. The execution order of the concurrent training and its effects on static and dynamic balance, and muscle strength of elderly people. Motriz: Journal of Physical Education. 2022;28:e10220001922. doi: 10.1590/s1980-657420220001922.
55. Lentejas JPR, Sandoval MAS, Evangelista TJP, Buenaluz-Sedurante MD, Velayo CLL. The effect of resistance, aerobic, and concurrent aerobic and resistance exercises on inflammatory markers of metabolically healthy overweight or obese adults: A systematic review and meta-analysis. Acta Medica Philippina. 2023. doi.org/10.47895/amp.vi0.7315.
56. Laufer Y. Effect of age on characteristics of forward and backward gait at preferred and accelerated walking speed. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. 2005;60(5):627-32. doi.org/10.1093/gerona/60.5.627.