

Original Article

Hypertrophic and hormonal responses to one session of resistance training with two different protocols in men's sprint runnerDiyar Mohammed Ali Albajalan[✉], Naser Rostamzadeh[✉], Dariush Sheikholeslami-Vatani^{*✉}

Department of physical Education and Sport Sciences, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Abstract

Background and Purpose: Resistance training (RT) is an effective program for creating hormonal, functional and structural adaptations, so that manipulation of its variables induces different adaptations. Changes in the secretion rate and serum level of hormones following resistance training is the main factor in protein synthesis and hypertrophy of skeletal muscles. Therefore, the purpose of this study was to investigate hypertrophic and hormonal responses to two different resistance exercise protocols in male sprint runners.

Materials and Methods: Forty-five male volunteers (age, 21.0 ± 1.7 yrs; weight, 67.5 ± 4.4 kg and BMI, 22 ± 1 kg/m²) were randomly divided into three groups of high-load training, low-load training and control. The exercise protocol included seven movements (chest press, leg extension, biceps, standing shoulder press, seated leg press, lat pull down and triceps), three sets at 70% of 1-RM to failure for training group with high load, and three sets at 30% of 1-RM to failure for training group with low load, whereas control group had no activity. Thickness of biceps and vastus lateralis and serum levels of cortisol, IGF-1, testosterone hormones and testosterone/cortisol (T/C) ratio were measured at two stages (pre-test and 30 minute after the RT). The Shapiro–Wilk and the Levine tests were performed to confirm the normality of data distribution and the homogeneity of variances, respectively.

Results: The result of paired-sample t-test showed that serum concentration of testosterone ($P=0.005$), IGF-1 ($P=0.004$), cortisol ($P=0.002$), T/C ($P<0.001$), thickness of biceps ($P<0.001$) and thickness of vastus lateralis ($P<0.001$) were increased only in RT group with high load. In addition, the results of ANOVA and Bonferroni's post-hoc test showed that concentration of testosterone, IGF-1, cortisol and T/C, as well as thickness of biceps and vastus lateralis in high-load training group was significantly higher than the low-load training ($P<0.05$) and control ($P<0.05$) groups.

Conclusion: Although one session of resistance training at 30% of 1RM did not lead to significant changes in the serum level of hormones and hypertrophy, it seems that hypertrophy after acute resistance training protocol at 70% of 1-RM (with repetition to failure) is due to hormonal changes induced by metabolic stress.

Keywords: Testosterone, Cortisol, Resistance Exercise, IGF-1, Muscle Thickness

How to cite this article: Mohammed Ali Albajalan D, Rostamzadeh N, Sheikholeslami-Vatani D. Hypertrophic and hormonal responses to one session of resistance training with two different protocols in male sprint runners. *J Sport Exerc Physiol.* 2023; 16(2):1-13.

*Corresponding Author's E-mail: d.vatani@uok.ac.ir
<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103402>

پاسخ‌های هایپرتروفی و هورمونی به یک جلسه تمرین مقاومتی با دو پروتکل متفاوت در مردان دوندۀ سرعتی

دیار محمدعلی الباجلان¹، ناصرستم‌زاده²، داریوش شیخ‌الاسلامی وطنی^{3*}

گروه تربیت بدنی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده

زمینه و هدف: تمرین مقاومتی برنامه‌ای مؤثر برای ایجاد سازگاری‌های هورمونی، عملکردی و ساختاری است که دستکاری متغیرهای آن موجب القای سازگاری‌های متفاوتی می‌شود. تغییر در میزان ترشح و سطح سرمی هورمون‌ها بر اثر تمرین مقاومتی اصلی‌ترین عامل در ساخت پروتئین و هایپرتروفی عضلات اسکلتی است و این تغییرات هورمونی موجب سازگاری‌های حاد و مزمن در سطح مقطع عضله می‌شود، بنابراین هدف این پژوهش بررسی پاسخ‌های هایپرتروفی و هورمونی به یک جلسه تمرین مقاومتی با دو شیوۀ متفاوت در مردان دوندۀ سرعتی بود.

مواد و روش‌ها: بدین منظور ۴۵ داوطلب مرد دوندۀ (سن ۲۱ ± ۷/۱ سال، وزن ۴/۳۵ ± ۶۷/۵ کیلوگرم و شاخص توده بدن ۱/۰۳ ± ۲۲ کیلوگرم بر متر مربع) به صورت تصادفی در سه گروه ۱۵ نفره (گروه تمرینی با بار زیاد، گروه تمرینی با بار کم و گروه کنترل) تقسیم شدند. شیوۀ تمرین شامل هفت حرکت (پرس سینه با هالتر، پرس پا، جلو بازو هالتر، پرس شانه ایستاده با هالتر، پشت پا ماشین، زیر بغل سیم و پشت بازو ماشین) هر حرکت سه نوبت با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه، تکرار تا سر حد خستگی برای گروه تمرینی با بار زیاد، هفت حرکت (پرس سینه با هالتر، پرس پا، جلو بازو هالتر، پرس شانه ایستاده با هالتر، پشت پا ماشین، زیر بغل سیم و پشت بازو ماشین)، هر حرکت سه نوبت با شدت ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه، تکرار تا سر حد خستگی برای گروه تمرینی با بار کم و بدون فعالیت برای گروه کنترل بود. ضخامت عضلات دوسر بازو و پهن خارجی و سطوح سرمی هورمون‌های کورتیزول، IGF-1 و تستوسترون در دو مرحله (پیش‌آزمون و نیم ساعت پس از یک جلسه تمرین) اندازه‌گیری شد. آزمون‌های شاپیروویلیک و لوین به ترتیب برای تأیید طبیعی بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها انجام گرفت.

نتایج: نتایج آزمون تی زوجی نشان داد که غلظت پلاسمایی تستوسترون ($P=0/005$)، IGF-1 ($P=0/004$)، کورتیزول ($P=0/002$)، T/C ($P<0/001$)، ضخامت عضله دوسر بازو ($P<0/001$) و ضخامت عضله پهن جانبی ($P<0/001$) فقط در گروه تمرینی با بار زیاد نسبت به پیش‌آزمون افزایش یافت. همچنین نتایج آنوا و آزمون تعقیبی بن‌فرونی نشان داد که میانگین غلظت پلاسمایی تستوسترون، IGF-1، کورتیزول، T/C، ضخامت عضله دوسر بازو و عضله پهن جانبی در گروه تمرینی با بار زیاد نسبت به گروه تمرینی با بار کم ($P\leq 0/05$) و گروه کنترل ($P\leq 0/05$) در پس‌آزمون به‌طور معناداری بالاتر بود.

نتیجه‌گیری: تمرین مقاومتی با شدت ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه تغییر معناداری در سطح سرمی هورمون‌ها و هایپرتروفی ایجاد نکرد و به نظر می‌رسد که هایپرتروفی ایجاد شده پس از یک جلسه تمرین مقاومتی حاد با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه (و با تکرارهایی تا رسیدن به خستگی) ناشی از تغییرات هورمونی به دلیل فشار متابولیک باشد.

واژه‌های کلیدی: تستوسترون، کورتیزول، فعالیت مقاومتی، IGF-1، ضخامت عضلانی

نحوه استناد به این مقاله: محمدعلی الباجلان د، رستم‌زاده ن، شیخ‌الاسلامی وطنی د. پاسخ‌های هایپرتروفی و هورمونی به یک جلسه تمرین مقاومتی با دو پروتکل متفاوت در مردان دوندۀ سرعتی. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی، ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۱-۱۳.

* رایانامۀ نویسنده مسئول: d.vatani@uok.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

مقدمه

برنامه مقاومتی، اغلب بارهای سنگین توصیه می‌شود (۱۱). پیشنهاد تمرین مقاومتی با بار زیاد برای به اوج رساندن هایپرتروفی بر پایه اصل اندازه‌دهی (Henneman) است. هنمن و همکاران (۱۹۶۵) بیان کردند که استفاده واحدهای حرکتی با آستانه بالا به شدت محرک بستگی دارد و واحدهای حرکتی بیشتری برای انقباض در ۸۰ درصد IRM نسبت به ۳۰ درصد IRM به کار گرفته می‌شوند (۱۲). ولی برخی پژوهشگران اخیراً انجام فعالیت سنگین مقاومتی برای ایجاد سازگاری‌های عضلانی را به چالش می‌کشند و ادعا می‌کنند که فراخوان کامل واحدهای حرکتی با بار کم هم (به شرط انجام تکرارها تا زمانی که عضله از انجام حرکت ناتوان شود) امکان‌پذیر است (۱۳). در این زمینه بارد و همکاران (۲۰۱۰) نشان داده‌اند که تمرین مقاومتی با شدت ۳۰ درصد IRM تا سر حد خستگی به اندازه تمرین مقاومتی با ۹۰ درصد IRM برای تحریک ساخت پروتئین عضلانی و پیام‌دهی آنابولیک مؤثر است (۱۴). با این حال، نتایج پژوهش‌ها هنوز ثابت نکرده است که آیا فراخوانی واحدهای حرکتی در تمرین مقاومتی با شدت کم با فراخوانی واحدهای حرکتی در تمرین مقاومتی با شدت زیاد قابل مقایسه است یا نه (۱۵). برخی پژوهشگران بر این باورند که در یک دوره تمرین مقاومتی، هر جلسه به افزایش ساخت پروتئین عضلات منجر می‌شود، در نتیجه شاید انتظار افزایش چشمگیری در هایپرتروفی عضلانی در مرحله اولیه برنامه وجود داشته باشد (۱۶، ۱۷). با این همه، بیشتر پژوهشگران بیان می‌کنند که افزایش اولیه در اندازه عضلانی به احتمال زیاد به تورم عضلانی ناشی از خیز مرتبط است و گزارش شده است که ورزش شدید موجب ایجاد خیز عضلانی گذرا در حین و پس از ورزش می‌شود (۱۸). افزون بر این تعداد محدودی از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که هایپرتروفی سارکوپلاسمی نیز شاید تا حدودی به افزایش اندازه عضلات در پاسخ حاد به انواع مختلف تمرین مقاومتی کمک کند (۱۹). هایپرتروفی سارکوپلاسمی را می‌توان به عنوان افزایش نامتناسب در حجم سارکوپلاسم و اجزای آن بلافاصله پس از تمرین مقاومتی تعریف کرد. به عبارت دیگر، هایپرتروفی سارکوپلاسمی شاید از طریق افزایش اجزای سلولی غیر از میوفیبریل‌ها (مانند مایع، آنزیم‌ها و اندامک‌ها) رخ دهد. هایپرتروفی سارکوپلاسمی شاید زودتر در فرایند هایپرتروفی رخ دهد تا سلول را از نظر فضایی و انرژی برای هایپرتروفی میوفیبریل‌ها آماده کند (۱۹).

عوامل اصلی شناخته شده برای تأثیر بر عملکرد دویدن شامل مصرف اکسیژن بیشینه (VO_{2max})، آستانه لاکتات (LT) و اقتصاد دویدن است و به طور معمول دوندگان به منظور بهبود این عوامل اغلب از فعالیت هوازی استفاده می‌کنند (۱). با این همه، دونده‌های حرفه‌ای شاید سطح مشابهی از VO_{2max} و LT و اقتصاد در حال اجرا را نشان دهند و ظرفیت بی‌هوازی شاید عاملی اصلی در عملکرد آنان باشد (۲). یافته‌های فعلی استفاده از تمرینات مقاومتی برای بهبود اقتصاد دویدن را در دوندگان به اثبات رسانده‌اند (۲، ۳). فعالیت‌های مقاومتی این تصور را به چالش می‌کشد که بهبود عملکرد دویدن تنها از طریق تمرین هوازی حاصل می‌شود. نتایج پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که قدرت و هایپرتروفی عضلانی نیز شاید برای افزایش عملکرد دویدن از طریق تغییرات عصبی (افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی و هماهنگی بین آن‌ها) و عضلانی (افزایش فعالیت آنزیم‌های بی‌هوازی، افزایش تولید نیرو و افزایش گلیکوژن عضلانی) به خصوص برای دوندگان سرعتی مهم باشد (۴). تمرین مقاومتی به دلیل ترکیبی از عوامل بی‌شمار از جمله فشار مکانیکی، کنترل عصبی، نیازهای متابولیکی و فعالیت‌های غدد درون‌ریز، تأثیر مهمی در افزایش اندازه و قدرت عضله اسکلتی دارد، به طوری که هایپرتروفی ناشی از تمرین مقاومتی توسط یک آبشار پیچیده از مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیک و کاتابولیک تسهیل می‌شود که به موجب آن تعادل پروتئین عضله تغییر می‌یابد تا ساخت پروتئین بیش از تخریب آن باشد (۵). همچنین بیشینه نیرویی که می‌تواند توسط یک عضله ایجاد شود، به طور مستقیم با سطح مقطع آن متناسب است (۶، ۷).

تمرین مقاومتی برنامه‌ای مؤثر برای ایجاد سازگاری‌های هورمونی، عملکردی و ساختاری و یا جلوگیری از آتروفی عضلانی است که دستکاری متغیرهای آن مانند فاصله استراحت، مقدار بار، حجم و شدت موجب القای سازگاری‌های عضلانی متفاوتی می‌شود (۸، ۹). شیوه‌های کنونی بیانگر آن‌اند که برای افزایش مطلوب هایپرتروفی، تمرین مقاومتی با شدت ۶۵ درصد یک تکرار بیشینه (One Repeated Maximum (IRM)) لازم است و برای به بیشینه رساندن قدرت و فراخوانی کامل واحدهای حرکتی، شدتی بالاتر از این مورد نیاز است (۱۰). بنابراین برای به اوج رساندن هایپرتروفی در پاسخ به یک

دو پروتکل مختلف بر تغییرات هورمونی و ساختاری عضلات در ورزشکاران رشته دو و میدانی (دوی سرعت) بود.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: این پژوهش یک کارآزمایی بالینی تصادفی‌سازی شده بود که در آن افراد از طریق فراخوان در یک طرح ۳×۲ (سه گروه در دو مرحله اجرا) بررسی شدند. مردان دانشجوی سالم دوومیدانی کار (رشته ۱۰۰ متر سرعت با میانگین رکورد ۱۱/۴۸ ثانیه و ۲۰۰ متر سرعت با میانگین رکورد ۲۲/۱۳ ثانیه) با دامنه سنی ۲۰-۲۳ سال نمونه آماری پژوهش را تشکیل دادند. از بین آن‌ها ۴۵ نفر که دارای معیارهای ورود به پژوهش بودند، پس از فراخوانی از طریق اعلامیه، افراد داوطلب، به صورت تصادفی انتخاب و در سه گروه ۱۵ نفری شامل گروه تمرین مقاومتی بار زیاد (سن ۲۱±۶/۱ سال، وزن ۶۷/۵±۴/۹ کیلوگرم، شاخص توده بدن ۲۲/۴۹±۱/۰۹ مترمربع)، گروه تمرین مقاومتی با بار کم (سن ۲۱±۱/۷ سال، وزن: ۶۷/۴±۴/۷ کیلوگرم، شاخص توده بدن: ۲۱/۸±۰/۸ کیلوگرم بر مترمربع) و گروه کنترل (سن ۲۱/۸±۰/۳ سال، وزن ۶۷/۴±۴/۰۴ کیلوگرم، شاخص توده بدن ۲۲/۵۱±۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمربع) جایگزین شدند (جدول ۱). معیارهای ورود شرکت‌کنندگان به پژوهش عبارت بود از: نداشتن هرگونه بیماری و مصرف دارو و مکمل در سه ماه گذشته، نداشتن تمرین مقاومتی منظم طی شش ماه گذشته و داشتن شاخص توده بدن کمتر از ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع. یک هفته پیش از شروع مرحله اجرایی پژوهش، جلسه آشنایی افراد با اهداف پژوهش و ماهیت و نوع حرکات مقاومتی برگزار شد. سپس ضمن توضیح برخی خطرهای احتمالی، برگه‌های مربوط به سلامت و میزان فعالیت آزمودنی‌ها و همچنین برگه رضایت‌نامه از شرکت‌کنندگان دریافت شد. این پژوهش توسط کمیته اخلاق دانشگاه کردستان با کد IR.UOK.REC.1400.010 تأیید و در سامانه ثبت کارآزمایی بالینی با کد IRCT20140512017675N3 ثبت شد. در ادامه، یک جلسه توجیهی برای آشنا کردن افراد با نحوه انجام دادن فعالیت‌های مقاومتی در سالن ورزشی محل اجرای تمرین‌ها برگزار شد.

روش اجرای پژوهش: برنامه تمرین مقاومتی شامل هفت حرکت به ترتیب (پرس سینه با هالتر، پرس پا، جلوپازو هالتر، پرس شانه ایستاده با هالتر، پشت پا

تغییر در میزان ترشح و سطح سرمی هورمون‌ها بر اثر تمرین مقاومتی، اصلی‌ترین عامل در ساخت پروتئین و هایپرتروفی عضلات اسکلتی است. در این میان هورمون‌های رشد، IGF-1 و تستوسترون ساخت پروتئین و توده عضله را افزایش می‌دهند و با تأثیر آنابولیکی خود بر عضله اسکلتی و دستگاه عصبی موجب افزایش بیان بسیاری از ژن‌هایی که در افزایش قدرت، استقامت و توان عضلانی نقش دارند، می‌شوند، درحالی‌که کورتیزول اثر کاتابولیک روی پروتئین‌های میوفیبریل دارد (۲۰). این تغییرات هورمونی موجب سازگاری‌های حاد یا مزمن در سطح مقطع عضله (Cross Sectional Area (CSA) یا ضخامت عضله (Muscle Thickness (MT) می‌شود (۲۱)، (۲۲). فعالیت با بار (بیش از ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه) زیاد شاید موجب تورم بیشتر عضلانی شود، بنابراین شاید پاسخ پیام‌رسانی آنابولیک بیشتری را القا کند و هایپرتروفی عضلانی را افزایش دهد (۱). در این زمینه جنکیس و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که تمرین مقاومتی با شدت بالا (۸۰ درصد یک تکرار بیشینه) موجب تورم عضلانی بیشتری نسبت به تمرین مقاومتی با شدت کمتر (۳۰ درصد یک تکرار بیشینه) شد (۲۳).

بیشتر تحقیقات قبلی تأثیر یک جلسه تمرین مقاومتی را بر سازگاری‌های هورمونی و عملکردی (قدرت و استقامت) بررسی کرده‌اند و کمتر به تغییرات ساختاری (ضخامت عضلانی) ناشی از فعالیت مقاومتی حاد با پروتکل‌های مختلف پرداخته شده است، درحالی‌که اندازه‌گیری حجم و ضخامت عضلانی بلافاصله پس از یک جلسه تمرین مقاومتی شاید پیش‌بینی خوبی برای هایپرتروفی عضلانی در طولانی‌مدت باشد (۲۴). تورم حاد عضلانی بیشتر شاید با هایپرتروفی مزمن عضلانی همراه باشد. از آنجا که هایپرتروفی عضلانی ناشی از جلسات مکرر تمرین مقاومتی است، این امکان وجود دارد که میزان فشار مکانیکی یا متابولیک در عضله اسکلتی ناشی از یک جلسه تمرین مقاومتی بتواند هایپرتروفی عضلانی را پس از جلسات مکرر تمرین مقاومتی به مدت چند هفته پیش‌بینی کند. بنابراین ارزیابی ضخامت عضلانی بلافاصله پس از اولین جلسه تمرین مقاومتی شاید تأثیرات آتی این پروتکل تمرینی را بر هایپرتروفی عضلانی پیش‌بینی کند (۲۵) و به تجویز برنامه تمرین مقاومتی مؤثرتر برای ورزشکاران ورزشی منجر شود. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر یک جلسه تمرین مقاومتی با

برای عضله پهن خارجی درحالی که آزمودنی ایستاده و پاها در حالت کشیده و راحت (بدون انقباض) بودند، نقطه ۵۰ درصدی بین کندیل جانبی استخوان ران و تروکانتر بزرگ ران (تقریباً قسمت میانی عضله چهارسر ران در خط وسط ران) انجام گرفت. ضخامت عضلانی از فاصله بین عضله-سطح بافت چربی زیر پوستی، تا عضله سطح استخوان (عضله مجاور) اندازه‌گیری شد. برای اطمینان، از هر عضله دو تصویر گرفته شد و میانگین آن‌ها لحاظ شد.

به منظور اندازه‌گیری سطح سرمی هورمون‌ها (تستوسترون، کورتیزول، IGF-1 و نسبت تستوسترون به کورتیزول) نمونه‌گیری اولیه، یک ساعت پیش از شروع تمرینات در ساعت هشت صبح و پس از حدود ۱۰ ساعت ناشتایی شبانه به میزان هشت میلی لیتر از ورید بازویی گرفته شد. نمونه‌گیری بعدی نیم ساعت پس از یک جلسه تمرین مقاومتی در شرایطی مشابه با نمونه‌گیری اولیه انجام گرفت (۲۸). نمونه‌های گرفته شده پس از سانتیفریوژ (با سرعت ۳۰۰۰g در دمای چهار درجه به مدت ۱۰ دقیقه) و جداسازی سرم، به روش الیزا با استفاده از کیت‌های تستوسترون، کورتیزول و IGF-1 (Elecsys testosterone, cortisol and IGF-1 Roche Diagnostics GmbH, German) ساخت آلمان بر پایه شیوه‌نامه موجود در دفترچه راهنمای آن‌ها بررسی شدند.

تحلیل آماری: از آزمون شاپیروویک برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها و از آزمون لوین برای بررسی همگنی واریانس‌ها استفاده شد. از روش آماری تحلیل واریانس یک‌راهه و آزمون تعقیبی بنفرونی به منظور بررسی تفاوت بین گروهی، و از آزمون t زوجی به منظور بررسی تفاوت درون گروهی استفاده شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و سطح معناداری برابر و کمتر از ۰/۰۵ تحلیل شدند.

نتایج

نتایج آزمون نشان داد که در مرحله پیش‌آزمون تفاوت معناداری بین گروه‌ها در هیچ‌کدام از متغیرهای پژوهش وجود نداشت ($P > 0/05$).

در مورد سطح سرمی هورمون تستوسترون پس از یک جلسه تمرین تفاوت معناداری بین سه گروه ($F = 25/11, P < 0/001$) مشاهده شد. سطح سرمی هورمون تستوسترون در گروه تمرین مقاومتی با بار زیاد نسبت

ماشین، زیر بغل سیم و پشت بازو ماشین) با هدف قرار دادن همه گروه‌های اصلی عضلانی بدن و بر اساس انتخاب مشترک آن‌ها در برنامه‌های تمرین مقاومتی از نوع بدنسازی و قدرتی طراحی شد. تمرینات در هر دو گروه به صورت یک جلسه به مدت ۹۰ دقیقه (۱۰-۱۵ دقیقه گرم کردن، ۶۰-۷۰ دقیقه فعالیت اصلی و ۵ دقیقه سرد کردن) انجام گرفت. گروه تمرین مقاومتی با بار کم تمرینات را در سه نوبت با شدت ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه تا حد ناتوانی (میانگین ۳۵ تکرار) و گروه تمرین مقاومتی با بار زیاد تمرینات را در سه نوبت با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه تا حد ناتوانی (میانگین ۱۵ تکرار) انجام دادند (۱۰). زمان استراحت بین تمام نوبت‌ها و حرکات ۹۰ ثانیه در نظر گرفته شد. گروه کنترل طی این مدت فقط در برنامه عادی دوومیدانی شرکت داشتند. پیش از شروع تمرینات به منظور تعیین بارهای اولیه فعالیت، گروه‌ها تحت آزمون (1RM) قرار گرفتند که بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (۲۶):

$$= \text{یک تکرار بیشینه} \times (0/02) - 1 / \text{وزنه جابه‌جا شده (کلیوگرم)}$$

(تعداد تکرار $\times 0/02$) - 1 / وزنه جابه‌جا شده (کلیوگرم)

روش‌های آزمایشگاهی: برای اندازه‌گیری میزان ضخامت عضله از تصویربرداری به روش اولتراسوند (Ultrasounds Image (ULI)) دوبعدی استفاده شد که در مقایسه با روش رزونانس مغناطیسی (Magnetic Resonance Image (MRI)) دارای روایی ($r = 0/998$) و اعتبار بالایی ($r = 0/999$) است (۲۷). اندازه‌گیری‌ها در سمت راست بدن در دو محل (عضله دوسر بازویی در اندام فوقانی، و عضله چهارسر رانی (پهن خارجی) در اندام تحتانی) و در دو مرحله پیش‌آزمون (یک ساعت پیش از شروع فعالیت) و پس‌آزمون (نیم ساعت پس از اتمام فعالیت) انجام گرفت. ابتدا محل‌های مورد بررسی توسط کارشناس متخصص با یک ژل محلول در آب آغشته شد. سپس پویشگر اولتراسوند با ۵ تا ۱۰ مگاهرتز (بدون تحریک پوست) روی عضلات قرار گرفت و با جابه‌جایی محدود روی نقاط مورد نظر و در شرایطی که احساس شد کیفیت تصاویر مطلوب است، تصویر روی حافظه رایانه‌ای ذخیره شد. برای مشخص کردن محل دقیق اندازه‌گیری آزمودنی در حالت نشسته و دست در حالت کشیده کنار بدن (بدون انقباض) نقطه ۶۰ درصدی (دیستال) بین اپی کندیل جانبی استخوان بازو و زائده سرشانه‌ای کتف در خط میانی بازو مشخص شد (به منظور اندازه‌گیری دوسر بازویی).

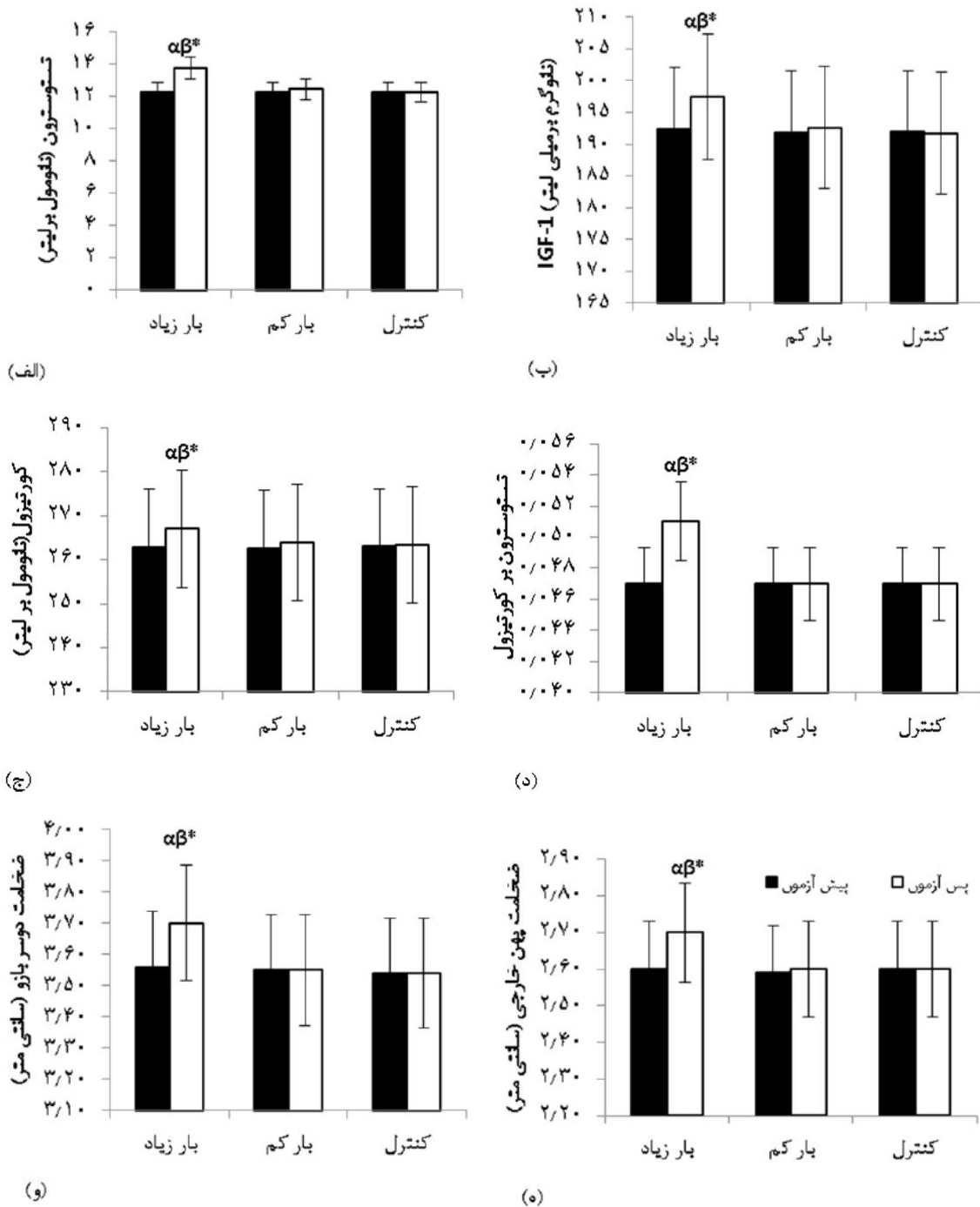
معناداری بین سه گروه ($F=41/5, P=0/008$) مشاهده شد، به طوری که نسبت T/C در گروه مقاومتی با بار زیاد نسبت به گروه مقاومتی با بار پایین ($P<0/001$) و گروه کنترل ($P<0/001$) بالاتر بود. نتایج بررسی های درون گروهی نیز نشان داد نسبت T/C در گروه مقاومتی با بار زیاد در پس آزمون نسبت به پیش آزمون ($P<0/001$)، ۴/۶ درصد) افزایش یافت (شکل ۱-د).

در مورد ضخامت عضله دوسر بازو پس از یک جلسه تمرین، تفاوت معناداری بین سه گروه ($P=0/038$)، $F=22/4$) مشاهده شد. به عبارت دیگر، ضخامت عضله دوسر بازو در گروه فعالیت با بار زیاد نسبت به گروه فعالیت با بار کم ($P=0/001$) و گروه کنترل ($P=0/001$) بیشتر بود، ولی تفاوت معناداری بین گروه مقاومتی با بار پایین و گروه کنترل یک ساعت پس از فعالیت ($P>0/05$) مشاهده نشد (شکل ۱-و). همچنین ضخامت عضله دوسر بازو تنها در گروه مقاومتی با بار زیاد در پس آزمون نسبت به پیش آزمون ($P<0/001$)، $F=93/3$)، ۹۳/۳ درصد) افزایش معناداری داشت (شکل ۲). در ضخامت عضله پهن خارجی پس از یک جلسه تمرین، تفاوت معناداری بین سه گروه ($F=49/3, P=0/041$) مشاهده شد. ضخامت این عضله در گروه با بار زیاد نسبت به گروه با بار پایین ($P=0/012$) و گروه کنترل ($P=0/001$) به طور معناداری بیشتر بود، ولی بین گروه مقاومتی با بار پایین و گروه کنترل یک ساعت پس از فعالیت ($P>0/05$) تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۱-ه). همچنین ضخامت عضله پهن خارجی تنها در گروه فعالیت با بار زیاد در پس آزمون نسبت به پیش آزمون ($P<0/001$)، ۸۴/۳ درصد) افزایش معناداری داشت (شکل ۳).

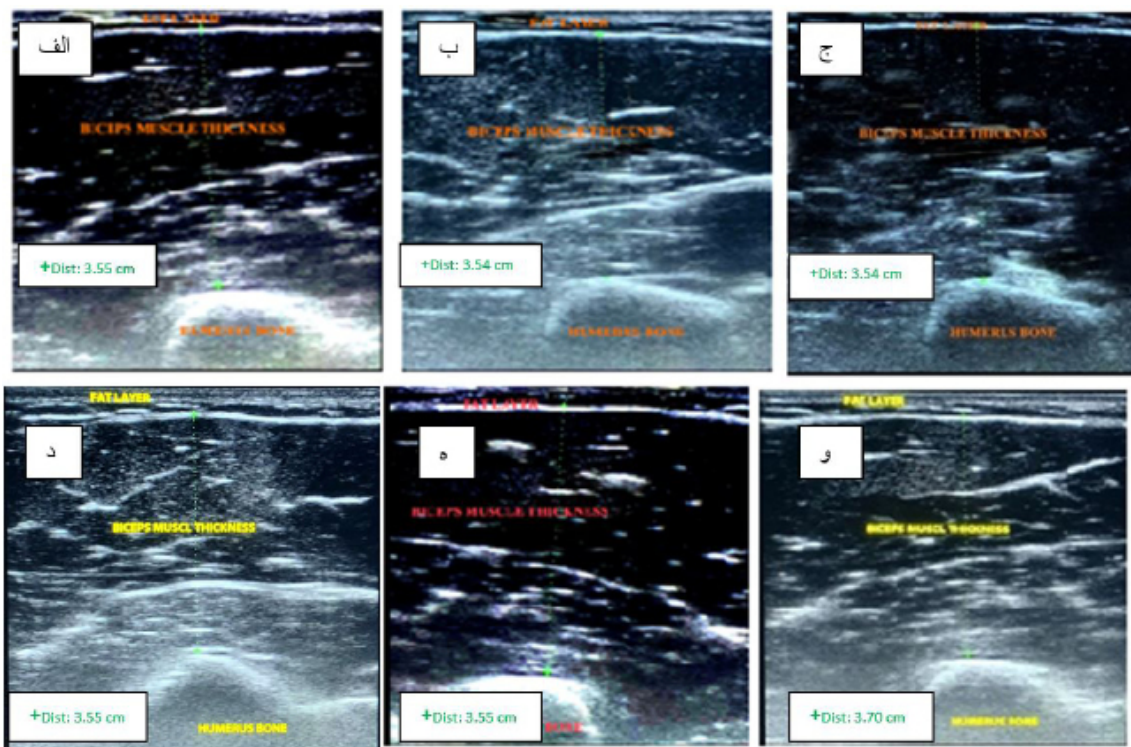
به گروه فعالیت با بار پایین ($P=0/012$) و گروه کنترل ($P<0/001$) به طور معناداری بالاتر بود. علاوه بر این تفاوت معناداری بین گروه مقاومتی با بار پایین و گروه کنترل یک ساعت پس از فعالیت ($P>0/05$) مشاهده نشد. نتایج آزمون t زوجی (بررسی تغییرات درون گروهی) نیز حاکی از آن بود که هورمون تستوسترون تنها در گروه تمرین مقاومتی با بار زیاد در پس آزمون نسبت به پیش آزمون ($P<0/001$)، $F=35/12$)، ۳۵/۱۲ درصد) افزایش معناداری داشت، ولی تفاوت معناداری در گروه های مقاومتی با بار کم و گروه کنترل نسبت به پیش آزمون مشاهده نشد ($P>0/05$) (شکل ۱-الف). در سطح سرمی هورمون IGF-1 پس از یک جلسه تمرین تفاوت معناداری بین سه گروه ($F=66/3, P=0/001$) مشاهده شد، به طوری که IGF-1 در گروه با بار زیاد نسبت به گروه با بار کم ($P=0/037$) و گروه کنترل ($P=0/008$) بالاتر بود. بررسی تغییرات درون گروهی بیانگر افزایش IGF-1 تنها در گروه مقاومتی با بار زیاد در پس آزمون نسبت به پیش آزمون ($P<0/001$)، $F=60/2$)، ۶۰/۲ درصد) بود (شکل ۱-ب). در سطح سرمی هورمون کورتیزول نیز پس از یک جلسه تمرین تفاوت معناداری بین سه گروه ($F=32/5, P=0/001$) مشاهده شد، به گونه ای که مقادیر این هورمون در گروه با بار زیاد نسبت به گروه با بار کم ($P<0/001$) و گروه کنترل ($P<0/001$) بیشتر بود. بررسی های درون گروهی نشان داد کورتیزول تنها در گروه مقاومتی با بار زیاد در پس آزمون نسبت به پیش آزمون ($P<0/001$)، ۵۰/۱ درصد) افزایش معناداری داشت (شکل ۱-ج). در مورد نسبت تستوستون به کورتیزول (Cortisol (T/C) /Testosterone) هم پس از یک جلسه تمرین تفاوت

جدول ۱. مشخصات آنروپومتری آزمودنی ها

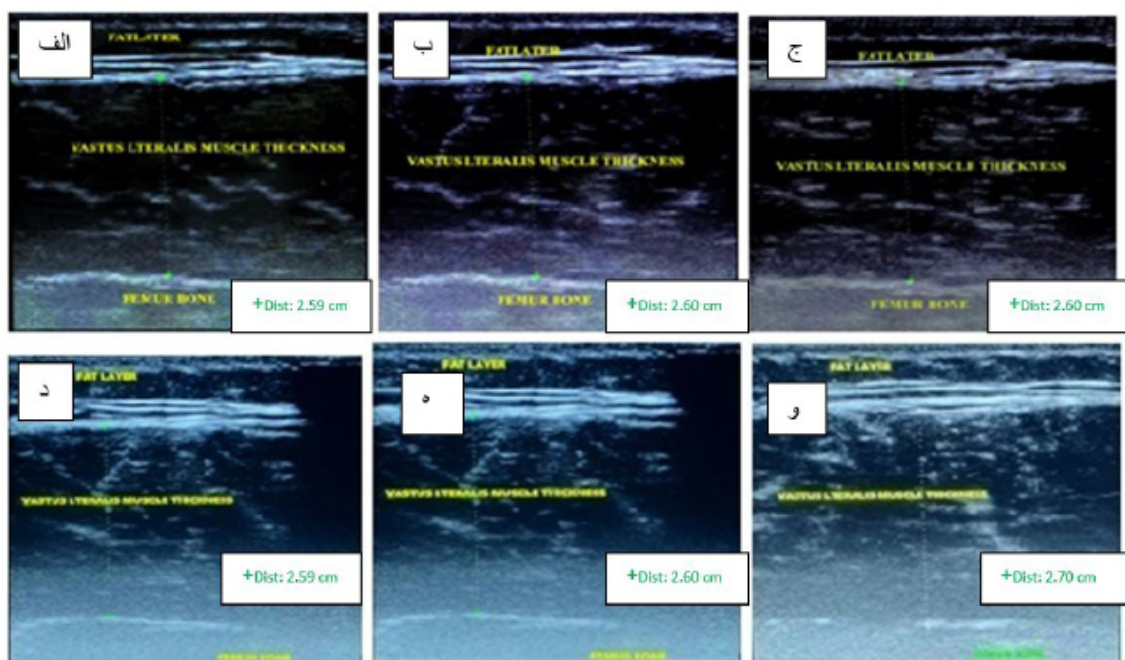
متغیر	انحراف استاندارد ± میانگین
قد (سانتی متر)	۱۷۳/۹±۵/۲
وزن (کیلوگرم)	۶۷/۵±۴/۹
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۲/۵۲±۰/۹۵



شکل ۱. تغییرات هورمونی و ساختاری بر اساس انحراف استاندارد \pm میانگین، الف: تستوسترون؛ ب: IGF-1؛ ج: کورتیزول؛ د: نسبت تستوسترون به کورتیزول (T/C)؛ و: ضخامت عضله دوسر بازو؛ ه: ضخامت عضله پهن خارجی در گروه‌های مختلف پژوهش و در پاسخ به یک جلسه تمرین مقاومتی
* تفاوت معنادار با پیش‌آزمون
 α : تفاوت معنادار با گروه کنترل
 β : تفاوت معنادار با گروه تمرین با بار پایین



شکل ۲. نمونه‌ای از تغییرات ضخامت عضله دوسر بازو در پیش‌آزمون (الف: گروه کنترل؛ ب: گروه بار کم؛ ج: گروه بار زیاد) و پس‌آزمون (د: گروه کنترل؛ ه: گروه بار کم؛ و: گروه بار زیاد)



شکل ۳. نمونه‌ای از تغییرات ضخامت عضله پهن خارجی در پیش‌آزمون (الف: گروه کنترل؛ ب: گروه بار کم؛ ج: گروه بار زیاد) و پس‌آزمون (د: گروه کنترل؛ ه: گروه بار کم؛ و: گروه بار زیاد)

بحث و نتیجه‌گیری

آنابولیک درون‌زا باشد (۲۰). از طرفی، نسبت غلظت تستوسترون به کورتیزول (T/C) اغلب به‌عنوان شاخص سطح فشار در تمرینات ورزشی استفاده می‌شود. تغییر در این نسبت مسئول چندین پاسخ تمرینی از جمله هایپرتروفی و افزایش قدرت است. افزون بر این شواهد نشان می‌دهد که نسبت T/C می‌تواند یک شاخص فیزیولوژیکی برای تمرینات ورزشی با بار سنگین باشد (۳۴). در بیشتر تحقیقات مشاهده شده است که تمرین مقاومتی سطوح سرمی تستوسترون و کورتیزول را در کوتاه‌مدت و بلندمدت افزایش می‌دهد (۳۵). افزایش کورتیزول می‌تواند ناشی از برخی ویژگی‌های تمرین مقاومتی مانند خستگی، ضعف عضلانی و اختلال در عملکرد عصبی عضلانی، تغییرات غلظت خون، کاهش پاک‌شدگی تستوسترون از خون تحت تأثیر فعالیت بدنی بوده و رقابت بین کورتیزول و تستوسترون بر سر پذیرنده‌های هورمونی نیز در کاهش نقش کاتابولیکی کورتیزول مؤثر باشد (۳۶). همچنین افزایش میزان اسیدی بودن سلول‌های عضلانی در اثر تمرین مقاومتی شاید به تحریک گیرنده‌های متابولیکی و ارسال بازخورد حسی به دستگاه عصبی مرکزی و هیپوتالاموس (افزایش فعالیت دستگاه عصبی سمپاتیک) منجر شود و در نهایت ترشح هورمون رشد و در پی آن ترشح هورمون IGF-1 افزایش می‌یابد (۳۷). برای برانگیختن پاسخ هورمونی بالا، یک برنامه تمرینی نیاز به مقدار بالایی حجم، دوره‌های استراحت کوتاه (۶۰ تا ۹۰ ثانیه بین نوبت‌ها) و شدت بالا تا متوسط (۶۰ تا ۸۰ درصد IRM) دارد (۳۸) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. ولی نتیجه پژوهش حاضر با نتایج تحقیق اسمیلیوس و همکاران (۳۹) و ناسیمنتو و همکاران (۴۰) مغایرت دارد که شاید علت آن مربوط به متفاوت بودن آزمودنی‌ها از لحاظ جنسیت و متفاوت بودن شیوه تمرینی باشد (۴۱). در مورد تغییرات ساختاری (ضخامت عضله) نتایج پژوهش حاضر نشان داد یک جلسه تمرین مقاومتی با بار زیاد (و نه فعالیت با بار کم) موجب افزایش ضخامت عضله دوسر بازویی (۹۳/۳ درصد) و ضخامت عضله پهن جانبی (۸۴/۳ درصد) شد. یافته‌های این پژوهش شیوه‌نامه کالج پزشکی ورزشی آمریکا را که بیان می‌کند استفاده از بارهای بیشتر از ۶۵ درصد IRM برای سازگاری هایپرتروفیک مورد نیاز است، تأیید می‌کند (۱۱). همچنین با نتایج پژوهش‌های تانیگوچی

هدف از این پژوهش بررسی تغییرات ساختاری و هورمونی وابسته به یک جلسه تمرین مقاومتی با دو شیوه گوناگون (تفاوت در میزان بار) در مردان دوندۀ بود. طبق تحقیقات پژوهشگر، بیشتر پژوهش‌های پیشین تأثیر حاد فعالیت‌های مقاومتی بر تغییرات هورمونی را مدنظر قرار داده‌اند و تحقیقی که تغییرات حاد هایپرتروفی و ضخامت عضله نسبت به یک جلسه تمرین با دو شیوه گوناگون را بررسی کرده باشد، یافت نشد. به‌طور کلی نتیجه این پژوهش نشان داد که یک جلسه تمرین مقاومتی با بار زیاد (۷۰ درصد یک تکرار بیشینه تا رسیدن به خستگی) موجب تغییرات معناداری در متغیرهای پژوهش شد، درحالی‌که تمرین مقاومتی با بار کم (۳۰ درصد یک تکرار بیشینه تا رسیدن به خستگی) تغییر معناداری را در هیچ‌کدام از متغیرهای پژوهش ایجاد نکرد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد سطح سرمی هورمون‌های تستوسترون (۳۵/۱۲ درصد)، IGF-1 (۶/۲ درصد)، کورتیزول (۵/۱ درصد) و نسبت تستوسترون به کورتیزول (۴/۶ درصد) در پاسخ به تمرین مقاومتی با شدت بالا نسبت به پیش‌آزمون افزایش یافت، درحالی‌که تمرین مقاومتی با بار کم در هیچ‌کدام از هورمون‌های مذکور تغییر محسوسی ایجاد نکرد. یافته‌های حاضر در مورد افزایش سطح سرمی هورمون‌های مذکور در پاسخ به یک جلسه تمرین مقاومتی با بار زیاد با نتایج بوتارو و همکاران (۲۹)، کولپند و همکاران (۳۰)، میجیانو و همکاران (۳۱) و جیانگ و همکاران (۳۲) همخوانی دارد. به‌خوبی معلوم شده است که ورزش مقاومتی سنگین محرک قوی برای افزایش حاد هورمون‌های آنابولیک در گردش خون مردان جوان است و شیوه‌های تمرینی با حجم بالا و شدت متوسط تا سنگین به تولید هورمونی (تستوسترون و کورتیزول) بیشتری گرایش دارند (۳۳). چندین هورمون آنابولیکی و کاتابولیکی در ایجاد تغییرات ناشی از تمرین مقاومتی دخیل‌اند و ایجاد تغییر در یک بافت فرایندی دوگانه است (کاتابولیسم فرایند را در حین تمرین مقاومتی آغاز می‌کند و آنابولیسم در دوره ریکاوری به رشد و ترمیم منجر می‌شود). بنابراین هر دو هورمون کاتابولیک و آنابولیک نقش اصلی را در این روند بازی می‌کنند، به‌طوری‌که هایپرتروفی عضلانی شاید دست‌کم تا حدی به دلیل افزایش حاد ناشی از هورمون‌های

سارکوپلاسمی است، هرچند این موارد (تغییر در تعادل میزان آب درون و بیرون سلول، و همچنین افزایش اجزای غیر میوفیبریلی سلول) در پژوهش حاضر کنترل نشده‌اند و جزو محدودیت‌های پژوهش هستند.

با اینکه برخی تحقیقات به تازگی بیان کرده‌اند که در صورت تکرار حرکات مقاومتی تا رسیدن به خستگی، حتی فعالیت‌های مقاومتی با بار کم (۳۰ درصد یک تکرار بیشینه) نیز قادرند ساخت پروتئین و پیام‌رسانی آنابولیک را تحریک کنند، ولی یافته‌های حاضر نشان داد حتی در شرایطی که در هر دو شیوه تمرین (فعالیت با بار زیاد و با بار کم)، تمرین مقاومتی تا حد خستگی انجام گرفت، تنها در گروهی که فعالیت را با بار زیاد انجام داده بودند، تغییرات هورمونی به سمت شرایط آنابولیک و افزایش موقت ضخامت عضلانی دیده شد. اگرچه سازوکارهایی که موجب این تغییرات می‌شوند هنوز به طور دقیق مشخص نیستند، به نظر می‌رسد تورم عضلانی حتی پس از یک جلسه تمرین مقاومتی با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه و تا رسیدن به خستگی صورت می‌گیرد که شاید به دلیل تغییرات هورمونی ناشی از فشار متابولیک است. متأسفانه در این پژوهش هورمون رشد و تغییر در میزان آب درون و بیرون سلول که دو عامل تأثیرگذار بر هایپرتروفی عضلانی محسوب می‌شوند، سنجش و کنترل نشدند، بنابراین پیشنهاد می‌شود افرادی که در آینده مایل به انجام پژوهش در این زمینه هستند، این دو عامل را مدنظر داشته باشند.

تشکر و قدردانی

از همه کسانی که در انجام این پژوهش مشارکت داشتند، به ویژه دانشجویان رشته تربیت بدنی دانشگاه گرمیان اقلیم کردستان عراق نهایت تشکر و تقدیر را داریم.

حامی / حامیان مالی

این پژوهش با هزینه شخصی نویسندگان صورت گرفته است.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در آماده‌سازی مقاله مشارکت یکسان داشتند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تضاد منافی برای نویسندگان وجود ندارد.

و همکاران (۴۲)، هیرونو و همکاران (۲۵)، جنکیس و همکاران (۲۳) و داماس و همکاران (۱۶) همخوانی دارد. تمرین مقاومتی به‌عنوان یک محرک، مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیکی و کاتابولیکی را در داخل عضله آغاز می‌کند و پیام‌های آنابولیک را ارتقا می‌دهد تا تعادل مثبت‌تری در ساخت پروتئین نسبت به تخریب پروتئین ایجاد و از این طریق افزایش توده عضلانی را تسهیل کند (۴۳). اگرچه تمرینات با بار کم و تکرارهای زیاد می‌تواند فشار متابولیک زیادی را به‌همراه داشته باشد، ولی این بار برای به‌کارگیری و خستگی واحدهای حرکتی عضلات کافی نیست و زمانی که هدف از انجام فعالیت افزایش توده عضلانی و قدرت باشد، تمرینات مقاومتی با بارهای سنگین بهترین روش تمرینی است (۴۴). پژوهش‌های الکترومیوگرافی نشان می‌دهد که طیف کامل واحدهای حرکتی شاید به‌طور کامل هنگام تمرین با شدت کم تحریک نشوند (۴۵). افزایش حجم عضلانی بلافاصله پس از تمرین مقاومتی که در اثر تجمع فسفوکراتین و یون هیدروژن (به‌دلیل افزایش تولید لاکتات خون، یون هیدروژن و هورمون رشد) و افزایش جذب آب (با توجه به نفوذپذیری سلول) به‌وجود می‌آید، سازوکاری است که شاید در پاسخ هایپرتروفیک به فشار متابولیک دخیل باشد (۴۶). نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که بلافاصله پس از یک جلسه تمرین، تغییرات در تعادل آب درون سلولی و خارج سلولی پس از تغییر در غلظت یون با تغییرات متابولیکی در سلول‌های عضلانی اسکلتی مرتبط است (۴۱). بنابراین افزایش حجم عضلانی بلافاصله پس از فعالیت به‌دلیل تغییر تعادل آب درون سلولی و خارج سلولی ناشی از افزایش نفوذپذیری عروقی رخ می‌دهد که می‌تواند بیانگر غیرمستقیم تجمع فشار متابولیک باشد و می‌تواند به هایپرتروفی عضلانی کمک کند (۴۶). هایپرتروفی سارکوپلاسمی نیز شاید تا حدودی علت افزایش اندازه عضلات در پاسخ حاد به روش‌های گوناگون تمرین مقاومتی باشد (۱۹). هایپرتروفی سارکوپلاسمی با افزایش اجزای سلولی غیر میوفیبریلی (مانند آنزیم‌ها، هورمون‌ها و اندامک‌ها) اتفاق می‌افتد. همان‌طور که اشاره شد در پژوهش حاضر افزایش ضخامت عضلانی در عضلات بالاتنه (دوسر بازویی) و پایین‌تنه (پهن جانبی) گروه تمرین مقاومتی با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه مشاهده شد که شاید ناشی از تغییرات اسمزی و هایپرتروفی

منابع

1. Jones AM. A five year physiological case study of an Olympic runner. *British journal of sports medicine*. 1998;32(1):39-43.
2. Johnston RE, Quinn TJ, Kertzer R, Vroman NB. Strength training in female distance runners: impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1997;11(4):224-9.
3. Barnes KR, Hopkins WG, Mcguigan MR, Northuis ME, Kilding AE. Effects of resistance training on running economy and cross-country performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2013. 45 (12): 2322-2331.
4. Tanaka H, Swensen T. Impact of resistance training on endurance performance. *Sports medicine*. 1998;25(3):191-200.
5. Mayhew DL, Hornberger TA, Lincoln HC, Bamman MM. Eukaryotic initiation factor 2B epsilon induces cap-dependent translation and skeletal muscle hypertrophy. *The Journal of physiology*. 2011;589(12):3023-37.
6. Pareja-Blanco F, Alcazar J, Cornejo-Daza PJ, Sánchez-Valdepeñas J, Rodríguez-Lopez C, Hidalgo-de Mora J, Sánchez-Moreno M, Bachero-Mena B, Alegre LM, Ortega-Becerra M. Effects of velocity loss in the bench press exercise on strength gains, neuromuscular adaptations, and muscle hypertrophy. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2020 Nov;30(11):2154-66.
7. Nemati J, Samadi M, Hadidi V, Macintosh B. Effect of resistance training on mTOR and P70S6K Signaling pathway in skeletal muscle of rats. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2015:1149-1156. (In Persian).
8. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*. 2017;35(11):1073-82.
9. Foroutan Y, Behpour N, Tadibi V, Daneshyar S. The effect of strength training at different times of stress on some physiological and hormonal indicators in untrained men. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2020;13(1):40-56. (In Persian).
10. Schoenfeld BJ, Peterson MD, Ogborn D, Contreras B, Sonmez GT. Effects of low- vs. high-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(10):2954-63.
11. Kraemer W, Adams K, Cafarelli E, Dudley G, Dooly C, Feigenbaum M, et al. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(2):364-80.
12. Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of neurophysiology*. 1965;28(3):560-80.
13. Sterczala AJ, Miller JD, Dimmick HL, Wray ME, Trevino MA, Herda TJ. Eight weeks of resistance training increases strength, muscle cross-sectional area and motor unit size, but does not alter firing rates in the vastus lateralis. *European journal of applied physiology*. 2020;120(1):281-94.
14. Burd NA, West DW, Staples AW, Atherton PJ, Baker JM, Moore DR, et al. Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. *PloS one*. 2010;5(8):e12033.
15. Toigo M, Boutellier U. New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European journal of applied physiology*. 2006;97(6):643-63.
16. Damas F, Phillips S, Vechin FC, Ugrinowitsch C. A review of resistance training-induced changes in skeletal muscle protein synthesis and their contribution to hypertrophy. *Sports medicine*. 2015;45(6):801-7.
17. Tang JE, Perco JG, Moore DR, Wilkinson SB, Phillips SM. Resistance training alters the response of fed state mixed muscle protein synthesis in young men. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2008;294(1):R172-R8.
18. Chen H-L, Nosaka K, Pearce AJ, Chen TC. Two maximal isometric contractions attenuate the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2012;37(4):680-9.
19. Roberts MD, Haun CT, Vann CG, Osburn SC, Young KC. Sarcoplasmic hypertrophy in skeletal muscle: A scientific "unicorn" or resistance training adaptation? *Frontiers in Physiology*. 2020;11:816.
20. Kraemer WJ, Ratamess NA, Nindl BC. Recovery responses of testosterone, growth hormone, and IGF-1 after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*. 2017;122(3):549-58.
21. Yasuda T, Fukumura K, Iida H, Naka-

- jima T. Effect of low-load resistance exercise with and without blood flow restriction to volitional fatigue on muscle swelling. *European journal of applied physiology*. 2015;115(5):919-26.
22. Damas F, Phillips SM, Lixandrrro ME, Vechin FC, Libardi CA, Roschel H, et al. Early resistance training-induced increases in muscle cross-sectional area are concomitant with edema-induced muscle swelling. *European journal of applied physiology*. 2016;116(1):49-56.
23. Jenkins ND, Housh TJ, Bergstrom HC, Cochrane KC, Hill EC, Smith CM, et al. Muscle activation during three sets to failure at 80 vs. 30% 1RM resistance exercise. *European journal of applied physiology*. 2015;115(11):2335-47.
24. Bellamy LM, Joanisse S, Grubb A, Mitchell CJ, McKay BR, Phillips SM, et al. The acute satellite cell response and skeletal muscle hypertrophy following resistance training. *PloS one*. 2014;9(10):e109739.
25. Hirono T, Ikezoe T, Taniguchi M, Tanaka H, Saeki J, Yagi M, et al. Relationship between muscle swelling and hypertrophy induced by resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2022;36(2):359-64.
26. Brzycki M. A practical approach to strength training: Contemporary Books; 1995.
27. Blocquiaux S, Gorski T, Van Roie E, Ramaekers M, Van Thienen R, Nielens H, et al. The effect of resistance training, detraining and retraining on muscle strength and power, myofibre size, satellite cells and myonuclei in older men. *Experimental gerontology*. 2020;133:110860.
28. Sheikholeslami-Vatani D, Ahmadi S, Salavati R. Comparison of the effects of resistance exercise orders on number of repetitions, serum IGF-1, testosterone and cortisol levels in normal-weight and obese men. *Asian journal of sports medicine*. 2016;7(1):.
29. Bottaro M, Martins B, Gentil P, Wagner D. Effects of rest duration between sets of resistance training on acute hormonal responses in trained women. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2009;12(1):73-8.
30. Copeland JL, Consitt LA, Tremblay MS. Hormonal responses to endurance and resistance exercise in females aged 19-69 years. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2002;57(4):B158-B65.
31. Migiano MJ, Vingren JL, Volek JS, Maresh CM, Fragala MS, Ho J-Y, et al. Endocrine response patterns to acute unilateral and bilateral resistance exercise in men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(1):128-34.
32. Jiang Q, Lou K, Hou L, Lu Y, Sun L, Tan SC, et al. The effect of resistance training on serum insulin-like growth factor 1 (IGF-1): a systematic review and meta-analysis. *Complementary therapies in medicine*. 2020;50:102360.
33. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports medicine*. 2005;35(4):339-61.
34. Uchida MC, Bacurau RFP, Navarro F, Pontes Jr FL, Tessuti VD, Moreau RL, et al. Alteration of testosterone: cortisol ratio induced by resistance training in women. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2004;10:165-8.
35. Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Grant EJ, Correia CE, Phillips SM. Hypertrophy with unilateral resistance exercise occurs without increases in endogenous anabolic hormone concentration. *European journal of applied physiology*. 2006;98(6):546-55.
36. Cochrane DJ, Legg SJ, Hooker MJ. The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2004;18(4):828-32.
37. Eliakim A, Nemet D, Zaldivar F, McMurray RG, Culler FL, Galassetti P, et al. Reduced exercise-associated response of the GH-IGF-I axis and catecholamines in obese children and adolescents. *Journal of Applied Physiology*. 2006;100(5):1630-7.
38. Gharahdaghi N, Phillips BE, Szewczyk NJ, Smith K, Wilkinson DJ, Atherton PJ. Links Between Testosterone, Oestrogen, and the Growth Hormone/Insulin-Like Growth Factor Axis and Resistance Exercise Muscle Adaptations. *Frontiers in Physiology*. 2021;11:1814.
39. Smilios I, Piliandis T, Karamouzis M, Tokmakidis SP. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003;35(4):644-54.
40. Nascimento MAD, Gerage AM, Silva DRPD, Ribeiro AS, Machado DGDS, Pina FLC, et al. Effect of resistance training with different frequencies and subsequent detraining on muscle mass and appendicular lean soft tissue, IGF-1, and testosterone in

- older women. *European journal of sport science*. 2019;19(2):199-207.
41. Kurina LM, Weiss LA, Graves SW, Parry R, Williams GH, Abney M, et al. Sex differences in the genetic basis of morning serum cortisol levels: genome-wide screen identifies two novel loci specific to women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2005;90(8):4747-52.
42. Taniguchi M, Yamada Y, Ichihashi N. Acute effect of multiple sets of fatiguing resistance exercise on muscle thickness, echo intensity, and extracellular-to-intracellular water ratio. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2020;45(2):213-9.
43. Phillips SM, Tipton KD, Aarsland A, Wolf SE, Wolfe RR. Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *American journal of physiology-endocrinology and metabolism*. 1997;273(1):E99-E107.
44. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness. *Sports medicine*. 2005;35(10):841-51.
45. Schoenfeld BJ, Contreras B, Willardson JM, Fontana F, Tiryaki-Sonmez G. Muscle activation during low-versus high-load resistance training in well-trained men. *European journal of applied physiology*. 2014;114(12):2491-7.
46. de Freitas MC, Gerosa-Neto J, Zanchi NE, Lira FS, Rossi FE. Role of metabolic stress for enhancing muscle adaptations: Practical applications. *World journal of methodology*. 2017;7(2):46.

Original Article

The effect of eight weeks of 30-20-10 interval training on serum spexin levels and lipid profile in obese middle-aged menHamid YazdanShanas[✉], Roghaieh Fakhrpour*[✉], Bahlul Ghorbanian[✉]

Department of Sports Sciences, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Azerbaijan University of Shahid Madani, Tabriz, Iran

Abstract

Background and Purpose: The purpose of this study was to investigate the effect of 30-20-10 interval training on the serum spexin level and lipid profile of obese men in order to measure the effect of physical activity on increasing spexin and improving lipid profile in obese men.

Materials and Methods: Twenty one obese men (mean±SD age, 43.5±9.1 years; weight, 108.1±16.4 kg; body mass index, 35.4±7.1 kg/m²) were voluntarily participated in the present study and randomly divided into training (11 people) and control (10 people) groups. Training was performed for eight weeks, three sessions per week included 30-20-10 exercise protocol. The exercise protocol encompassed interval runnings of 30 seconds at 30%, 20 seconds at 60% and 10 seconds at 90-100% of maximum heart rate, which were repeated five times (five minutes) followed by two minutes recovery. In each session, this protocol was repeated three to four times. At the end of the training, serum spexin and lipid profile were measured by ELISA method. Within-group changes were analyzed using the dependent t-test. ANCOVA test was used to compare the pre-test and post-test values in two groups, where pre-test scores were used as covariate. Statistical analyzes were performed at the statistical level of $P \leq 0.05$.

Results: Data analyses revealed that 10-20-30 interval training caused a significant increase in the amount of spexin in the training group compared to the control group ($P=0.010$). In addition, interval training of 30-20-10 caused significant decreases in TG ($P=0.001$), LDL-C ($P=0.001$), and cholesterol ($P=0.001$) and a significant increase in HDL-C ($P=0.001$). Based on the results, it was found that there is a significant relationship between cholesterol and changes in the serum levels of spexin in obese middle-aged men ($P=0.004$). Moreover, there were significant relationships among changes in serum levels of spexin and some anthropometric indices such as body mass index ($P=0.05$) and ratio of waist to hip circumference ($P=0.005$) in obese middle-aged men.

Conclusion: According to the findings of this study, a significant increase in serum spexin and HDL-C and a significant decrease in cholesterol, triglyceride and LDL-C, it could be concluded that eight weeks of 30-20-10 interval training affects on the levels of the above factors in obese middle-aged men, and that it probably increases the serum levels of spexin and improve the lipid profile in them.

Keywords: Triglyceride, Cholesterol, High-Density Lipoprotein, Low-Density Lipoprotein

How to cite this article: YazdanShenas H, Fakhrpour R, Ghorbanian B. The effect of eight weeks of 30-20-10 interval training on serum spexin levels and lipid profile in obese middle-aged men. *J Sport Exerc Physiol.* 2023;16(2):14-23.

*Corresponding Author's E-mail: fakhrpour@azaruniv.ac.ir
<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103405>

مقاله پژوهشی

تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ بر سطوح اسپکسین سرم و نیمرخ لیپیدی مردان میانسال چاق

حمید یزدانشناس^۱، رقیه فخرپور^{۲*}، بهلول قربانیان^۳

گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

چکیده

زمینه و هدف: هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تمرین تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ بر سطح اسپکسین (spexin) سرم و نیمرخ لیپیدی مردان چاق بود تا بدین وسیله، تأثیر فعالیت بدنی بر افزایش اسپکسین و بهبود نیمرخ لیپیدی در مردان چاق سنجیده شود.

مواد و روش‌ها: جامعه آماری پژوهش، ۲۱ مرد چاق (میانگین سنی $43/52 \pm 9/06$ سال، وزن $108/11 \pm 16/42$ کیلوگرم، شاخص توده بدنی $35/42 \pm 7/14$ کیلوگرم بر متر مربع) بودند که داوطلبانه در پژوهش حاضر شرکت کردند و به طور تصادفی در گروه تمرین (۱۱ نفر) و کنترل (۱۰ نفر) قرار گرفتند. تمرینات به مدت هشت هفته و سه جلسه در هفته با تمرینات ۳۰-۲۰-۱۰ شامل تمرینات تناوبی با شدت‌های تقریبی ۳۰ ثانیه با شدت ۳۰٪، ۲۰ ثانیه با شدت ۶۰٪ و ۱۰ ثانیه با شدت ۹۰-۱۰۰٪ درصد ضربان قلب بیشینه انجام گرفت. این تمرینات یک دقیقه‌ای، پنج بار (پنج دقیقه) تکرار شد و پس از پنج بار تکرار، دو دقیقه استراحت کردند و مجدد پنج تکرار بعدی را شروع کردند و در سه تا چهار نوبت دویدن تکرار شد. در پایان مداخله، اسپکسین سرم و نیمرخ لیپیدی به روش الیزا اندازه‌گیری شد. تغییرات درون‌گروهی با استفاده از آزمون t وابسته بررسی شد. در تحلیل داده‌ها در طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون با گروه کنترل از آزمون آنکوا استفاده شد که در آن نمرات پیش‌آزمون به عنوان Covariate به کار رفت. تحلیل‌های آماری در سطح آماری $P \leq 0/05$ انجام گرفت.

نتایج: با بررسی نتایج پژوهش مشخص شد که تمرینات تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ سبب افزایش معنادار میزان اسپکسین در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل شد ($P = 0/010$). همچنین تمرینات تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ موجب کاهش معنادار در میزان متغیرهای TG ($P = 0/001$)، LDL-C ($P = 0/001$)، کلسترول ($P = 0/001$) و افزایش معناداری بر HDL-C ($P = 0/001$) شد. بر پایه نتایج مشخص شد، بین کلسترول و تغییرات سطوح سرمی اسپکسین مردان میانسال چاق همبستگی معناداری وجود دارد ($P = 0/004$). همین‌طور بین تغییرات سطوح سرمی اسپکسین و تغییرات برخی از شاخص‌های آنتروپومتریکی مانند شاخص توده بدنی ($P = 0/005$) و نسبت دور کمر به دور لگن ($P = 0/005$) مردان میانسال چاق همبستگی معناداری مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج پژوهش، افزایش معنادار اسپکسین سرم و HDL-C و کاهش معنادار کلسترول، تری‌گلیسیرید و LDL-C، می‌توان نتیجه گرفت که هشت هفته تمرینات تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰، بر سطوح عوامل ذکرشده در مردان میانسال چاق، تأثیرگذار است و شاید سبب افزایش سطوح سرمی اسپکسین و بهبود نیمرخ لیپیدی در این افراد شود.

واژه‌های کلیدی: تری‌گلیسیرید، کلسترول، لیپوپروتئین با چگالی بالا، لیپوپروتئین با چگالی پایین

نحوه استناد به این مقاله: یزدانشناس ح، فخرپور ر، قربانیان ب. تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ بر سطوح اسپکسین سرم و نیمرخ لیپیدی مردان میانسال چاق. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۱۴-۲۳

* رایانامه نویسنده مسئول: fakhrpour@azaruniv.ac.ir

مقدمه

چاقی یک مشکل بهداشتی چندعاملی و شامل تعامل بین عامل ژنتیک، رفتار، خودکنترلی، تنظیم اشتها و سوخت‌وساز انرژی است. فیزیولوژی چاقی بر پایه افزایش وزن بدن در نتیجه تعادل انرژی مثبت است و کنترل تعادل انرژی، کنترل اشتها و سازوکارهای احتمالی چاقی توسط هیپوتالاموس، به‌ویژه هسته قوسدار، که محل اصلی کنترل بازخورد اشتها و مصرف غذاست، تنظیم می‌شود (۱).

از سویی نیمرخ چربی به سطوح گوناگون چربی در خون اطلاق می‌شود که به‌عنوان کلسترول لیپوپروتئین با چگالی بالا (HDL-C)، کلسترول لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL-C) و تری‌گلیسیرید و کلسترول تام گزارش می‌شود. سطوح بالای تری‌گلیسیرید و LDL-C بیانگر چربی مازاد خون است که به نوبه خود موجب افزایش خطر عوارض قلبی-عروقی می‌شود؛ در صورتی که HDL-C سبب انتقال چربی به کبد برای باز یافت و دفع می‌شود و سطوح بالای HDL-C شاخصی مهم برای سلامتی قلب و عروق است (۲، ۳).

سازوکارهایی در پاتوفیزیولوژی چاقی شناسایی شده است. به‌تازگی به نقش اسپکسین (spexin) در این زمینه توجه بسیاری شده است. اسپکسین، که نوروپپتید Q هم خوانده می‌شود، در سال ۲۰۰۷ اولین بار به‌عنوان یک هورمون پپتیدی جدید توسط میرابو و همکاران (۲۰۰۸) شناسایی و کشف شد (۴، ۵) و توسط ژن C12orf39 که در دوازدهمین کروموزوم ژنوم انسانی قرار دارد، کدگذاری می‌شود و اغلب در بافت چربی سفید انسان تولید می‌شود (۴).

اسپکسین در تنظیم سیری، سوخت‌وساز انرژی و گلوکز / لیپید نقش دارد (۶). ژن اسپکسین بی‌نظم‌ترین ژن در چربی افراد چاق و تنظیم‌شده‌ترین ژن در بافت چربی و سرم خون آن‌هاست (۷). از دیدگاه ساختاری، یک پپتید ۱۴ آمینواسیدی با آسپاراژین کربوکسی‌ترمینال و آمینوگلوتامین پایانی است (۸). مقایسه بیان بیش از ۳۰۰۰ ژن متفاوت در بافت چرب امنوم و زیرجلدی افراد چاق و غیرچاق نشان می‌دهد که ژن کدگذاری‌کننده اسپکسین (C12orf39) بیشترین تنظیم کاهشی را در افراد چاق دارد، به طوری که mRNA آن در افراد چاق ۱۴/۹ برابر کمتر از افراد غیرچاق گزارش شد (۶). همچنین اسپکسین، جذب اسید چرب، توسط سلول‌های چربی

را کاهش می‌دهد و موجب مهار تولید چربی در سلول L1-3T3 می‌شود (۶). پدیده مشابهی در کبد نیز گزارش شده است که اسپکسین می‌تواند با کاهش دریافت اسیدهای چرب به درون هیپاتوسیت‌ها، موجب کاهش محتوای چربی شود. روی هم‌رفته این یافته‌ها نشان می‌دهند که اسپکسین آدیپوکینی است که دارای ظرفیت کاربردی در درمان چاقی است و با نشانگرهای چربی در کل جمعیت (BMI و WHR) و همچنین با دور کمر در گروه‌های با وزن طبیعی و چاق و با گروه دیابت رابطه وارونه دارد (۹). لین و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که اسپکسین با کلسترول تام همبستگی وارونه دارند (۶). آل داغری (۲۰۱۸) گزارش کرد که سطح سرمی اسپکسین با نیمرخ لیپیدی (به جز HDL-C و کلسترول) در زنان مرتبط است (۱۰). همبستگی مثبت اسپکسین با HDL-C بیشتر از نقش محافظتی اسپکسین حمایت می‌کند، زیرا HDL-C با چاقی کاهش می‌یابد. با این حال این رابطه قبلاً در افراد مبتلا به سندروم سوخت‌وسازی مشاهده شده بود (۱۰). در اشخاص گرفتار به دیابت نوع دو، سطوح سرمی اسپکسین تقریباً ۴۴ درصد کاهش می‌یابد و وابستگی منفی با سطوح خونی گلوکز، هموگلوبین گلیکوزیله، تری‌گلیسیرید، و LDL-C دارد (۱۱). بر پایه یافته پژوهشگران اسپکسین نقش نهفته‌ای در چاقی دارد و ممکن است با انجام فعالیت ورزشی گوناگون دچار تغییراتی شود. از طرفی، تمرین ۳۰-۲۰-۱۰ نوعی برنامه تمرینی تناوبی به‌شمار می‌رود که اجرای آن به زمان زیادی نیاز ندارد (تقریباً ۳۰ دقیقه) و آثار کوتاه و طولانی‌مدت مثبتی بر ظرفیت ورزشی دارد. این نوع تمرین با سرعت نسبی، مرتبط است و شامل هر دوی سرعت دویدن اندک و دوره دو دقیقه‌ای استراحت می‌شود که افراد با آمادگی جسمانی گوناگون می‌توانند تمرین ۳۰-۲۰-۱۰ را همزمان با هم انجام دهند که از مزایای اصلی این نوع تمرین است (۱۲). افزون بر این تمرین ۳۰-۲۰-۱۰ به کاهش چشمگیر BP سیستمیک و همچنین کاهش کلسترول تام و LDL منجر شد. تمرین ۳۰-۲۰-۱۰ نسبت به تمرینات استقامتی از نظر بهبود عملکرد و شاخص‌های سلامتی برتر است و تلاش درک‌شده در این تمرینات در مقایسه با تمرینات تناوبی کمتر است، در حالی که شدت تمرین همچنان بالاست (۱۳).

ضرورت انجام این پژوهش با توجه به افزایش

تحقیق مصرف نکردن سیگار و الکل، عدم ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی و بیماری‌های تنفسی، عدم ابتلا به بیماری‌های غدد درون‌ریز و سایر بیماری‌های مزمن، شرکت نکردن در فعالیت‌های بدنی منظم یا رژیم غذایی لاغری حداقل در شش ماه گذشته بود. همچنین افراد دارای محدودیت حرکتی در مفاصل و مشکلات تنفسی و آزمودنی‌هایی که روش تمرینی را به‌طور منظم اجرا نمی‌کردند، از فرایند پژوهش حذف شدند. معیارهای خروج از تمرین شامل آسیب‌دیدگی، مبتلا شدن به بیماری کرونا و غیبت بیش از یک جلسه تمرین بود.

گروه تمرین در یک دوره برنامه تمرینی تناوبی شدید به مدت هشت هفته شرکت کردند. برای یادگیری روش‌های تمرینی و تعیین شدت مناسب تمرین یک هفته به‌عنوان آشنایی با تمرین انجام گرفت. گروه کنترل از هیچ برنامه فعالیت بدنی منظم پیروی نکردند و به فعالیت‌های طبیعی روزمره خود پرداختند.

روش اجرای پژوهش: پیش از شروع پژوهش قد و وزن آزمودنی‌ها با قدسنج و ترازوی دیجیتالی سکا با دقت ۰/۱ کیلوگرم اندازه‌گیری شد. تمرینات ۳۰-۲۰-۱۰ به مدت هشت هفته و سه جلسه در هفته انجام گرفت. تمرینات ۳۰-۲۰-۱۰ شامل یک دقیقه (۶۰ ثانیه) تمرینات تناوبی با طول مدت ۳، ۲ و ۱۰ ثانیه و به ترتیب با شدت‌های تقریباً ۳، ۶۰ و ۹۰-۱۰۰ درصد ضربان قلب بیشینه انجام گرفت. به عبارتی این تمرینات تناوبی شامل ۳۰ ثانیه دویدن با شدت ۳ درصد ضربان قلب بیشینه، ۲۰ ثانیه دویدن با شدت ۶۰ درصد ضربان قلب بیشینه و ۱۰ ثانیه دویدن با شدت ۹۰-۱۰۰ درصد ضربان قلب بیشینه است. آزمودنی‌ها در خط مستقیم می‌دویدند و بدون هیچ مکثی بلافاصله افزایش سرعت داشتند، به طوری که پس از یک دقیقه دویدن و انجام روش تمرینی ۳۰-۲۰-۱۰، ۱۵ ثانیه استراحت فعال (راه رفتن به صورت دویدن آرام) داشتند (به دلیل وزن زیاد) و به‌طور متوسط ۱۵۰-۲۰۰ متر در هر یک دقیقه مسافت طی می‌کردند. این تمرینات یک دقیقه‌ای، پنج بار (پنج دقیقه) تکرار می‌شد و پس از پنج بار تکرار دو دقیقه استراحت می‌کرد و مجدد پنج تکرار بعدی را شروع می‌کرد و در ۳-۴ نوبت دویدن تکرار می‌شد. در ماه اول انجام این پژوهش، تمرینات در هر جلسه تمرینی سه نوبت از فواصل زمانی پنج دقیقه‌ای اجرا شد و در ماه دوم تمرینات چهار نوبت از فواصل زمانی

روزافزون چاقی و زندگی شهرنشینی امروزی و کمبود وقت برای پرداختن به فعالیت‌های بدنی، می‌تواند مهم باشد، زیرا افراد کمی حاضر به صرف زمان طولانی برای اجرای فعالیت تداومی طولانی مدت هستند و این نوع تمرینات شامل دوره‌های مکرر ورزش با شدت بالاست که به وسیله تغییر در پیتیدهای مختلف می‌تواند تجمع چربی در بدن را کاهش دهد و از چاقی جلوگیری کند (۱۴). بنابراین شیوه تمرینی کم حجم و با شدت بالا روش مناسبی است تا با صرف کمترین زمان ممکن، نیازهایی مانند بهبود دستگاه قلبی-عروقی و ترکیب بدنی تأمین شود و تمرینات ورزشی ۱۰-۲۰-۳۰، با وجود اندک بودن زمان آن می‌تواند برای شرکت‌کنندگان غیرفعال، آثار کوتاه و بلندمدت فیزیولوژیکی مفیدی در مقایسه با سایر تمرینات طولانی مدت داشته باشد. بنابراین تمرینات ۳۰-۲۰-۱۰ مستقل از تغییرات اسپکسین می‌تواند از راهکارهای مؤثر در بهبود چاقی در افراد چاق باشد.

با توجه به اینکه اسپکسین نقشی اساسی در هومئوستاز سوخت‌وسازی و تنظیم چربی و وزن بدن دارد و به‌طور نرفته از طریق فعالیت بدنی تعدیل می‌شود (۳) و هیچ تحقیقی تأثیر تمرینات ۳۰-۲۰-۱۰ بر تغییرات سطح اسپکسین را بررسی نکرده است، بنابراین بررسی تأثیر تمرینات ۳۰-۲۰-۱۰ بر سطح اسپکسین گردش خون و نیم‌رخ لیپیدی در افراد چاق ضروری است.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: جامعه آماری پژوهش، ۲۱ مرد میانسال ۳۵ تا ۴۵ ساله چاق ($BMI \geq 29$) با میانگین سنی $39.06 \pm 43/52$ سال، وزن $16/42 \pm 108/11$ کیلوگرم، شاخص توده بدنی $35/42 \pm 7/14$ کیلوگرم بر متر مربع بود. این نمونه‌ها به صورت هدفمند و در دسترس و از میان داوطلبانی که معیارهای ورود به پژوهش را داشتند، برگزیده شدند و سابقه پزشکی و میزان فعالیت از طریق پرسشنامه سلامت پزشکی و پرسشنامه آمادگی برای فعالیت بدنی (Physical Activity Readiness-Questionnaire) ارزیابی شد. چگونگی انجام مراحل پژوهش، هدف از آن و خطرهای احتمالی برای آن‌ها تشریح شد و از آن‌ها برای شرکت در پژوهش رضایت‌نامه کتبی دریافت شد. سپس افراد داوطلب به صورت تصادفی ساده (قرعه‌کشی) در دو گروه کنترل (۱۰ نفر) و گروه تمرین (۱۱ نفر) قرار گرفتند. معیارهای ورود به

و با استفاده از فرمول دور کمر (سانتی متر) ÷ دور باسن (سانتی متر) = WHR محاسبه شد.

تحلیل آماری: برای بررسی داده‌ها با توجه به طبیعی بودن توزیع داده‌ها (با استفاده از آزمون شاپیروویلیک) و با اطمینان از وجود تجانس واریانس‌ها (آزمون لون)، تغییرات درون‌گروهی هریک از متغیرها با استفاده از آزمون t وابسته بررسی شد. در تحلیل داده‌ها و برآورد مقدار اثر در طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل از آزمون آنکوا استفاده شد که در آن مقادیر پیش‌آزمون به‌عنوان Covariate به‌کار رفت. تحلیل‌های آماری در سطح آماری $P \leq 0.05$ و با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ انجام گرفت.

نتایج

نتایج آزمون شاپیروویلیک مربوط به متغیرهای وابسته آزمودنی‌های گروه تمرین و کنترل حاکی از این بود که متغیرها از توزیع طبیعی پیروی می‌کنند ($P > 0.05$). بر پایه نتایج داده‌های اسپکسین (میانگین \pm انحراف معیار) در پیش و پس از دوره تمرینی برای گروه تمرین به ترتیب 589.45 ± 11.41 و 595.29 ± 10.58 و برای گروه کنترل به ترتیب 592.28 ± 8.35 و 590.94 ± 7.81 پیکوگرم بر میلی‌لیتر بود (شکل ۱). همچنین نتایج آزمون t وابسته نشان داد که میزان اسپکسین در افراد گروه تمرین در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری یافته است ($P = 0.010$). ولی در گروه کنترل، تغییرات اسپکسین در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون معنادار نبوده است ($P = 0.219$). همچنین بر پایه نتایج آزمون آنکوا، تمرین موجب افزایش معناداری در میزان اسپکسین شد ($P = 0.005$).

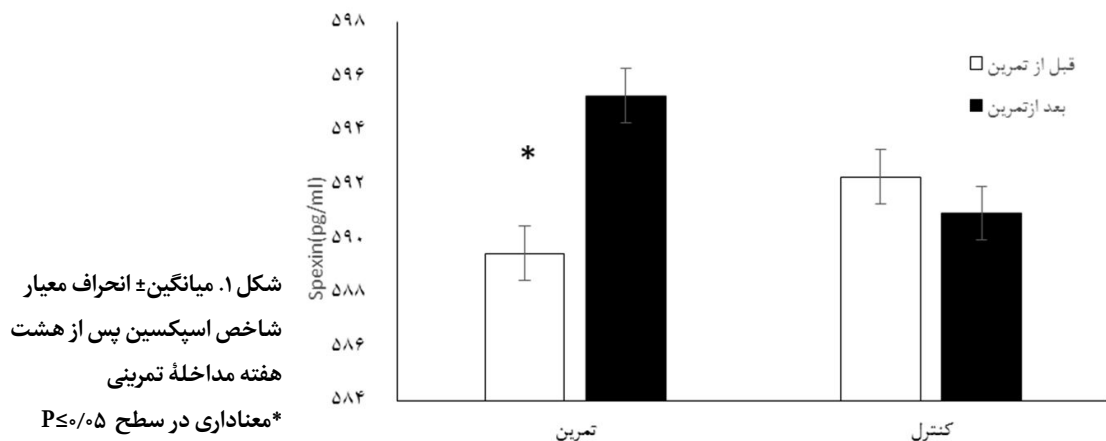
پنج دقیقه‌ای اجرا شد. ضربان قلب نیز با یک ضربان سنج (پلاره AXN500 ساخت فنلاند) کنترل شد.

روش‌های آزمایشگاهی:

برای تعیین سطوح اسپکسین و نیمرخ لیپیدی در دو مرحله پیش‌آزمون (۴۸ ساعت پیش از شروع برنامه تمرینی) و پس‌آزمون (۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین) خونگیری در ساعت هشت صبح پس از ۱۲ ساعت ناشتایی به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از سیاهرگ ناحیه ساعد دست برتر کل آزمودنی‌ها در آزمایشگاه گرفته شد. نمونه‌های خون با دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با ۳۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و سرم آن‌ها جدا شد. سرم جداشده در میکروتیوب‌ها ریخته شد و تا زمان آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری متغیرها در دمای منفی ۸۰ درجه سانتیگراد منجمد شد.

سطوح اسپکسین سرمی با استفاده از کیت الیزا ساخت چین (BT LAB) با CV و حساسیت به ترتیب ۵/۴۹ درصد و ۵ پیکوگرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. سطوح سرمی HDL-C و LDL-C با استفاده از کیت رنگ‌سنج آنزیمی مستقیم (شرکت بیونیک، تهران، ایران) تعیین شد. CV و حساسیت آن برای LDL-C به ترتیب ۱/۴۶ درصد و ۱ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و برای HDL-C به ترتیب ۰/۶ درصد و ۱ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر بود. سطح سرمی تری‌گلیسیرید با استفاده از روش GPO-POD (شرکت بیونیک تهران، ایران) تعیین شد. CV و حساسیت آن به ترتیب ۱/۲۸ درصد و ۱ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر بود.

شاخص توده بدنی از طریق تقسیم وزن (کیلوگرم) بر مجذور قد (متر) بر حسب کیلوگرم/مترمربع محاسبه شد. برای ارزیابی شاخص WHR، دور کمر در باریک‌ترین ناحیه کمر با متر نواری غیرقابل ارتجاع اندازه‌گیری شد



مشخصات توصیفی آزمودنی‌ها و نتایج مقایسه تغییرات درون‌گروهی با استفاده از روش t وابسته در جدول ۱ ارائه شده است. بر پایه داده‌های جدول ۱، LDL-C، تری‌گلیسیرید و کلسترول و داده‌های مربوط به ترکیب بدنی (وزن، WHR، BMI) پیش و پس از دوره تمرین برای گروه تمرین کاهش معنادار و برای HDL-C افزایش معنادار داشته است. ولی در گروه کنترل هیچ‌کدام از این متغیرها تغییر معناداری نداشتند. تغییرات ایجاد شده درون‌گروهی متغیرها با استفاده از

جدول ۱. نتایج آزمون t وابسته و آنکوا برای مقایسه نتایج متغیرها

متغیر	گروه	میانگین \pm انحراف معیار	تفاوت میانگین‌ها	t آماره	df	p-value ¹	آزمون کوواریانس	
							F	p-value ²
TG (ml/dl)	پیش آزمون	۱۶۷/۶۹ \pm ۸/۱۲	۲/۱۷	۹/۱۸	۱۰	*۰/۰۰۱	۰/۵۳	۴/۶۶
	پس آزمون	۱۶۵/۵۱ \pm ۷/۰۹						
کنترل	پیش آزمون	۱۶۸/۵۴ \pm ۶/۱۳	-۰/۷۳	-۰/۵۳	۹	۰/۶۰۶	۰/۹۹۹	۲۸/۴۷
	پس آزمون	۱۶۹/۷۲ \pm ۶/۲۸						
LDL-C (ml/dl)	پیش آزمون	۱۱۳/۲۷ \pm ۱۳/۱۷	۴/۹۲	۶/۱۸	۱۰	*۰/۰۰۱	۰/۱۰۰	۲۸/۴۷
	پس آزمون	۱۰۸/۳۴ \pm ۹/۴۱						
کنترل	پیش آزمون	۱۱۵/۳۵ \pm ۱۵/۲۹	-۱/۸۱	-۱/۸۳	۹	۰/۱۰۰	۰/۹۹۹	۲۸/۴۷
	پس آزمون	۱۱۷/۱۶ \pm ۱۴/۲۹						
HDL-C (ml/dl)	پیش آزمون	۵۰/۱۰ \pm ۵/۱۴	-۲/۱۸	-۴/۹۷	۱۰	*۰/۰۰۱	۰/۶۰	۵/۴۵
	پس آزمون	۵۲/۲۸ \pm ۵/۴۲						
کنترل	پیش آزمون	۵۲/۱۵ \pm ۴/۵۸	۰/۱۳	۰/۱۵۴	۹	۰/۸۸۱	۰/۹۹۹	۵/۴۵
	پس آزمون	۵۲/۰۱ \pm ۵/۴۲						
Cho (ml/dl)	پیش آزمون	۲۱۵/۴۳ \pm ۱۶/۰۷	۲۱/۶۳	۱۶/۵۷	۱۰	*۰/۰۰۱	۱/۰۰	۲۲۴/۲۴
	پس آزمون	۱۹۳/۸۰ \pm ۱۵/۳۳						
کنترل	پیش آزمون	۲۲۷/۱۸ \pm ۱۸/۴۸	-۰/۶۸	-۱/۰۵	۹	۰/۳۱۸	۱/۰۰	۲۲۴/۲۴
	پس آزمون	۲۲۷/۸۷ \pm ۱۷/۵۲						

* p-value آزمون t وابسته برای بررسی تفاوت میانگین‌های پیش و پس آزمون (درون‌گروهی)

p-value: معناداری بر پایه آزمون آنکوا برای بررسی تفاوت میانگین پس آزمون گروه‌ها

اسپکسین و تغییرات برخی از شاخص‌های آنتروپومتریکی (شاخص توده بدنی ($P=0/05$) و نسبت دور کمر به دور لگن ($P=0/005$) مردان میانسال چاق متعاقب هشت هفته تمرینات تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ همبستگی معناداری در جهت منفی وجود دارد.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون (جدول ۲) در مورد همبستگی بین اسپکسین و نیمرخ لیپیدی نشان می‌دهد که از شاخص‌های نیمرخ لیپیدی تنها بین کلسترول و تغییرات سطوح سرمی اسپکسین مردان میانسال چاق متعاقب هشت هفته تمرینات تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ همبستگی منفی معناداری وجود دارد ($P=0/004$). همین‌طور بین تغییرات سطوح سرمی

جدول ۲. همبستگی بین اسپکسین، شاخص نیمرخ لیپیدی و شاخص‌های آنزیموتریکی

متغیر ۱	متغیر ۲	ضریب همبستگی پیرسون (r)	sig(سطح معناداری)
	ΔTG	-۰/۳۳	۰/۱۳۵
$\Delta Spexin$	$\Delta LDL-C$	-۰/۳۷	۰/۰۹۲
	$\Delta HDL-C$	۰/۳۰	۰/۱۷۸
	$\Delta cholesterol$	-۰/۶۰۰	*۰/۰۰۴
	ΔBMI	-۰/۴۳	*۰/۰۰۵
	ΔWHR	-۰/۵۸	*۰/۰۰۵

* معناداری در سطح $P \leq 0/05$

بحث و نتیجه‌گیری

ترکیبی از اسپکسین و تمرینات ورزشی راهبرد درمانی مؤثری برای بیماری‌های مرتبط با چاقی است (۸). همین‌طور ثابت شده است که فعال شدن GalR2، که از گیرنده‌های اسپکسین است، مقاومت به انسولین را در عضله اسکلتی موش‌های چاق کاهش می‌دهد. این مسئله نشان می‌دهد که این شکل از گیرنده و اثر احتمالی اسپکسین از طریق این گیرنده، بر تنظیم توسط انسولین متمرکز است (۱۵). همچنین غدیر و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی همسو، با مقایسه دو گروه چاق (چاقی بدون دیابت و چاقی با دیابت) پیش و پس از تمرین هوازی شدت متوسط سه ماهه، میزان اسپکسین و همچنین شاخص‌های بالینی و سوخت‌وسازی را بر روی جمعیت مورد بررسی خود ارزیابی کردند و به این نتیجه دست یافتند که ورزش با بهبود همزمان نشانگرهای بالینی و سوخت‌وسازی، میزان اسپکسین خون را به میزان چشمگیری افزایش داد (۹). اسپکسین به‌عنوان عامل سیری برای سرکوب مصرف مواد غذایی عمل می‌کند، درحالی‌که گالانین اثر متضاد را به‌عنوان یک عامل بی‌اشتهایی دارد. همچنین اسپکسین با سرکوب انتشار گنادوتروپین به‌عنوان مهارکننده عملکردهای تولید مثل عمل می‌کند، درحالی‌که گالانین فعالیت نوروهای هورمون آزادکننده گنادوتروپین را در مغز و سلول‌های گنادوتروپیک در هیپوفیز را تعدیل می‌کند (۱۶). روی هم‌رفته این نتایج بیانگر این است که اسپکسین آدیپوکنینی است که با عمل بر تعادل انرژی، دارای قابلیت کاربردی در درمان چاقی است. با نظر به اینکه چاقی با انتشار و نمایان شدن دیابت وابسته است، به وظیفه اسپکسین در هموستاز گلوکز نیز دقت شده است (۱۱، ۱۷).

با بررسی نتایج پژوهش مشخص شد روش تمرین مورد بررسی بر شاخص اسپکسین مؤثر بود و سبب افزایش (۵/۸ درصدی) معنادار این شاخص در گروه تمرین شد ($P=0/010$). این در حالی است که تأثیری بر میزان اسپکسین گروه کنترل نداشت. همچنین در مورد شاخص دیگر مورد بررسی یعنی نیمرخ لیپیدی، این روش تمرین سبب کاهش کلسترول، تری‌گلیسیرید و $LDL-C$ و سبب افزایش $HDL-C$ مردان چاق شد. در مورد نتیجه پژوهش حاضر می‌توان گفت که تاکنون پژوهشی با این روش ورزشی انجام نگرفته و بیشتر پژوهش‌ها با تمرینات هوازی، مقاومتی، پیاده‌روی و... صورت گرفته است. از این‌رو در بحث، از همه پژوهش‌های مرتبط با موضوع، استفاده شد. این تحقیق نشان داد که هشت هفته تمرینات ۳۰-۲۰-۱۰ سطوح سرمی اسپکسین را افزایش می‌دهد.

سازوکار دقیق اثرگذاری تمرین تناوبی بر افزایش اسپکسین مشخص نیست. با وجود این، تحقیقات نشان داده‌اند که فعالیت ورزشی تناوبی می‌تواند بیان اسپکسین را افزایش دهد. در مقابل، اسپکسین می‌تواند نقش‌های محافظتی ورزش را برای بهبود مقاومت به انسولین ایفا کند، که نشان می‌دهد اسپکسین یک میانجی نهفته برای ورزش برای بهبود مقاومت به انسولین ناشی از چاقی و دیابت است، یعنی اثر مفید ورزش بر حساسیت به انسولین دست‌کم تا حدی واسطه است (۸).

فانگ و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که ورزش می‌تواند بیان اسپکسین را افزایش دهد که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. بنابراین باید در نظر گرفت که

خواص اسپکسین و بازسازی سلول‌های عضلانی پس از ورزش باشد. پس میتوان نتیجه گرفت که اسپکسین در فرایند تمایز سلول‌های C2C12 نقش دارد و ورزش بیان آن را تحریک می‌کند و به افزایش غلظت اسپکسین در سرم خون و بیان آن در سلول‌های عضلانی اسکلتی منجر می‌شود. بر پایه نتایج به نظر می‌رسد، شدت و حجم تمرین دو عامل تأثیرگذار در رهایی اسپکسین باشند (۱۸).

همچنین به خوبی درک نشده است که چگونه ورزش به بیان بالای اسپکسین و گیرنده‌های آن در بافت چربی منجر میشود. تنها سرخ ممکن برای آن عوامل رونویسی مرتبط با اسپکسین ناشی از ورزش است که می‌تواند نقش مهمی در این فرآیند ایفا کند (۱۹). سازوکار مولکولی دقیق، که چگونه ورزش بیان اسپکسین را تنظیم میکند و چگونه این عوامل مولکولی با اسپکسین تعامل برقرار میکنند، مشخص نیست.

کولودزیجسکی و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که اسپکسین مانع از ایجاد چربی می‌شود و بیان ژن‌های آدیپوژن را کاهش می‌دهد. همچنین مشخص شد که اسپکسین لیپولیز را با افزایش فسفوریلاسیون لیپاز حساس به هورمون تحریک میکند. این نوروپیتید از لیپوژنز و جذب گلوکز در سلول‌های چربی انسانی و سلول‌های 3T3-L1 موش جلوگیری میکند (۲۰). لین و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که اسپکسین در تنظیم ساخت اسیدهای صفراوی و سوخت‌وساز لیپیدها نقش دارد و به این نتیجه رسیدند که اختلال در فعال‌سازی اسپکسین به انباشت کلسترول منجر می‌شود (۱۱، ۲۱) اسپکسین به‌طور عمده در جزایر پانکراسی انسان آشکار می‌شود و با انسولین در راه‌های ترشحی ساکن میشود و میتواند همگام با این هورمون آزاد شود (۱۱). رسوب تدریجی چربی می‌تواند به تنگی سرخرگ‌های کرونری یا آترواسکلروز منجر شود. بنابراین افزایش فعالیت بدنی ممکن است با کاهش میزان کلسترول و تری‌گلیسیرید خون همراه باشد. مقدار لایه‌های چربی که در بیماری سرخرگ کرونری رسوب می‌کند، میتواند مانع از ابتلا به بیماری سرخرگ کرونری شود یا از وخامت آن بکاهد (۲۲).

شاخص‌های نیم‌رخ لیپیدی افراد در پژوهش حاضر، در گروه تمرین دچار تغییرات زیادی شد. بنابر یافته‌های پژوهش حاضر تغییر معناداری در نیم‌رخ لیپیدی خون (LDL-C، HDL-C، TG) پس از اجرای هشت هفته تمرین

نتایج پژوهش حاضر با نتایج برخی پژوهش‌ها ناهم‌سوست. حلیل ابراهیم و همکاران (۲۰۲۰) کاهش سطوح خونی اسپکسین در افراد چاق را گزارش کردند و ورزش هوازی صبح و عصر هنگامی که به گروه‌های با وزن طبیعی و اضافه وزن و چاق اعمال می‌شود، از نظر آماری هیچ تأثیر معناداری بر سطح اسپکسین سرم نداشته است و سطح اسپکسین سرم در گروه اضافه وزن و چاق در مقایسه با گروه با وزن طبیعی به‌طور چشمگیری پایین‌تر بود (۱). همین‌طور باقر سلیمی و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند فعالیت ورزشی در هر دو شکل حاد و مزمن نتوانسته است موجب تغییراتی در سطوح سرمی اسپکسین شود (۴). از جمله دلایل تفاوت این دو مطالعه با پژوهش حاضر مدت، شدت و نوع فعالیت ورزشی است.

لسیجوسکا و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان دادند که اسپکسین در تنظیم سوخت‌وساز چربی و کربوهیدرات در بسیاری از بافت‌های محیطی نقش دارد. بنابراین در سوخت‌وساز ماهیچه‌های اسکلتی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی نقش دارد. اسپکسین بیان پروتئین mRNA را تحریک میکند، که این پپتید روند میوژنز را تسریع می‌کند (۱۸) و بر تمایز مایوبلاست‌های C2C12 توسط گیرنده GalR3 واسطه میشود. ولی در مورد GalR2 ، که یکی از گیرنده‌های اسپکسین است و به‌طور گسترده در بسیاری از بافت‌های محیطی مانند دستگاه گوارش، پانکراس، کلیه‌ها، عضلات و بافت چربی بیان می‌شود، بسیاری از مسیرهای پیام‌رسانی درون سلولی توسط پروتئین‌های G همراه با GalR2 تنظیم می‌شوند. فعال شدن GalR2 از طریق آنزیم $\text{Gq } \alpha$ موجب تحریک فسفولیپاز و فراخوانی کلسیم و فعال شدن پروتئین کیناز منجر می‌شود. پروتئین، مسیر پروتئین کیناز فعال شده با میتوژن (MAPK) را فعال و آدنیلیل سیکلاز (AC) را مهار میکند. این مسیرها تا حد زیادی در فعالیت تکثیر سلولی، که شامل مسیر MAPK مذکور است، شرکت میکنند. در مقابل، فعال شدن گیرنده GalR3 با مهار مسیر AC همراه با هیپرپلاریزاسیون غشا همراه است، که مایوژنین و بیان GalR2 را در طول تمایز مایوبلاست تحریک میکند (۱۸). این واقعیت در ارتباط با نقش این گیرنده در تکثیر سلول‌های عضلانی، ممکن است به‌طور غیرمستقیم نشان‌دهنده تأثیر مفید ورزش در این بافت و افزایش

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی شرکت‌کنندگانی که در انجام پژوهش نویسندگان را در دستیابی به نتایج سودمند و کاربردی یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

حامی / حامیان مالی

پژوهش حاضر بخشی از پایان‌نامه ارشد در رشته فیزیولوژی ورزشی است که در گروه ورزشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان تصویب شده و بدون هیچ‌گونه حمایت مالی انجام گرفته است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول دانشجو، نویسنده دوم استاد راهنما و نویسنده سوم استاد مشاور پژوهش هستند.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافی بین نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Ceylan H, Saygıncı C, Çelikkaya B. Assessment of acute aerobic exercise in the morning versus evening on asprosin, spexin, lipocalin-2, and insulin level in overweight/obese versus normal weight adult men. *Chronobiology International*. 2020;37(8):1252-68.
2. Daviglius ML, Talavera GA, Avilés-Santa ML, Allison M, Cai J, Criqui MH, et al. Prevalence of major cardiovascular risk factors and cardiovascular diseases among Hispanic/Latino individuals of diverse backgrounds in the United States. *Jama*. 2012;308(17):1775-84.
3. Habibian M, Amirnia Shobi S, Zakeri Khatir E. The Effects of 8 weeks of regular aerobic exercise on the TNF- α levels and lipid profile in obese girls. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2021;28(1):134-42. (In Persian)
4. Baghersalimi M, Fathi R, Kazemi S. The Effect of Aerobic Training on Lipid Accumulation Product, Visceral Adiposity, Triglyceride-Glucose and McAuley Indices in Early Pubertal Obese/Overweight Girls. *Sport Physiology*. 2020;12(46):95-116. (In Persian)
5. Mirabeau O, Perlas E, Severini C, Audero E, Gascuel O, Possenti R, et al. Identification of novel peptide hormones in the human proteome by hidden Markov model screening. *Genome research*. 2007;17(3):320-7.
6. Lin C-y, Huang T, Zhao L, Zhong LL,

تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ مشاهده شد. مشاهدات این پژوهش نشان می‌دهد که تمرینات تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ موجب کاهش تری‌گلیسیرید در گروه تمرین می‌شود که با پژوهش ملکی‌نژاد و همکاران همسوست (۲۳). آن‌ها دریافتند که تفاوت معناداری پس از هشت هفته تمرینات تناوبی کم‌حجم در تری‌گلیسیرید به وجود آمده و کاهش تری‌گلیسیرید را در پی داشته است (۲۳).

همسو با این پژوهش، نتایج تحقیقی پس از چهار هفته تمرین هوازی موجب کاهش کلسترول تام TC و LDL-C و افزایش HDL-C در زنان و مردان سالم شده است (۲۴).

پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مواجه بود؛ تغذیه و رژیم غذایی که یکی از موارد اثرگذار بر روند پژوهش بود و امکان کنترل دقیق آن در آزمودنی‌ها وجود نداشت. میزان خواب و استراحت، در تنظیم و ترشح هورمون‌ها، تفاوت‌های فردی در بین آزمودنی‌ها مثل میزان انگیزه و آمادگی قلبی تنفسی می‌تواند موارد اثرگذار در برنامه تمرینی و ترشح اسپکسین در آزمودنی‌ها باشد. با در نظر گرفتن محدودیت‌های پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که هشت هفته تمرین تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ سبب کاهش معنادار سطوح تری‌گلیسیرید، LDL-C، کلسترول، وزن و شاخص توده بدن در گروه تمرین شد. از طرفی به افزایش سطوح HDL-C و سطح سرمی اسپکسین انجامید. بنابراین به نظر می‌رسد برنامه تمرین تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ بر بهبود شاخص‌های نیمرخ لیپیدی، ترکیب بدنی و سطح سرمی اسپکسین افراد دارای اضافه وزن مؤثر باشد.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده متغیرهای بررسی شده این پژوهش همراه با فعالیت تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ بر روی زنان چاق میانسال بررسی شود. همین‌طور در صورت لزوم، همراه با انجام تمرینات، با هدف بالا بردن بازدهی بیشتر می‌توان از برنامه‌های هفتگی تغذیه‌ای نیز بهره برد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد هشت هفته تمرینات تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ با تواتر سه بار در هفته تأثیر معناداری در افزایش اسپکسین سرم و HDL-C خون دارد، در ضمن موجب کاهش کلسترول، تری‌گلیسیرید و LDL-C مردان میانسال چاق می‌شود. با توجه به موارد مذکور می‌توان نتیجه گرفت که هشت هفته تمرینات تناوبی ۳۰-۲۰-۱۰ بر سطوح عوامل ذکر شده در مردان میانسال چاق تأثیرگذار است.

- Lam WC, Fan B-m, et al. Circulating spexin levels negatively correlate with age, BMI, fasting glucose, and triglycerides in healthy adult women. *Journal of the Endocrine Society*. 2018;2(5):409-19.
7. Bacopoulou F, Apostolaki D, Mantzou A, Doulgeraki A, Pałasz A, Tsimaris P, et al. Serum Spexin is correlated with lipoprotein (a) and androgens in female adolescents. *Journal of Clinical Medicine*. 2019;8(12):2103.
8. Fang P, Ge R, She Y, Zhao J, Yan J, Yu X, et al. Adipose tissue spexin in physical exercise and age-associated diseases. *Ageing Research Reviews*. 2022;73:101509.
9. Khadir A, Kavalakatt S, Madhu D, Devarajan S, Abubaker J, Al-Mulla F, et al. Spexin as an indicator of beneficial effects of exercise in human obesity and diabetes. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1-11.
10. Al-Daghri NM, Al-Hazmi HA, Al-Ajlan A, Masoud MS, Al-Amro A, Al-Ghamdi A, et al. Associations of spexin and cardiometabolic parameters among women with and without gestational diabetes mellitus. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2018;25(4):710-4.
11. Gu L, Ma Y, Gu M, Zhang Y, Yan S, Li N, et al. Spexin peptide is expressed in human endocrine and epithelial tissues and reduced after glucose load in type 2 diabetes. *Peptides*. 2015;71:232-9.
12. Gunnarsson TP, Bangsbo J. The 10-20-30 training concept improves performance and health profile in moderately trained runners. *Journal of Applied Physiology*. 2012.
13. Gliemann L, Gunnarsson TP, Hellsten Y, Bangsbo J. 10-20-30 training increases performance and lowers blood pressure and VEGF in runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2015;25(5):e479-e89.
14. Andrade PA, Silveira BS, Rodrigues AC, Da Silva FO, Rosa CB, Alfenas RG. Effect of exercise on concentrations of irisin in overweight individuals: a systematic review. *Science & Sports*. 2018;33(2):80-9.
15. Fang P, Zhang L, Yu M, Sheng Z, Shi M, Zhu Y, et al. Activated galanin receptor 2 attenuates insulin resistance in skeletal muscle of obese mice. *Peptides*. 2018;99:92-8.
16. Zahir IM, Ogawa S, Dominic NA, Soga T, Parhar IS. Spexin and Galanin in Metabolic Functions and Social Behaviors With a Focus on Non-Mammalian Vertebrates. *Frontiers in Endocrinology*. 2022;13.
17. Ma A, Bai J, He M, Wong AO. Spexin as a neuroendocrine signal with emerging functions. *General and comparative endocrinology*. 2018;265:90-6.
18. Leciejewska N, Pruszyńska-Oszmałek E, Mielnik K, Głowacki M, Lehmann TP, Sassek M, et al. Spexin Promotes the Proliferation and Differentiation of C2C12 Cells In Vitro—The Effect of Exercise on SPX and SPX Receptor Expression in Skeletal Muscle In Vivo. *Genes*. 2021;13(1):81.
19. Tran A, Loganathan N, McIlwraith EK, Belsham DD. Palmitate and nitric oxide regulate the expression of spexin and galanin receptors 2 and 3 in hypothalamic neurons. *Neuroscience*. 2020;447:41-52.
20. Kolodziejewski PA, Pruszyńska-Oszmałek E, Micker M, Skrzypski M, Wojciechowicz T, Szwarckopf P, et al. Spexin: A novel regulator of adipogenesis and fat tissue metabolism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*. 2018;1863(10):1228-36.
21. Yavuzkir S, Ugur K, Deniz R, Ustebay DU, Mirzaoglu M, Yardim M, et al. Maternal and umbilical cord blood subfatin and spexin levels in patients with gestational diabetes mellitus. *Peptides*. 2020;126:170277.
22. Gharari Arefi R, Hemati Nafar M, Kordi MR. The effect of a high intensity interval training program on lipid profile in sedentary young men. *Journal of sport Biosciences*. 2014;6(3):259-72. (In Persian)
23. Malekinezhad H, Moflehi D, Abbasi H, Behzadi A. Effect of low or high volume of high-intensity interval training protocols on the leptin and lipid profile in men with type 2 diabetes. *Journal of Community Health Research*. 2019;8(4):228-36. (In Persian)
24. Lakka TA, Lakka H-M, Rankinen T, Leon AS, Rao D, Skinner JS, et al. Effect of exercise training on plasma levels of C-reactive protein in healthy adults: the HERITAGE Family Study. *European heart journal*. 2005;26(19):2018-25.

Original Article

The effect of aerobic exercise and consumption of vitamin B6 and omega-3 on the expression of genes related to autophagy caused by endometriosis in female ratsZahra Rezaeei[✉], Parvin Farzanegi[✉], Hajar Abbaszadeh[✉]

Exercise Physiology Department, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

Abstract

Background and Purpose: Endometriosis is an estrogen-dependent inflammatory disease that affects 5-10% of women in reproductive age. Different cellular pathways are involved in the pathogenesis of endometriosis. One of these pathways is autophagy. Autophagy is a genetically and evolutionarily conserved programmed process that degrades long-lived cellular proteins and organelles. The aim of this study was to investigate the effect of aerobic exercise and consumption of vitamin B6 and omega-3 on the expression of genes related to autophagy caused by endometriosis in female rats.

Materials and Methods: In this experimental study, 40 adult male Wistar rats of eight weeks old were recruited. After transferring the rats to the laboratory environment and after two weeks of familiarization with the new environment and creating the endometriosis model, they were randomly and equally (n=5 in each group), divided into the healthy-control, endometriosis, sham, endometriosis+training, endometriosis+B6, endometriosis+omega-3, endometriosis+training+B6, endometriosis+training+omega-3 groups. The duration of training in the water was 30 minutes daily until the end of the training period. Two weeks after the creation of the model, omega-3 supplement at a dose of 2 ml/kg was given to the endometriosis+omega-3 and endometriosis+exercise+omega-3 groups and vitamin B6 supplement at the rate of 60 mg/kg body weight was given to the rats in endometriosis+B6 and endometriosis+exercise+B6 groups, were taken daily and in the form of gavage. One-way analysis of variance was used to analyze the data.

Results: The results showed that the expression levels of LC3-1 and LC3-II genes in the endometriosis group were significantly higher than the healthy control group ($P < 0.0001$) and the expression levels of LC3-1 and LC3-II genes in the endometriosis+exercise, endometriosis+omega-3, endometriosis+B6, endometriosis+exercise+B6 and endometriosis+exercise+omega-3 group were significantly lower than the endometriosis group ($P < 0.0001$). Their values in endometriosis+exercise+B6 and endometriosis+exercise+omega-3 groups were significantly lower than the other groups ($P < 0.0001$). Moreover, the results showed that the expression levels of FOXO3 and LC3-II/I genes in the endometriosis group were significantly lower than the healthy control group ($p < 0.0001$). The expression levels of FOXO3 and LC3-II/I genes in endometriosis+exercise, endometriosis+omega-3, endometriosis+B6, endometriosis+exercise+B6 and endometriosis+exercise+omega-3 groups were significantly higher than the endometriosis group ($P < 0.05$). Their values in endometriosis+exercise+B6 and endometriosis+exercise+omega-3 groups were significantly higher than the other groups ($P < 0.0001$).

Conclusion: In general, the results of the present research indicate that the increased expression of autophagy genes in endometriosis can be inhibited by regular aerobic exercise such as swimming and omega-3 and B6 consumption. Probably, the pathological disorder caused in autophagy in endometriosis is improved by exercising and supplementing omega-3 and B6, through the reductions in the expression of LC3-I, LC3-II genes and the increases in expression of FOXO3 genes and the ratio of LC3-II / LC3-I.

Keywords: Autophagy, Endometriosis, Aerobic Exercise, Omega-3, B6

How to cite this article: Rezaeei Z, Farzanegi P, Abbaszadeh H. The effect of aerobic exercise and consumption of vitamin B6 and omega-3 on the expression of genes related to autophagy caused by endometriosis in female rats. *J Sport Exerc Physiol.* 2023; 16(2): 24-35.

*Corresponding Author's E-mail: parvin.farzanegi@iausari.ac.ir
<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103530>

Received: 10/11/2022

Revised: 04/02/2023

Accepted: 15/02/2023



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

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات هوازی و مصرف ویتامین B6 و امگا ۳ بر بیان ژن‌های وابسته به اتوفازای ناشی از اندومتريوز در موش‌های ماده

زهرا رضایی^۱، پروین فرزانی*^۲، هاجر عباس‌زاده^۳

گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

چکیده

زمینه و هدف: اندومتريوز یک بیماری التهابی وابسته به استروژن است که ۵-۱۰ درصد زنان را در سن باروری تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پاتوژنز بیماری اندومتريوز مسیرهای سلولی گوناگونی درگیرند. یکی از این مسیرها اتوفازای است. اتوفازای یک فرایند برنامه‌ریزی شده از نظر ژنتیکی و تکاملی حفاظت شده است که پروتئین‌های سلولی با عمر طولانی و ارگانل‌ها را تخریب می‌کند. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تمرینات هوازی و مصرف ویتامین B6 و امگا ۳ بر بیان ژن‌های مرتبط با اتوفازای ناشی از اندومتريوز در موش‌های ماده بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تجربی، از ۴۰ سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار با سن حدود هشت هفته استفاده شد. موش‌ها پس از انتقال به محیط آزمایشگاه و پس از دو هفته آشنایی با محیط جدید و ایجاد اندومتريوز، به صورت تصادفی و به تعداد مساوی پنج سر موش در هر گروه، به گروه‌های کنترل-سالم، اندومتريوز، شم، اندومتريوز+تمرین، اندومتريوز+B6، اندومتريوز+امگا ۳، اندومتريوز+تمرین+B6، اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ جایگزین شدند. مدت زمان تمرین در آب، روزانه ۳۰ دقیقه تا پایان مدت تمرین بود. دو هفته پس از ایجاد مدل اندومتريوز، مکمل امگا ۳ با دوز ۲ میلی‌لیتر در کیلوگرم به گروه‌های اندومتريوز+امگا ۳ و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ و مکمل ویتامین B6 به میزان ۶۰ mg/kg وزن بدن موش‌های صحرایی به گروه‌های اندومتريوز+B6 و اندومتريوز+تمرین+B6 به صورت روزانه و به شکل گاوآذ خورانده شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از تحلیل واریانس یکطرفه استفاده شد.

نتایج: نتایج نشان داد میزان بیان ژن‌های LC3-II و LC3-I در گروه اندومتريوز نسبت به گروه کنترل-سالم به طور معناداری بیشتر بود ($P < 0/0001$) و مقادیر بیان ژن‌های LC3-II و LC3-I گروه‌های اندومتريوز+تمرین، اندومتريوز+امگا ۳، اندومتريوز+B6، اندومتريوز+تمرین+B6 و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ به طور معناداری کمتر بود ($P < 0/0001$). مقادیر آن‌ها در گروه اندومتريوز+تمرین+B6 و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ نسبت به گروه‌های دیگر به طور معنادار کمتر بود ($P < 0/0001$). همچنین نتایج نشان داد میزان بیان ژن‌های FOXO3 و LC3-II/I در گروه اندومتريوز نسبت به گروه کنترل-سالم به طور معناداری کمتر بود ($P < 0/0001$). میزان بیان ژن‌های FOXO3 و LC3-II/I گروه‌های اندومتريوز+تمرین، اندومتريوز+امگا ۳، اندومتريوز+B6، اندومتريوز+تمرین+B6 و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ نسبت به گروه اندومتريوز به طور معناداری بیشتر بود ($P < 0/05$). مقادیر آن‌ها در گروه اندومتريوز+تمرین+B6 و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ نیز نسبت به گروه‌های دیگر به طور معناداری بیشتر بود ($P < 0/0001$).

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که افزایش بیان ژن‌های اتوفازای که در اندومتريوز ایجاد شده، می‌تواند با فعالیت ورزشی منظم هوازی مانند شنا و مکمل امگا ۳ و B6 مهار شود. شاید اختلال آسیب‌شناختی ایجاد شده در اتوفازای با انجام فعالیت ورزشی و مکمل امگا ۳ و B6 از طریق کاهش تنظیمی بیان ژن‌های LC3-I، LC3-II و افزایش بیان ژن‌های FOXO3 و نسبت LC3-I / LC3-II در بهبود اندومتريوز کمک‌کننده باشد.

واژه‌های کلیدی: اتوفازای، اندومتريوز، تمرینات هوازی، امگا ۳، B6

نحوه استناد به این مقاله: رضایی ز، فرزانی پ، عباس‌زاده ه. تأثیر تمرینات هوازی و مصرف ویتامین B6 و امگا ۳ بر بیان ژن‌های وابسته به اتوفازای ناشی از اندومتريوز در موش‌های ماده. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی، ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۲۴-۳۵.

* رایانامه نویسنده مسئول: parvin.farzanegi@iausari.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۹

مقدمه

موش‌های مبتلا به دیابت منجر می‌شود (۹). همچنین آقاعلی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) اثر تمرینات ورزشی در مقابله با رشد تومور از طریق تغییر در بیان ژن‌های LC3 و Bcl-2 در موش‌های مبتلا به سرطان را نشان داده‌اند (۱۰). تحقیقات نشان داده است که انجام فعالیت‌های ورزشی می‌تواند دست‌کم در مورد درمان اندومتریوز، سودمند باشد (۱۱). با این همه، سازوکارهای سلولی و مولکولی هنوز به خوبی شناخته نشده است. نشان داده شده است که افزون‌بر تمرین ورزشی عوامل دیگری مانند اسیدهای چرب چندگانه غیراشباع امگا ۳ (O-PuFA) توانایی کاهش نشانه‌های دردناک مربوط به اندومتریوز، کاهش اندازه ضایعه، حفظ توانایی بارداری در بیمار و بروز کمترین تأثیرات جانبی را دارد (۱۲). مصرف غذاهایی با اسیدهای چرب امگا ۳ بالا دارای تأثیر ضدالتهابی در عارضه‌هایی مانند آترواسکلروز است. مهم این است که نشان داده شده است که اسید چرب امگا ۳ می‌تواند به عنوان پیش‌ماده تشکیل دهنده گسترده‌ای از واسطه‌های دخیل در رفع التهاب عمل کند (۱۳، ۱۴). پژوهشگران بیان کرده‌اند که انجام فعالیت‌های ورزشی و نیز افزایش مصرف اسیدهای چرب امگا ۳ می‌تواند موجب کاهش احتمال خطر اندومتریوز شود. بی‌تحریکی و کمبود مکمل امگا ۳ به ایجاد زمینه‌های گوناگونی در توسعه بیماری‌های التهابی منجر می‌شود. ورزش منظم دارای تأثیرات محافظتی در برابر بیماری‌هایی است که شامل فرایندهای التهابی می‌شوند، زیرا موجب افزایش سطح عمومی سایتوکاین‌ها با خواص ضدالتهابی و ضداکسایشی می‌شود و همچنین با کاهش سطح استروژن عمل می‌کند. در سال‌های اخیر، تأثیرات ضدگرایبی، ضدالتهابی، ضدآپوپتوز و ضدتکثیر اسیدهای چرب غیراشباع امگا ۳ در چندین مطالعه تجربی نشان داده شده است، مطابق با این مشاهدات، امگا ۳ ممکن است گزینه درمانی بسیار مناسبی برای مسیرهای پاتوفیزیولوژی اندومتریوز باشد (۱۲). آزمایش‌های زیادی برای مشاهده تأثیرات گسترده از فعالیت بدنی و مصرف مکمل امگا ۳ بر مشکلات بهداشتی انسان مانند پیشگیری و بهبود بیماری‌های التهابی انجام گرفته است. از مزایای افزایش مکمل امگا ۳ و فعالیت بدنی می‌توان به نقش آنها به عنوان کوفاکتور در فرایندهای بهبودی اشاره کرد. شواهد نشان می‌دهد که بیماران مبتلا به اندومتریوز

اندومتریوز یک بیماری التهابی وابسته به استروژن است که ۵-۱۰ درصد زنان را در سن باروری تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱). از علل ایجاد اندومتریوز می‌توان به ناباروری، سابقه خانوادگی اندومتریوز، انسداد راه خروج طبیعی قاعدگی از بدن، سابقه عفونت لگنی و اختلال رحمی اشاره کرد (۱). بر اساس پژوهش‌های انجام‌گرفته افزون‌بر عوامل محیطی، عوامل ارثی هم در ابتلا به این بیماری نقش مهمی دارند (۱، ۲). در آسیب‌شناسی بیماری اندومتریوز مسیرهای سلولی گوناگونی درگیرند. یکی از این مسیرها اتوفاژی است. اتوفاژی یک فرایند برنامه‌ریزی‌شده از نظر ژنتیکی و تکاملی حفاظت‌شده است که پروتئین‌های سلولی با عمر طولانی و اندامک‌ها را تخریب می‌کند. در واقع اتوفاژی شامل تشکیل وزیکول دوغشایی است که سیتوپلاسم و ارگانل‌ها را احاطه می‌کند و سپس با لیزوزوم‌ها ادغام می‌شود، بنابراین محتوای لیزوزوم را تخریب می‌کند (۳). اتوفاژی پاسخی به فرایند آنابولیکی ساختن ماکرومولکول‌هاست و به منظور حفظ هومئوستاز انرژی، تأمین‌کننده انرژی است (۴). دانشمندان با ارائه شواهد ثابت کرده‌اند که بین انواع مرگ سلولی، رابطه درونی وجود دارد. مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی و نکروز به موازات یکدیگر عمل کرده و اتوفاژی را هم درگیر می‌کنند. شرایط و عوامل درونی می‌توانند تعادل بین مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی و نکروز را تعیین کنند. در حالت ناتوانی برای سازگار شدن با شرایط گرسنگی، مسیر اتوفاژی به سمت مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی یا نکروز می‌رود (۵، ۶). حدود ۳۰ ژن ویژه، اتوفاژی را تنظیم می‌کنند که از بین آن‌ها، LC3 (پروتئین زنجیره سبک-۳ مرتبط با میکروتوبول) نقش مهمی در اتوفاژی پستانداران ایفا می‌کند و به‌طور معمول به عنوان نشانگر تشکیل اتوفاگوزوم به کار می‌رود که تعداد اتوفاگوزوم‌های مشاهده‌شده در بافت به نوبه خود می‌تواند به عنوان مقیاس فعالیت اتوفاژیک در نظر گرفته شود (۷). مشخص شده است که تمرین ورزشی می‌تواند اتوفاژی و ترویج تخریب پروتئین‌های آسیب‌دیده را بهبود دهد (۸). پژوهش‌های گوناگونی درباره تأثیر فعالیت ورزشی بر اتوفاژی انجام گرفته است، جوکار و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که هشت هفته تمرین ورزشی به کاهش محتوای پروتئین‌های FOXO3a و Beclin-1 بافت قلب و مهار اتوفاژی در

تجربی بود. نمونه آماری پژوهش موش‌های صحرایی ماده نژاد ویستار با سن حدود هشت هفته بودند که از بین آن‌ها ۴۰ سر موش خریداری و پس از انتقال به محیط آزمایشگاه و آشنایی با محیط جدید پس از دو هفته و ایجاد مدل اندومتريوز، موش‌ها به صورت تصادفی و به تعداد مساوی به هشت گروه کنترل- سالم (n=۵)، اندومتريوز (n=۵)، اندومتريوز، شم (n=۵)، اندومتريوز+تمرین (n=۵)، اندومتريوز+B6 (n=۵)، اندومتريوز+امگا ۳ (n=۵)، اندومتريوز+تمرین+B6 (n=۵)، اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ (n=۵) دسته‌بندی شدند. نگهداری حیوانات مطابق با راهنمای انستیتوی بین‌المللی سلامت و شیوه‌نامه‌های این مطالعه با رعایت اصول اعلامیه هلسینکی و ضوابط اخلاق پزشکی انجام گرفته است. همچنین پژوهش حاضر توسط کمیته مراقبت از حیوانات و استفاده از آن در دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری تأیید شده است (شماره مجوز تصویب: IR.IAU.SARI.REC.1399.120).

روش اجرای پژوهش: این پژوهش بر اساس قوانین بین‌المللی در مورد حیوانات آزمایشگاهی انجام گرفت. از آنجا که انتقال و جابه‌جایی موش‌ها موجب ایجاد فشار و تنش در آنها می‌شود، آنها به منظور سازگاری با محیط به مدت یک هفته پس از انتقال در آن محیط نگهداری شدند و برای آشنایی با آب به تمرینات کوتاه مدت شنا به مدت یک هفته پرداختند. طی یک هفته آشنایی آزمودنی‌ها پنج جلسه تمرین انجام می‌دادند که هر دفعه به مدت ۲۰ دقیقه برای آشنایی با آب و کاهش فشارهای وارده شنا و سازگاری با شرایط تمرینی به تمرین می‌پرداختند. آزمودنی‌ها پس از هر بار تمرین شنا پس از خشک کردن کامل با استفاده از حوله و خشک‌کن ویژه به داخل قفس‌ها بازگردانده می‌شدند. برای ایجاد مدل اندومتريوز، ابتدا موش‌های صحرایی بالغ با استفاده از کتامین (۳۰-۵۰ mg/kg) و زایلازین (۳-۵ mg/kg) بی‌هوش شدند. پس از آن، ناحیه شکمی در طرف راست با بتادین تمیز شد. سپس با استفاده از تیغ بیستوری شکافی در پوست ناحیه پهلو در بخش لگنی داده شد. پس از شکافتن عضله شکمی و ناحیه صفاق، ابتدا، بافت تخمدانی به همراه بخشی از بافت لوله رحمی برداشته شد. سپس در داخل ظرف استریل با یک میلی‌لیتر BPS (phosphate Buffer solution) قرار داده شد. سپس هر بافت به یک قطعه یک در یک

دارای سطوح بالاتر فشار اکسایشی و سایتوکین‌های التهابی و پیش‌التهابی‌اند (۱۵). پژوهشگران به منظور کاهش این علائم، افزایش روند بهبود و کیفیت زندگی بیماران، مطالعات بر انجام مداخلات مناسب تأکید می‌کنند، چراکه دیده شده که در ترشحات و مایعات رحمی افراد مبتلا به اندومتريوز سطح شاخص‌های اکسایشی بالاست و به‌طور کلی سطح آنزیم‌های ضد اکسایشی مانند سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز، گلوکوتایون پراکسیداز و ضد اکسایشی‌های غیر آنزیمی مانند تورین، ویتامین‌های C، E و B در زنان مبتلا پایین‌تر است (۱۶). براساس نتایج تحقیقات مصرف مکمل‌های غذایی، ویتامین‌ها مانند ویتامین‌های گروه B مانند B6 مقدار استروژن را در بدن کنترل و به کاهش علائم اندومتريوز کمک می‌کنند، از این رو به کنترل‌کننده سطح استروژن معروف‌اند، به‌ویژه B6، B2، B1 از عود مجدد اندومتريوز جلوگیری می‌کنند. استفاده از مداخلات ورزشی در بیماران مبتلا به اندومتريوز مؤثر است. ورزش هوازی از رایج‌ترین روش‌های تمرینی برای بهبود ناباروری و بیماری‌های زنان است. ویتامین‌های B با تعدیل مسیرهای پیام‌رسانی سلولی، نقش مهمی در پیشگیری و درمان سرطان دارند. ویتامین B6، یک عامل ضدالتهابی، جهش‌یافته و تقویت‌کننده اعصاب قوی است که با فعال کردن ژن‌های سرکوبگر تومور، غیرفعال کردن رگ‌زایی و فعال کردن ژن‌های ضدالتهابی و القای آپوپتوز از پیشرفت جلوگیری می‌کند. تومورهای سرطانی از بسیاری از تغییرات آسیب‌شناختی که در پاسخ به نفوذ سلول‌های التهابی رخ می‌دهد، جلوگیری می‌کنند (۱۷). با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته و همه‌گیرشناسی بیماری اندومتريوز، نقش فعالیت بدنی و مصرف اسید چرب غیراشباع به‌ویژه امگا ۳ و ویتامین B6 بر میزان بیان ژن‌های اتوفازی در موش‌های درگیر اندومتريوز پس از تمرینات هوازی منظم و مصرف امگا ۳ و ویتامین B6 در کاهش سطح این بیماری یافت نشده است. بنابراین در این پژوهش تأثیر تمرینات هوازی و مصرف ویتامین B6 و امگا ۳ بر بیان ژن‌های مرتبط با اتوفازی ناشی از اندومتريوز در موش‌های ماده بررسی شده است.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: روش انجام این پژوهش از نوع

بررسی به صورت کمی استفاده شد. برای این منظور ابتدا با استفاده از محلول کپازول، RNA کل سلول‌ها طبق شیوه‌نامه سیناژن استخراج شد و برای اطمینان از آلودگی با DNA ژنومیک، در معرض DNase I Fermentas قرار گرفت. سپس کیفیت RNA‌های استخراج شده با دستگاه اسپکتروفتومتری (DPI-1, Kiagen) ارزیابی شد. به منظور تهیه cDNA تک‌رشته‌ای از آغازگر Oli-godt MWG-Biotech, Germany و آنزیم نسخه‌برداری معکوس (شرکت فرمنتاز) استفاده شد و طبق شیوه‌نامه شرکت سازنده انجام گرفت. هر واکنش PCR با استفاده از SYBER Green و PCR master mix Applied Biosystems در دستگاه Sequences Detection Applied Biosystems, Foster City, CA طبق پروتکل شرکت سازنده انجام گرفت. ۴۰ چرخه برای هر چرخه Real-Time PCR در نظر گرفته شد و دماهای هر چرخه شامل ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ ثانیه، ۵۸-۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ثانیه و ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ثانیه تنظیم شدند. نمودار Melting به منظور بررسی صحت واکنش‌های PCR انجام گرفت و به صورت اختصاصی برای هر ژن و در هر بار از واکنش به همراه نمودار کنترل منفی به منظور بررسی وجود آلودگی در هر واکنش ارزیابی شد. توالی آغازگرها در جدول ۱ مشاهده می‌شود. نسبت بیان ژن‌های مورد بررسی در این تحقیق، با روش مقایسه‌ای چرخه آستانه (Threshold Cycle: CT) ارزیابی شد. با استفاده از قرار دادن داده‌ها در فرمول زیر:

$$R=2^{-(\Delta\Delta CT)}$$

$$\Delta\Delta CT = (CT_{\text{target}} - CT_{\text{reference}})_{\text{TimeX}} - (CT_{\text{target}} - C_{\text{Treference}})_{\text{Time0}}$$

منحنی استاندارد اختصاصی هر ژن با استفاده از دست‌کم پنج غلظت لگاریتمی به ترتیب رقیق شونده از کنترل مثبت هر ژن رسم شد. میزان بیان ژن هدف با ژن مرجع (GAPDH) نرمالیز شده و بیان ژن‌های گروه سالم به عنوان کالیبراتور در نظر گرفته شد.

$$\text{Ratio} = \frac{(E_{\text{target}})^{\Delta CT_{\text{target}}}}{(E_{\text{reference}})^{\Delta CT_{\text{reference}}}}$$

$$(\Delta Ct_{\text{reference}} = Ct_{\text{control}} - Ct_{\text{treatment}} \text{ and } \Delta Ct_{\text{target}} = Ct_{\text{control}} - Ct_{\text{treatment}})$$

در فرمول بالا E معرف Efficiency است و با استفاده

از رسم منحنی استاندارد برای ژن به دست می‌آید.

در یک میلی‌متر بریده شد. قطعات بافتی که برای هر موش چهار قطعه بود به ناحیه دیواره عضلانی لگنی سمت راست، ناحیه صفاق شکمی، ناحیه عضله قدامی دیواره شکمی و چربی اطراف تخمدان پیوند زده شد. سپس ناحیه جراحی شده بخیه شده و موش‌ها به قفس مربوطه انتقال داده شدند (۱۵). موش‌های گروه آندومتريوز+تمرین، آندومتريوز+تمرین+ امگا ۳ و آندومتريوز+تمرین+ امگا ۳+ B6 پیش از شروع پروتکل اصلی، به مدت یک هفته (پنج روز) هر دفعه به مدت ۲۰ دقیقه به منظور آشنایی با آب و کاهش فشار و تنش شنا و سازگاری با شرایط تمرینی، در داخل استخر آب قرار می‌گرفتند. سپس پنج روز در هفته تا پایان دوره پژوهش در مخزن آب به ابعاد ۱۰۰×۵۰×۵۰ سانتی‌متر با درجه حرارت ۳۰-۳۲ درجه سانتی‌گراد طی هشت هفته به شنا می‌پرداختند. مدت زمان تمرین در آب، روزانه ۳۰ دقیقه تا پایان مدت تمرین بود (۱۱، ۱۹). دو هفته پس از ایجاد مدل، مکمل امگا ۳ با دوز ۲ میلی‌لیتر در کیلوگرم (۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) (۲۰) به گروه‌های آندومتريوز+امگا ۳ و آندومتريوز+تمرین+ امگا ۳ و مکمل ویتامین B6 به میزان ۶۰ kg/mg وزن بدن موش‌های صحرایی (۲۱) به گروه‌های آندومتريوز+ B6 و آندومتريوز+تمرین+ B6 به صورت روزانه و به شکل گاواژ خورانده شد.

روش‌های آزمایشگاهی: نمونه‌گیری بافتی موش‌ها جهت حذف اثر حاد تمرین، پس از ۴۸ ساعت پس از آخرین برنامه تمرینی شنا انجام گرفت. برای این منظور ابتدا حیوانات با استفاده از تزریق صفاقی کتامین (۳-۵ mg/kg) بی‌هوش و سپس جراحی شدند و پس از آن، به منظور بررسی و مطالعات ژنی بافت‌های پیوندشده ارزیابی شدند. بدین منظور نمونه‌های بافتی با فرمالین ۱۰ درصد به تانک ازت منتقل شدند. برای بررسی بیان ژن‌های مورد بررسی پژوهش در هر گروه بررسی بافت‌ها با تکنیک PCR Real Time انجام گرفت. ابتدا طراحی آغازگر انجام گرفت و سپس RNA کل از بافت‌ها استخراج شد و به cDNA تبدیل شد. سپس cDNA به روش PCR تکثیر شده و میزان بیان ژن LC3-II، FOXO3، LC3-I، LC3-I/LC3-I بررسی شد. بدین منظور ابتدا طراحی آغازگر انجام گرفت و سپس RNA کل از بافت‌ها استخراج و به cDNA تبدیل شد. سپس cDNA به روش PCR تکثیر شده و از تکنیک RT-qPCR برای تأیید بیان ژن‌های مورد

جدول ۱. مشخصات آغازگرهای مورد استفاده به منظور همسان سازی ژن ها

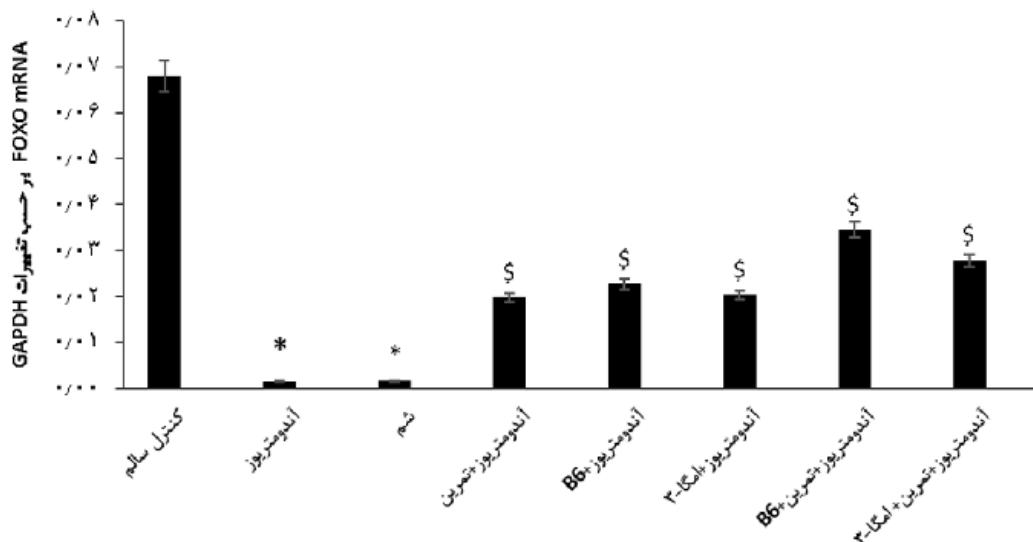
Reverse primer 5'-3'	Forward primer 5'-3'	ژن
CTGTGTCCGTTCCACCAACAG	AGCAGCATCCAACCAAAAATC	LC3-I
TTCACCAGCAGGAAGAAGGC	TACAGCAGATACGCGACCAG	LC3-II
TCCAAGCTCCCATTGAACAT	TTCGCAAGGACCCAAATGA	FOXO3
AGTCCTTCCACGATACCAAAGT	CATGAGAAGTATGACAACAGCCT	GAPDH

تمرین+امگا ۳ نسبت به گروه اندومتريوز به طور معناداری کمتر بود ($P < 0/0001$). مقادیر آن ها در گروه اندومتريوز+تمرین+ B6 و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ نسبت به گروه های دیگر به طور معنادار کمتر بود. همچنین بین گروه های گوناگون پژوهش در سطوح بیان ژن های FOXO3 و LC3-II/I تفاوت معناداری به لحاظ آماری دیده شد ($P < 0/0001$). نتایج آزمون تعقیبی نیز نشان داد میزان بیان ژن های FOXO3 و LC3-II/I در گروه اندومتريوز نسبت به گروه کنترل- سالم به طور معناداری کمتر بود ($P < 0/0001$). میزان بیان ژن های FOXO3 و LC3-II/I گروه های اندومتريوز+تمرین، اندومتريوز+امگا ۳، اندومتريوز+B6، اندومتريوز+تمرین+B6 و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ نسبت به گروه اندومتريوز به طور معناداری بیشتر بود ($P < 0/05$). مقادیر آن ها در گروه اندومتريوز+تمرین+B6 و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳ نسبت به گروه های دیگر به طور معناداری بیشتر بود.

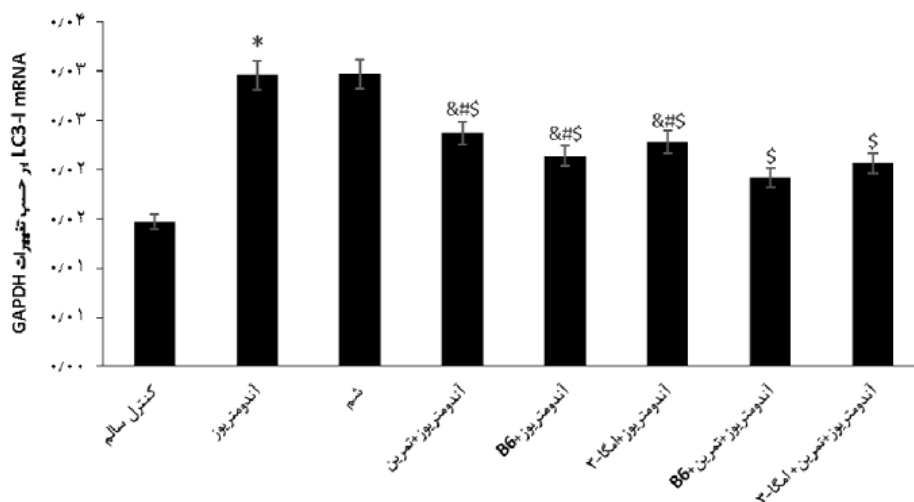
تحلیل آماری: برای تجزیه و تحلیل یافته های این پژوهش از آزمون های شاپیروویلیک، تحلیل واریانس یکطرفه و توکی برای مقایسه بین گروه های گوناگون استفاده شد. تمامی محاسبات با استفاده از نرم افزار آماری SPSS با نسخه ۲۳ و در سطح معناداری $P < 0/05$ انجام گرفت.

نتایج

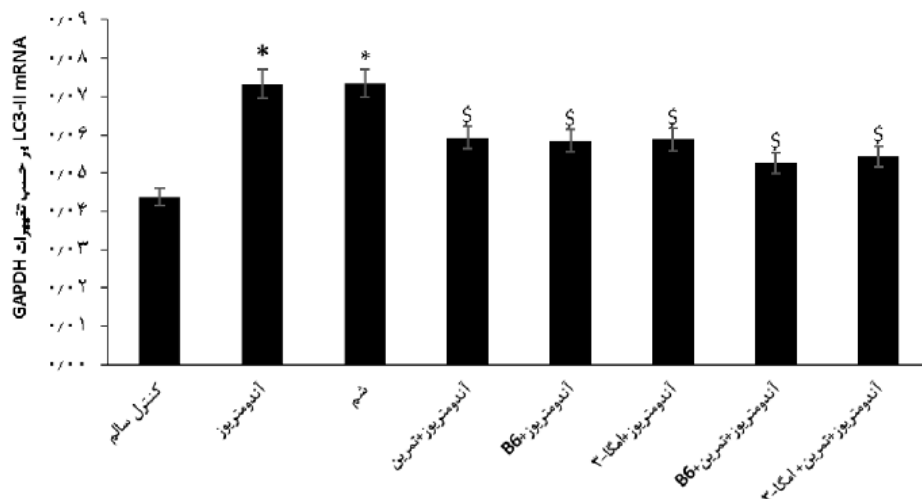
نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که بین گروه های گوناگون پژوهش در سطوح بیان ژن LC3-1 ($P < 0/0001$) و LC3-II ($P = 0/002$) تفاوت معناداری به لحاظ آماری وجود دارد. نتایج آزمون تعقیبی نیز نشان داد میزان بیان ژن های LC3-1 و LC3-II در گروه اندومتريوز نسبت به گروه کنترل- سالم به طور معناداری بیشتر بود ($P < 0/0001$) و مقادیر بیان ژن های LC3-1 و LC3-II گروه های اندومتريوز+تمرین، اندومتريوز+امگا ۳، اندومتريوز+B6، اندومتريوز+تمرین+B6 و اندومتريوز+تمرین+امگا ۳



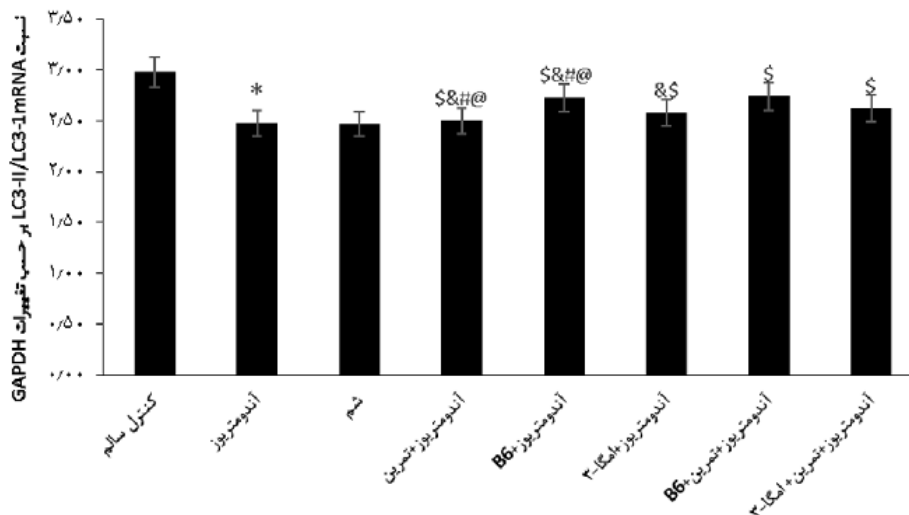
شکل ۱. شاخص های مرکزی و پراکندگی mRNA FOXO3 بر حسب تغییرات GAPDH. * تغییرات معنادار نسبت به گروه کنترل سالم. \$: تغییرات معنادار نسبت به گروه اندومتريوز



شکل ۲. شاخص های مرکزی و پراکندگی mRNA LC3-1 بر حسب تغییرات GAPDH. *: تغییرات معنادار نسبت به گروه کنترل سالم. \$: تغییرات معنادار نسبت به گروه آندومتريوز. &: تغییرات معنادار نسبت به گروه آندومتريوز+تمرين+B6. #: تغییرات معنادار نسبت به گروه آندومتريوز+تمرين+B6+تمرين.



شکل ۳. شاخص های مرکزی و پراکندگی mRNA LC3-II بر حسب تغییرات GAPDH. *: تغییرات معنادار نسبت به گروه کنترل سالم. \$: تغییرات معنادار نسبت به گروه آندومتريوز.



شکل ۴. شاخص‌های مرکزی و پراکندگی mRNA LC3-II/LC3-I بر حسب تغییرات GAPDH. *: تغییرات معنادار نسبت به گروه کنترل سالم. \$: تغییرات معنادار نسبت به گروه آندومترئوز. &: تغییرات معنادار نسبت به گروه آندومترئوز+تمرین+B6. #: تغییرات معنادار نسبت به گروه آندومترئوز+تمرین+امگا۳. @: تغییرات معنادار نسبت به گروه آندومترئوز+امگا۳.

بحث و نتیجه‌گیری

حمایت می‌کند. به‌گونه‌ای که اتوفازی به‌عنوان سدی در برابر فشار سوخت‌وسازی عمل می‌کند (۲۳). در تداخل بین مسیرهای مرگ سلولی، مولکول‌های تنظیمی مهمی نقش ایفا می‌کنند. اتوفازی در شرایط تنش مانند گرسنگی، ایسکمی / خون‌رسانی مجدد و عفونت پاتوژن فعال می‌شود و در شرایط بیماری‌زایی گوناگون ایجاد می‌شود. به‌طور معمول پذیرفته می‌شود که ROS، اتوفازی را القا می‌کند و اتوفازی آسیب اکسایشی را کاهش می‌دهد (۲۴). تحقیقات اختلال در این مسیر را در بیماری‌های گوناگون گزارش داده‌اند (۲۵).

روی هم‌رفته تاکنون درباره نقش اتوفازی در فرایند مرگ سلولی توافقی حاصل نشده و ناهمگونی در نتایج بسیاری از تحقیقات، بحث برانگیز بوده است. شاید علت آن عملکرد دوگانه اتوفازی باشد. اتوفازی از یک طرف موجب افزایش مدت و میزان بقای سلول و از طرف دیگر در مراحل پیشرفته مرگ سلول می‌شود. شرز سوال و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که فشارهای اکسایشی، فقر غذایی، میتوکندری با عملکرد ناقص و همچنین فشارهای رتیكولوم و اندوپلاستیک، می‌توانند موجب القای اتوفازی شوند (۲۶).

نشان داده شده که اتوفازی فرایند ضروری برای عملکرد طبیعی بافت‌هاست، بنابراین تنظیم فرایند اتوفازی از طریق فعالیت‌های ورزشی می‌تواند روش درمانی مفیدی در شرایط بیماری‌زایی باشد (۲۷). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تمرینات ورزشی می‌تواند

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تمرینات هوازی و مصرف ویتامین B6 و امگا۳ بر بیان ژن‌های وابسته به اتوفازی ناشی از آندومترئوز در موش‌های ماده انجام گرفت. نتایج نشان داد که آندومترئوز موجب افزایش بیان ژن LC3-I و LC3-II و کاهش بیان ژن‌های FOXO و نسبت LC3-I/LC3-II می‌شود. در مقابل، انجام فعالیت ورزشی منظم هوازی مانند شنا و مصرف مکمل‌های امگا۳ و B6 با کاهش بیان ژن LC3-I و LC3-II و افزایش بیان ژن‌های FOXO و نسبت LC3-I/LC3-II موجب بهبود آندومترئوز خواهد شد. مسیر اصلی پروتئین‌های درگیر در فرایند اتوفازی توسط سازوکارهای تنظیمی پیچیده‌ای تنظیم می‌شود که می‌توان به پیام‌های ورودی گوناگون از جمله مواد مغذی، عوامل رشدی، هورمون‌ها، غلظت کلسیم داخل سلولی، میزان ATP، هیپوکسی و ... اشاره کرد (۱۰). پژوهش‌های گوناگون نشان داده‌اند که LC3 می‌تواند مرگ سلولی یا بقای آن را افزایش دهد، همچنین یکی از عوامل مؤثر در اتوفازی است که بر اساس شواهد موجود می‌تواند عملکرد آپوپتوتیک داشته باشد (۲۲). گزارش شده است که کاهش فعالیت اتوفازیک به دلیل کم شدن میزان بیان LC3 و Beclin-1 می‌تواند با توموروز و افزایش رشد تومور همراه باشد. ولی در شرایط آسیب‌شناختی متفاوت است. در شرایط فشار سوخت‌وسازی، اتوفازی، برای محدود کردن نکروز و التهاب توموری، سلول را

نشان می‌دهد که پیام‌های درون سلولی استخراج شده توسط تمرینات استقامتی یا تمرینات مقاومتی به تنظیم بیش از حد نشانگرهای مولکولی UPP، با افزایش بیشتر پس از تمرینات استقامتی منجر می‌شود. با این همه، در حالت تمرین کرده، سطح بیان نشانگرهای مولکولی UPP در پی تمرینات استقامتی تک مرحله‌ای افزایش می‌یابد، ولی کمتر به تمرینات مقاومتی تک مرحله‌ای پاسخ می‌دهد. این مسئله نشان می‌دهد که سازگاری‌های پس از تمرینات استقامتی بیشتر به فرایندهای تخریب UPP پروتئین وابسته‌اند تا سازگاری‌های پس از تمرینات مقاومتی (۳۳). مونتگرو و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود به بررسی تأثیر فعالیت بدنی بر اندومتريوز در موش صحرايي پرداختند. ۷۰ موش ماده نژاد ویستار به هفت گروه ده‌تایی تقسیم شدند: موش‌هایی با ورزش سبک (شنا یک بار در هفته)، ورزش متوسط (شنا سه بار در هفته) و ورزش شدید (شنا پنج بار در هفته) پیش یا پس از ایجاد اندومتريوز در آنها. در انتهای این پروتکل تجربی، پس از انجام فعالیت بدنی و بدون در نظر گرفتن تعداد آن، شاهد کاهش اندازه آسیب اندومتريک بودند، و در گروه‌های دارای فعالیت متوسط و شدید، کاهش بیشتری مشاهده شد (۱۱). کروپا و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود به بررسی روش‌های درمانی اندومتريوز پرداختند. این پژوهشگران از جمله روش‌های درمانی در زنان مبتلا به اندومتريوز را درمان دارویی و جراحی و فعالیت ورزشی و مصرف ضد اکسایش‌ها نامیدند (۳۴). از طرفی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اسیدهای چرب چندگانه غیراشباع امگا ۳ خوراکی (o-pufa)، اسید ایکوزاپنتانویک (EPA) و اسید دکوزاهگزا نوئیک (DHA) توانایی کاهش نشانه‌های دردناک مربوط به اندومتريوز، کاهش اندازه ضایعه، حفظ توانایی بارداری در بیمار در حین دارودرمانی را دارند و دارای تأثیرات جانبی اندک یا بدون آن هستند (۳۵). اسیدهای چرب چندگانه غیراشباع امگا ۳ به واسطه رقابت با اسیدهای چرب امگا ۶ جهت تولید واسطه‌های لیپیدی ضد التهابی، نقش مهمی در تنظیم پروستاگلاندین‌ها و سایتوکاین‌ها که از عوامل مهم اندومتريوز هستند، ایفا می‌کنند. مصرف غذاهایی با محتوای بالای o-pufa دارای تأثیر ضد التهابی است. مهم این است که نشان داده شده است که o-pufa می‌تواند به عنوان پیش ماده تشکیل دهنده گسترده‌ای از واسطه‌های دخیل در رفع

عامل اصلی و مهمی در تنظیم پروتئین‌های درگیر در مسیر اتوفازی باشد و تنظیم اتوفازی از طریق تمرینات ورزشی می‌تواند فرایندی اصلی و مهم در سازوکارهای سلولی و مولکولی باشد (۹، ۱۰).

تحقیقات نشان می‌دهد که تمرین هوازی با شدت پایین می‌تواند با ایجاد سازوکار حفاظتی به کاهش بیان سایتوکین‌های التهابی، فشار اکسایشی در بافت رحم، التهاب سیستمیک و در نتیجه بهبود پاسخ‌های ایمنی منجر شود (۲۸). در پژوهش برنندت و همکاران (۲۰۱۸) یک دوره تمرین ورزشی هشت هفته‌ای متشکل از دوچرخه سواری متوسط و مداوم با مدت ۶۰ دقیقه و دویدن با سرعت بیشینه، سه روز در هفته انجام گرفت. پس از انجام دوره تمرینی در هر دو گروه، LC3-I بیشتر از پیش بود و محتوای پروتئین Beclin-1 افزایش یافت (۲۹). نتایج پژوهش‌های ژانگ و همکاران نیز نشان داد که از نظر مکانیکی، عامل رونویسی هسته‌ای ناشی از ورزش FOXO3 به پروموتور CHCHD4 متصل می‌شود و بیان آن را سرکوب می‌کند، از انتقال p53 به میتوکندری جلوگیری می‌کند و در نتیجه محلی سازی هسته‌ای p53 را افزایش می‌دهد. افزایش هم‌افزایی FOXO3 و p53 هسته‌ای با ورزش می‌تواند تعامل شناخته شده آنها را در فعال سازی Sirtuin 1 تسهیل کند. بنابراین نتایج آنها یک سازوکار را نشان می‌دهد که به وسیله آن ورزش می‌تواند در پیشگیری از بیماری‌ها نقش داشته باشد (۳۰). تنظیم دقیق FOXOs برای جلوگیری از پروتئولیز بیش از حد و کاهش ضروری است. فعالیت FOXO را می‌توان با سازوکارهای گوناگونی از جمله فسفوریلاسیون، استیل و گلیکوزیلاسیون تعدیل کرد. نشان داده شده است که FOXO3 با هیستون استیل ترانسفراز p300 در تعامل است و استیل شدن آن موجب جابه‌جایی و تخریب سیتوزولی می‌شود. تنظیم دقیق FOXO3 ممکن است به عنوان یک رویکرد درمانی برای مقابله با تحلیل در بیماری‌ها استفاده شود (۳۱). لوندل و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که فعالیت رونویسی FOXO سوخت و ساز انرژی و پیام‌رسانی التهابی را تنظیم می‌کند (۳۲). در تحقیق استفانتی و همکاران (۲۰۱۵) افراد ده هفته تمرینات استقامتی یا تمرینات مقاومتی را پشت سر گذاشتند و سپس یک دوره تمرین استقامتی یا تمرینات مقاومتی انجام دادند. پروتئین FOXO3 تنها پس از تمرینات استقامتی افزایش یافت. این پژوهش

التهاب، عمل کند (۳۶). در یک شیوه اندومتريوز بر

روی موش‌ها اسید چرب امگا ۳ موجب کاهش اندازه ضایعات و تولید سایتوکاین و پروستاگلاندین موضعی شده است. در آندومتريوز با استفاده از موش‌های Fat-1 که در آنها امگا ۶ می‌تواند به امگا ۳ تبدیل شود، شمار ضایعات ایجاد شده در گروه موش‌های Fat-1 در مقایسه با گروه کنترل، به نحو چشمگیری کمتر شده است (۱۲). در تحقیقات آزمایشگاهی با استفاده از اندومتريوم گرفته شده از زنان مبتلا به اندومتريوز نشان داده شده است که اسیدهای چرب امگا ۳ دارای تأثیر سرکوب‌گرایانه بر روی بقای سلول آندومتري است (۳۷). تحقیق منسجمی در مقیاس بزرگ در مورد نوع رژیم غذایی و احتمال خطر اندومتريوز در زنان انجام و نتیجه گرفته شده است که افزایش مصرف اسیدهای چرب امگا ۳ می‌تواند موجب کاهش احتمال خطر اندومتريوز شود (۱۲).

همچنین یک مطالعه مروری در مورد ارتباط بین ویتامین‌ها و بیماری اندومتريوز، نشان داده است که بین گروه ویتامین‌ها و بهبود بیماری اندومتريوز رابطه مستقیمی برقرار است و ویتامین خانواده گروه B به تسکین درد و بهبود ضایعه آندومتريوز و کاهش علائم این بیماری منجر می‌شود. ویتامین B6 عامل ضدالتهابی قوی و ضد جهش و تقویت‌کننده عصب است (۳۸). ویتامین‌های گروه B نقش مهمی در پیشگیری و درمان آن از طریق تعدیل مسیرهای پیام‌رسانی سلولی دارد. چون ویتامین B6 خاصیت ضد اکسایشی دارد، پس از تمرینات ورزشی سبب بازسازی سریع سلول‌های تخریب شده از ورزش شده و موجب می‌شود که بدن بتواند مواد مغذی حل شده در چربی را جذب کند و موجب گشادی رگ‌ها شود و به روان کردن جریان خون بینجامد (۳۹). ویتامین B6 برای حفظ سوخت‌وساز طبیعی و پاسخ ایمنی، به ویژه پاسخ ایمنی ضدالتهابی، ضروری تلقی می‌شود.

روی هم‌رفته نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که افزایش بیان ژن‌های اتوفازی که در اندومتريوز ایجاد شده است، می‌تواند با فعالیت ورزشی منظم هوازی مانند شنا و مکمل امگا ۳ و B6 مهار شود. شاید اختلال آسیب‌شناختی ایجاد شده در اتوفازی با انجام فعالیت ورزشی و مکمل امگا ۳ و B6 از طریق کاهش تنظیمی بیان ژن‌های LC3-I، LC3-II و افزایش بیان ژن‌های FOXO و نسبت LC3-I / LC3-II در بهبود اندومتريوز

کمک‌کننده باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دوره دکتری فیزیولوژی ورزشی است. از تمامی کسانی که ما را در پیشبرد اهداف رساله یاری کردند، سپاسگزاریم.

حامی / حامیان مالی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری رشته تربیت بدنی گرایش فیزیولوژی ورزش است که در دانشگاه آزاد واحد ساری به تصویب رسیده و بدون حمایت مالی به انجام رسیده است.

مشارکت نویسندگان

در این پژوهش نویسنده اول به عنوان دانشجوی دکتری، نویسنده دوم به عنوان راهنمای اول و نویسنده سوم به عنوان استاد مشاور مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع

1. Colette S, Donnez J. "Are aromatase inhibitors effective in endometriosis treatment?". Expert Opinion on Investigational Drugs. 2011; 20 (7): 917-31.
2. Fang J, Piessens S. "A step-by-step guide to sonographic evaluation of deep infiltrating endometriosis". Sonography. 2018; 5 (2): 67-75
3. Hippert MM, O'Toole PS, Thorburn A. Autophagy in cancer: good, bad, or both?. Cancer research. 2006; 66(19):9349-51
4. Adraskela K, Veisaki E, Koutsilieris M, Philippou A. Physical exercise positively influences breast cancer evolution. Clinical breast cancer. 2017; 17(6):408-17.
5. Ardery S, Horn A, Opoku-Acheampong A, Baumfalk D, Behnke B. Exercise training does not alter prostate tumor cell growth in rat serum or prostate conditioned media . The FASEB Journal. 2018; 32:855-19.
6. Almeida PW, Gomes-Filho A, Ferreira AJ, Rodrigues CE, Dias-Peixoto MF, Russo RC, et al. Swim training suppresses tumor growth in mice. Journal of applied physiology. 2009; 107(1):261-5.
7. He JH, Luo RZ, Cai MY, Li M, Lu JB, Yuan ZY. Decreased expression of light chain 3 (LC3) increased the risk of distant metastasis in triple-negative breast cancer. Medical Oncology. 2013; 30(1):468.

8. Chen CY, Hsu HC, Lee BC, Lin HJ, Chen YH, Huang HC, et al. Exercise training improves cardiac function in infarcted rabbits: involvement of autophagic function and fatty acid utilization. *European journal of heart failure*. 2010; 12(4):323-30.
9. Jokar M, Sherafati Moghadam M. High intensity interval training inhibits autophagy in the heart tissue of type 2 diabetic rats by decreasing the content of FOXO3A and BECLIN-1 proteins. *Iranian Journal of Diabetes and Metabolism*. 2019; 18(6): 292-9.
10. Agha-Alinejad H, Hashemi Jokar E. Effect of Six Weeks of Interval Exercise Training along with Selenium Nanoparticle Ingestion on Bcl-2 and LC3 Genes expression in the Tumor Tissue of Breast Tumor-Bearing Mice. *Iranian Quarterly Journal of Breast Disease*. 2019; 12(2):26-37.
11. Montenegro ML, Bonoche CM, Meola J, Portella RL, Ribeiro-Silva A, Brunaldi MO, et al. Effect of Physical Exercise on Endometriosis Experimentally Induced in Rats. *Reproductive Sciences*. 2019; 26(6):785-793.
12. Abokhrais IM, Denison FC, Whitaker LH, Saunders PT, Doust A, Williams LJ, et al. A two-arm parallel double-blind randomised controlled pilot trial of the efficacy of Omega-3 polyunsaturated fatty acids for the treatment of women with endometriosis-associated pain (PurFECT1). *Plos one*. 2020; 15(1):e0227695.
13. Mohammadikhou T, Ebrahim K, Nikbakht H. The Effect of 12 Weeks of Training with Omega Supplement on Serum Levels of Chemerin and Insulin Resistance in Obese Inactive Women. *Sport Physiology & Management Investigations*. 2015; 7(3):49-58. (In Persian).
14. Zekri Kondalaji R, Sarisarrav V, Nourshahi M. Investigating the effect of 4-week fish oil supplementation on inflammation and plasma nitric oxide and reactive oxygen species in response to exhaustive exercise. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2020; 13(1):16-26. (In Persian).
15. Spinner MA, Sanchez LA, Hsu AP, Shaw PA, Zerbe CS, Calvo KR, et al. GATA2 deficiency: a protean disorder of hematopoiesis, lymphatics, and immunity. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*. 2014; 123(6):809-21.
16. Shimizu R, Yamamoto M "GATA-related hematologic disorders". *Experimental Hematology*. 2016; 44(8): 696-705.
17. Ruoss C, Tadros A, O'Shea T, McFarlane J, Almahbobi G. Ovarian follicle development in Booroola sheep exhibiting impaired bone morphogenetic protein signalling pathway. *J Reprod*. 2009; 138(4): 689-96.
18. Kiani K, Movahedin M, Malekafzali H, Mirfasihi F, Nargess Sadati S.N, Moini A, et al. Effect of the estrus cycle stage on the establishment of murine endometriosis lesions. *Int J Reprod Biomed (Yazd)*. 2018; 16(5): 305-314.
19. Manna I, Jana K, Samanta PK. Effect of intensive exercise-induced testicular gametogenic and steroidogenic disorders in mature male Wistar strain rats: a correlative approach to oxidative stress. *Acta Physiologica Scand*. 2003; 178:33-40.
20. Ghule AE, Kandhare AD, Jadhav SS, Zanwar AA, Bodhankar SL. Omega-3-fatty acid adds to the protective effect of flax lignan concentrate in pressure overload-induced myocardial hypertrophy in rats via modulation of oxidative stress and apoptosis. *International Immunopharmacology*. 2015; 28(1):751-63.
21. Rasha H. M. The Impact of Vitamin B 6 Supplementation on Experimental Colitis and Colonic Mucosal DNA Content in Female Rats Fed High Sucrose Diet. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2011; 5(5): 1051-1060.
22. Tran TA, Ahn KS, Song YW, Moon JY, Cho M, Lim Y, et al. Mechanism of 2', 3'-dimethoxyflavone-induced apoptosis in breast cancer stem cells: Role of ubiquitination of caspase-8 and LC3. *Archives of biochemistry and biophysics*. 2014; 562:92-102.
23. Shamsi MM, Chekachak S, Soudi S, Gharakhanlou R, Quinn LS, Ranjbar K, et al. Effects of exercise training and supplementation with selenium nanoparticle on T-helper 1 and 2 and cytokine levels in tumor tissue of mice bearing the 4 T1 mammary carcinoma. *Nutrition*. 2019; 57:141-7.
24. Jain A. P62/SQSTM1 is a target gene for transcription factor NRF2 and creates element-driven gene transcription. *J. Biol. Chem*. 2010; 285:22576-22591.
25. Wirawan E, Berghe TV, Lippens S, Agostinis P, Vandenabeele P. Autophagy: for better or for worse. *Cell research*. 2012; 22(1):43-61.
26. Scherz-Shouval R, Elazar Z. ROS, mitochondria and the regulation of autophagy. *Trends in cell biology*. 2007; 17(9):422-7.
27. Lee Y, Kwon I, Jang Y, Song W, Cosio-Lima LM, Roltsch MH. Potential

- signaling pathways of acute endurance exercise-induced cardiac autophagy and mitophagy and its possible role in cardioprotection. *The Journal of Physiological Sciences*. 2017; 67(6):639-54.
28. Siomara Hernandez, Myrella L. Cruz, Annelyn Torres-Reveron, Caroline B. Appleyard. Impact of physical activity on pain perception in an animal model of endometriosis. *J Endometr Pelvic Pain Disord*. 2015; 7(3): 89–114.
29. Brandt N, Gunnarsson TP, Bangsbo J, Pilegaard H. Exercise and exercise training-induced increase in autophagy markers in human skeletal muscle. *Physiological reports*. 2018; 6(7):e13651.
30. Zhuang J, Kamp WM, Li J, Liu C, Kang JG, Wang PY, et al. Forkhead box O3A (FOXO3) and the mitochondrial disulfide relay carrier (CHCHD4) regulate p53 protein nuclear activity in response to exercise. *Journal of Biological Chemistry*. 2016; 291(48):24819-27.
31. Bertaglia E, Coletto L, Sandri M. Post-translational modifications control FOXO3 activity during denervation. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2012; 302(3):C587-96.
32. Lundell LS, Massart J, Altıntaş A, Krook A, Zierath JR. Regulation of glucose uptake and inflammation markers by FOXO1 and FOXO3 in skeletal muscle. *Molecular metabolism*. 2019; 20:79-88
33. Stefanetti RJ, Lamon S, Wallace M, Vendelbo MH, Russell AP, Vissing K. Regulation of ubiquitin proteasome pathway molecular markers in response to endurance and resistance exercise and training. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*. 2015; 467(7):1523-37.
34. Krupa A, Padała O, Putowski M, Konopelko M, Piasek E. Available treatment methods for endometriosis. *Journal of Education, Health and Sport*. 2019; 9(7):178-84.
35. Wakefield SL, Lane M, Schulz SJ, Hebart ML, Thompson JG, Mitchell M. Maternal supply of omega-3 polyunsaturated fatty acids alter mechanisms involved in oocyte and early embryo development in the mouse. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2008; 294(2):E425-34.
36. Arem H, Neuhouser ML, Irwin ML, Cartmel B, Lu L, Risch H, et al. Omega-3 and omega-6 fatty acid intakes and endometrial cancer risk in a population-based case-control study. *European journal of nutrition*. 2013; 52(3):1251-60.
37. Hansen SO, Knudsen UB. Endometriosis, dysmenorrhoea and diet. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*. 2013; 169(2):162-71.
38. Ciavattini A, Serri M, Carpini GD, Morini s, Clemente N. Ovarian endometriosis and vitamin D serum levels. *Gynecological Endocrinology*. 2017; 33(2):164-7.
39. Ghasemian Langharodi S, Farzanegi P, Moradi L. The Effect of Swimming Training and Vitamin B6 Intake on ALDH1A2 gene Expression in Endometriosis Rat. *Razi J of Medical Sciences*. 2021; 28(3):152-162.

Original Article

The effect of high-intensity interval swimming training on CREB and ERK proteins of hippocampus tissue in elderly rats

Zahra Sabri[✉], Mozghan Ahmadi*[✉]

Department of Physical Education and Sport Science Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: Cognitive impairment caused by aging has become one of the most common health threats in many countries. Signaling pathways are important moderators of various physiological and pathological processes, and abnormal activation of some signaling pathways can play a role in disease progression in old age. Targets of intracellular signaling in response to exercise have been extensively studied as a measure of cellular processes that occur following specific conditions. It has been found that exercise training increases neurogenesis through the induction of neural factors in the hippocampus, which is associated with improved cognitive performance. Since long-term training can improve the age-related impairment in hippocampal neurogenesis, the aim of this study was to evaluate the effect of high-intensity interval swimming training on cAMP-response element binding protein (CREB) and Extracellular signal-regulated protein kinases (ERK) proteins of hippocampus tissue in elderly rats. **Materials and Methods:** In this experimental study, 12 aged male Sprague-Dawley rats (20 months old and average weight 300-450 gr) were placed into two control groups (n= 6 rats) and high-intensity interval swimming training (n= 6 rats). Rats in the training group performed high-intensity interval training (HIIT), including 14 repetitions of 20 seconds swimming interspersed by 10 seconds rest. The exercise program was carried out for six weeks (three days a week, one day in between). Forty eight hours after the last training session, rats were anesthetized and immediately, by using a surgical blade the skull was split and the brain was carefully removed. The healthy brain was divided into two halves by a surgical blade, and according to the coordinates of the hippocampus, the hippocampal sinus was separated from the limbic system with the help of a clean atlas. The content of CREB and ERK proteins in hippocampal tissue was measured by Western blotting. Data were analyzed using independent t-test at the $P < 0.05$.

Results: The results showed that the protein content of ERK and CREB in the hippocampus of elderly rats were significantly higher ($P=0.03$ and $P=0.001$, respectively) after six weeks of training than untrained rats.

Conclusion: According to the results, HIIT swimming leads to a significant increase in the content of CREB and ERK of the hippocampus tissue in aged rats. Therefore, HIIT swimming might help in improving the factors involved in cognitive ability during aging.

Keywords: Interval Training, Aging, Rats, CREB, ERK

How to cite this article: Sabri Z, Ahmadi M. The effect of high-intensity interval swimming training on CREB and ERK proteins of hippocampus tissue in elderly rats. *J Sport Exerc Physiol.* 2023;16(2):36-45.

*Corresponding Author's E-mail: mahmadi@iausr.ac.ir
<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103548>

Received: 08/10/2022

Revised: 18/01/2023

Accepted: 29/01/2023



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

تأثیر تمرین تناوبی شنا با شدت بالا بر محتوای پروتئین‌های CREB و ERK بافت هیپوکمپ در موش‌های صحرایی سالمند

زهرا صبری^۱، مرگان احمدی^{۲*}

گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: اختلال شناختی ناشی از افزایش سن در بسیاری از کشورها به یکی از شایع‌ترین تهدیدهای سلامتی تبدیل شده است. مسیرهای پیام‌رسانی، تعدیل‌کننده‌های مهم انواع فرایندهای فیزیولوژیکی و آسیب‌شناختی اند و فعال شدن غیرطبیعی برخی از مسیرهای پیام‌رسانی می‌تواند در پیشرفت بیماری در سنین بالا نقش داشته باشد. اهداف پیام‌رسانی درون سلولی در پاسخ به تمرین به عنوان معیاری برای فرایندهای سلولی که در پی شرایط خاص رخ می‌دهند، به شدت بررسی شده است. مشخص شده است که تمرین موجب افزایش نورونز از طریق القای عوامل عصبی در هیپوکمپ می‌شود که با بهبود عملکرد شناختی همراه است. از آنجایی که تمرین بلندمدت می‌تواند اختلال ناشی از افزایش سن در نورونز هیپوکمپ را بهبود بخشد، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تمرین تناوبی شنا با شدت بالا بر محتوای پروتئین‌های CREB و ERK بافت هیپوکمپ در موش‌های صحرایی سالمند انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق تجربی، ۱۲ سر موش صحرایی نر نژاد اسپراگ‌داولی سالمند (۲۰ ماه سن و میانگین وزن ۳۰-۴۵ گرم) در دو گروه کنترل (شش سر موش) و تمرین تناوبی شنا با شدت بالا (شش سر موش) قرار گرفتند. موش‌های صحرایی گروه تمرین، تمرین تناوبی شنا با شدت بالا (HIIT)، شامل ۱۴ نوبت ۲۰ ثانیه‌ای شنا با ۱۰ ثانیه استراحت بین هر نوبت را انجام دادند. برنامه ورزشی به مدت شش هفته (سه روز در هفته یک روز در میان) انجام گرفت. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، موش‌های صحرایی بی‌هوش شدند و بلافاصله با استفاده از تیغ جراحی جمجمه شکافته شده و مغز با احتیاط خارج شد. مغز سالم توسط تیغ جراحی دقیقاً از وسط به دو نیم تقسیم شد و با توجه به مختصات هیپوکمپ به کمک اطلس پاک سینوس هیپوکمپ از دستگاه لمبیک جدا شد. محتوای پروتئین متصل‌شونده به عنصر پاسخگو به cAMP (CREB) و کیناز تنظیم‌شده با پیام خارج سلولی ۱ و ۲ (ERK1/2) بافت هیپوکمپ به روش وسترن بلات اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از آزمون تی مستقل در سطح معناداری $P < 0.05$ تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج: نتایج نشان داد محتوای پروتئین ERK و CREB هیپوکمپ موش‌های صحرایی سالمند پس از شش هفته تمرین به طور معناداری (به ترتیب $P = 0.03$ و $P = 0.001$) بیشتر از موش‌های صحرایی تمرین‌نکرده بود. **نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج، تمرینات تناوبی شنا با شدت بالا به افزایش معنادار محتوای پروتئین متصل‌شونده به عنصر پاسخگو به cAMP و کیناز تنظیم‌شده با پیام خارج سلولی ۱ و ۲ بافت هیپوکمپ در موش‌های صحرایی سالمند منجر می‌شود. بنابراین شاید تمرینات تناوبی با شدت بالا بتواند به بهبود عوامل درگیر در توانایی شناختی طی سالمندی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: تمرین تناوبی، سالمندی، موش‌های صحرایی، CREB، ERK

نحوه استناد به این مقاله: صبری ز، احمدی م. تأثیر تمرین تناوبی شنا با شدت بالا بر محتوای پروتئین‌های CREB و ERK بافت هیپوکمپ در موش‌های صحرایی سالمند. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۳۶-۴۵.

* رایانامه نویسنده مسئول: mahmadi@iausr.ac.ir

مقدمه

با میتوزن (MAPK) است که بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله رشد، تمایز، مرگ سلولی (آپوپتوز) و بقای سلول‌ها را طی تکامل عصبی تنظیم می‌کند (۱۳). در دستگاه عصبی، ERK1/2 شکل‌پذیری سیناپسی، رشد و ترمیم مغز و همچنین شکل‌گیری حافظه را تنظیم می‌کند (۱۴). تغییرات مرتبط با سن در بیان و فعال‌سازی ERK1/2 مشاهده شده است. سانگ و همکاران (۲۰۰۷) افزایش ERK1/2 را در هیپوکامپ در حیوانات ۲۴ ماهه گزارش کردند (۱۵).

مشخص شده است که ورزش موجب افزایش نوروزن از طریق القای عوامل عصبی در هیپوکامپ می‌شود که با بهبود عملکرد شناختی همراه است (۱۶). فعالیت بدنی می‌تواند نوروزن هیپوکامپ و عملکرد سلول‌های عصبی را تنظیم کند. ورزش طولانی مدت می‌تواند اختلال ناشی از افزایش سن در نوروزن هیپوکامپ را بهبود بخشد (۱۷). یانگ و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که نوروزن هیپوکامپ تا نه ماهگی موش‌ها به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. آن‌ها همچنین دریافتند که پنج هفته دویدن روی نوار گردان می‌تواند کاهش تعداد سلول‌های بنیادی/پیش‌ساز عصبی را در دوران پیری کاهش و بلوغ سلول‌های عصبی تازه متولدشده را افزایش دهد (۱۷). گزارش شده است که ورزش موجب فعال شدن نورون‌ها در مناطق گوناگون مغز، به‌ویژه هیپوکامپ می‌شود. این فعال‌سازی هیپوکامپ ناشی از ورزش با مزایای ناشی از ورزش در عملکردهای حافظه وابسته به هیپوکامپ مرتبط است (۱۸). افزون‌بر این، افزایش فسفوریلاسیون CREB هیپوکامپ با فعال شدن هیپوکامپ در حین ورزش همراه است (۱۸، ۱۹). با این همه، کاهش فسفوریلاسیون ERK1/2 در افراد مسن پس از یک دورهٔ حاد تمرین مقاومتی مشاهده شد (۲۰).

اختلال شناختی ناشی از افزایش سن در بسیاری از کشورها به یکی از شایع‌ترین تهدیدهای سلامتی تبدیل شده است. اهداف مسیرهای پیام‌رسانی، تعدیل‌کننده‌های مهم انواع فرایندهای فیزیولوژیکی و آسیب‌شناختی‌اند و فعال شدن غیرطبیعی برخی از مسیرهای پیام‌رسانی می‌تواند در پیشرفت بیماری در شرایط گوناگون نقش داشته باشد. در نتیجه، پاسخ این مسیرهای پیام‌رسانی به فعالیت ورزشی به‌عنوان یک ابزار مهم پدیدار شده‌اند که از طریق آن‌ها می‌توان وقوع و توسعهٔ بیماری‌ها را بررسی کرد که ممکن است به شناسایی

بهبود مراقبت‌های پزشکی و کاهش نرخ باروری به پیری جمعیت در سراسر جهان منجر می‌شود. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، پیش‌بینی می‌شود شمار افراد ۶۵ سال به بالا از ۵۲۴ میلیون نفر در سال ۲۰۱۰ به ۱/۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ برسد که ۱۶ درصد از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهند. پیری با از دست دادن حجم کلی مغز در انسان و حیوانات و در نتیجه کاهش عملکرد شناختی همراه است (۱، ۲). کاهش شناختی مربوط به سن با کاهش حجم و آتروفی دندریتیک در مناطق درگیر در توانایی‌های شناختی گزارش شده است (۳). باور بر این است که در حیوانات مسن، کاهش تحریک‌پذیری ذاتی نورون‌های هرمی هیپوکامپ به اختلالات شناختی مربوط به سن کمک می‌کند (۴).

نشان داده شده است که افزایش فعالیت عامل رونویسی پروتئین متصل‌شونده به عنصر پاسخگو به cAMP (CREB) موجب تسهیل شناختی و افزایش تحریک‌پذیری ذاتی سلول‌های عصبی در سنین بالا می‌شود (۵). CREB یک عامل رونویسی هسته‌ای است که در همهٔ سلول‌های مغز بیان می‌شود و در بقای عصبی، تثبیت حافظه و حفاظت عصبی در برابر آسیب ایسکمیک نقش دارد (۶). نقش CREB در تنظیم انواع عملکردهای زیستی مغز، مانند شکل‌پذیری سیناپسی و توسعهٔ عصبی نیز ثابت شده است. CREB تراکم سیناپس و پیچیدگی دندریت و نوروزن و نیز بیان پروتئین‌های سیناپسی را افزایش می‌دهد (۷). تحقیقات نشان داده‌اند که بیان CREB به تدریج با افزایش سن در هیپوکامپ و قشر پیش‌پیشانی کاهش می‌یابد و می‌تواند به نقایص شناختی منجر شود (۸، ۹). از طرفی، حذف CREB به انحطاط عصبی در هیپوکامپ منجر می‌شود که به پاتوزن بیماری‌های عصبی کمک می‌کند (۱۰). فعالیت رونویسی CREB به انواع نشانه‌های بالادست پاسخ می‌دهد و توسط کوفاکتورهای سلولی یا فعال‌کننده‌های رونویسی بیشتر تغییر می‌کند (۱۱). CREB توسط پروتئین کیناز فعال شده با میتوزن/کیناز تنظیم‌شده با پیام خارج سلولی (MAPK/ERK) در ناحیهٔ SER 133 از طریق کیناز ریبوزومی S6 فسفریله می‌شود. فسفوریلاسیون CREB زمانی اتفاق می‌افتد که کیناز تنظیم‌شده با پیام خارج سلولی ۱ و ۲ (ERK1/2) به هسته منتقل می‌شود تا CREB کینازها را فسفریله کند (۱۲). ERK1/2 از اعضای خانوادهٔ پروتئین کیناز فعال شده

پزشکی شیراز در قفس از جنس پلی کربنات (هر قفس سه سر) در شرایط کنترل شده محیطی با میانگین دمای 23 ± 1 درجه سانتی گراد، رطوبت 50-55 درصد و چرخه روشنایی/تاریکی 12/12 ساعته نگهداری شدند. موش های صحرایی آزادانه و استاندارد ویژه حیوانات آزمایشگاهی از غذای ویژه حیوانات آزمایشگاهی که از دانشگاه علوم پزشکی شیراز تهیه شد، استفاده کردند. همچنین آب مورد نیاز حیوانات به صورت آزاد در بطری 500 میلی لیتری ویژه حیوانات آزمایشگاهی، در اختیار آن ها قرار داده شد. در این پژوهش اصول اخلاقی در مورد نحوه کار با حیوانات آزمایشگاهی از جمله در دسترس بودن آب و غذا و شرایط نگهداری مناسب مدنظر قرار گرفت. همه آزمایش ها بر اساس خط مشی های قرارداد هلسینکی اجرا شد.

روش اجرای پژوهش: در پژوهش حاضر، همه موش های صحرایی به مدت یک هفته مرحله آشنایی با استخر حیوانات (قطر 160 سانتی متر و ارتفاع 80 سانتی متر) را پیش از شروع تمرین اصلی گذراندند. در روز اول آشنایی موش ها با استخر، موش های صحرایی با نهایت دقت و آرامش در استخر حیوانات با عمق آب 50 سانتی متر و میانگین دمای 30 ± 0.5 درجه سانتی گراد قرار گرفتند و با سرعت دلخواه به مدت پنج دقیقه شنا کردند. در جلسات بعد که موش های صحرایی به خوبی با استخر حیوانات آشنا شدند، برای آشنایی با نوع تمرین تناوبی، چندین بار پس از یک دقیقه شنا به وسیله صفحه استراحت از آب بیرون آورده شدند و دوباره در آب قرار گرفتند. روش تناوبی شنا با شدت بالا: پس از گذشت 48 ساعت از زمان آخرین جلسه آشنایی، رت ها تصادفی به دو گروه کنترل و تمرین تقسیم شدند. موش های صحرایی گروه تمرین، تمرین HIIT شنا، شامل 14 نوبت 20 ثانیه ای شنا با 10 ثانیه استراحت بین هر نوبت را انجام دادند. برنامه ورزشی به مدت شش هفته (سه روز در هفته یک روز در میان) انجام گرفت. در تمرین تناوبی بار اعمال شده در هفته اول، وزنه ای به میزان 9 درصد وزن بدن هر موش بود و هر هفته 1 درصد به آن اضافه شد، به طوری که در هفته آخر (ششم) موش های صحرایی با وزنه ای به میزان 14 درصد وزن بدن خود که به ریشه دم آن ها بسته شد، شنا کردند (26) (جدول 1).

راهبردهای درمانی جدید منجر شود. از آنجایی که تمرین با شدت بالا می تواند تأثیر بیشتری بر مغز داشته باشد و رابطه مثبتی بین شدت ورزش و سازگاری مغز با تمرین وجود دارد (21، 22)، تحقیقات بر لزوم تمرین با شدت بالا در افراد مسن تأکید می کنند، تمرین تناوبی با شدت بالا این امکان را به افراد سالمند می دهد که با زمان کمتر و شدت بیشتر به فعالیت بپردازند و نیز امکان استراحت و بازیابی بین وهله های تمرین را داشته باشند (23، 24). افزون بر این، این نوع تمرینات نقش مهمی در رشد و بلوغ دستگاه عصبی مرکزی دارد (25). بنابراین یافته ها این فرضیه را ارائه می کند که تمرین با شدت بالا ممکن است راهبردی بهینه برای تقویت عملکرد شناختی در بزرگسالان مسن تر ارائه کند. اختلال در مسیر CREB و ERK با چندین بیماری انسانی مانند بیماری دستگاه عصبی مرکزی مرتبط است. با توجه به اهمیت CREB و ERK در گستره وسیعی از فرایندهای زیستی در بیماری دستگاه عصبی مرکزی (CNS) درک بهتر تغییرات این پروتئین ها ممکن است به شناسایی اهداف جدید برای کاربردهای درمانی در سنین بالا کمک کند. از این رو در این پژوهش تأثیر تمرین تناوبی شنا با شدت بالا بر محتوای پروتئین های CREB و ERK بافت هیپوکمپ در موش های صحرایی سالمند بررسی شد.

روش پژوهش

پژوهش حاضر، تحقیق تجربی است که با توجه به سیاست های مربوط به حمایت از حیوانات (بر اساس خط مشی های قرارداد هلسینکی) و تأیید کمیته اخلاق پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی بررسی شده و با شناسه IR.SSRC.REC.1401.007 به تصویب رسیده است.

نمونه های پژوهش: در این تحقیق 12 سر موش صحرایی نر 20 ماهه پیر نژاد اسپراگ داوولی با دامنه وزنی 300-450 گرم از مرکز پرورش و تکثیر حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه علوم پزشکی شیراز خریداری و جهت سازگاری به مدت یک هفته در آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی نگهداری شدند. در ادامه موش های صحرایی سالمند به طور تصادفی به گروه های کنترل (شش سر موش) و تمرین تناوبی شنا با شدت بالا (شش سر موش) تقسیم شدند. موش های صحرایی در حیوانخانه دانشگاه علوم

جدول ۱. مشخصات آغازگرهای مورد استفاده به منظور همسان سازی ژن ها

تعداد (نوبت)	مدت (ثانیه)	مدت استراحت (ثانیه)	میزان بار (درصد وزن بدن)
۱۴	۲۰	۱۰	۹
۱۴	۲۰	۱۰	۱۰
۱۴	۲۰	۱۰	۱۱
۱۴	۲۰	۱۰	۱۲
۱۴	۲۰	۱۰	۱۳
۱۴	۲۰	۱۰	۱۴

روش های آزمایشگاهی: برای از بین بردن آثار حاد تمرین و متغیرهای کنترل نشدنی فشار آزمودنی ها در زمان اجرای برنامه تمرینی، پس از ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، موش های صحرایی با رعایت اصول اخلاقی و با تزریق درون صفاقی ترکیبی از کتامین (۳-۵ kg/mg) و زایلازین (۳-۵ kg/mg) بی هوش شدند. بلافاصله با استفاده از تیغ جراحی مجموعه شکافته شده و مغز با احتیاط خارج شد. مغز سالم توسط تیغ جراحی دقیقاً از وسط به دو نیم تقسیم شده و با توجه به مختصات هیپوکمپ به کمک اطلس پاک سینوس هیپوکمپ از دستگاه لمبیک جدا شد و به داخل تانک ازت مایع به مدت ۱۵-۳۰ ثانیه ثابت شد. هیپوکمپ ها، تا شروع آزمایش وسترن بلات در دمای ۸۰- نگهداری شد. ابتدا وزن خالص بافت به وسیله ترازوی دیجیتال (AG245) محاسبه شد و به میزان ۳ تا ۵ برابر وزن، به آن بافر ریبیا اضافه شد. پس از هموژن کردن بافت ها، میکروتیوب های حاوی بافت هموژن شده با دور ۱۴۰۰ در دمای ۴ درجه و به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. برای اندازه گیری غلظت پروتئین نمونه ها از محلول برادفورد ویژه سنجش پروتئین استفاده شد. استاندارد مورد نظر BSA بود که با غلظت ۴،۰/۴ و ۴۰ میلی گرم در میلی لیتر استفاده شد. برای الکتروفورز پروتئین ها روی ژل SDS-PAGE، مقدار ۴۰ میکروگرم از هر نمونه استفاده شد. الکتروفورز در رانینگ بافر با ولتاژ ثابت ۱۰۰ انجام گرفت. برای معلوم شدن جایگاه پروتئین ها بر اساس وزن مولکولی روی SDS-PAGE و کاغذ PVDF، از نشانگر پروتئینی استفاده شد. برای شست و شوی مواد اضافی محلول بلاکینگ از روی کاغذ، از محلول TBS-T-

۲۰-Tween استفاده شد. پس از شست و شو، کاغذ PVDF در محلول حاوی آنتی بادی اولیه مورد نظر غوطه ور شد. پس از این مرحله، از آنتی بادی ثانویه مناسب IgG-HRP استفاده شد. سپس با استفاده از کیت ECL، به میزان لازم سوبسترای پراکسیداز روی کاغذ PVDF اضافه شد تا همه آن به سوبسترا آغشته شد. برای اطمینان از یکسانی غلظت نمونه های لود شده، میزان پروتئین β -Actin بررسی شد. در نهایت با استفاده از دستگاه اسکنر، تصاویر دیجیتالی فیلم ها تهیه شد. تصویر باندهای ثبت شده بر روی فیلم با استفاده از نرم افزار Imag.J به لحاظ دانسیته بررسی شدند (۲۷).

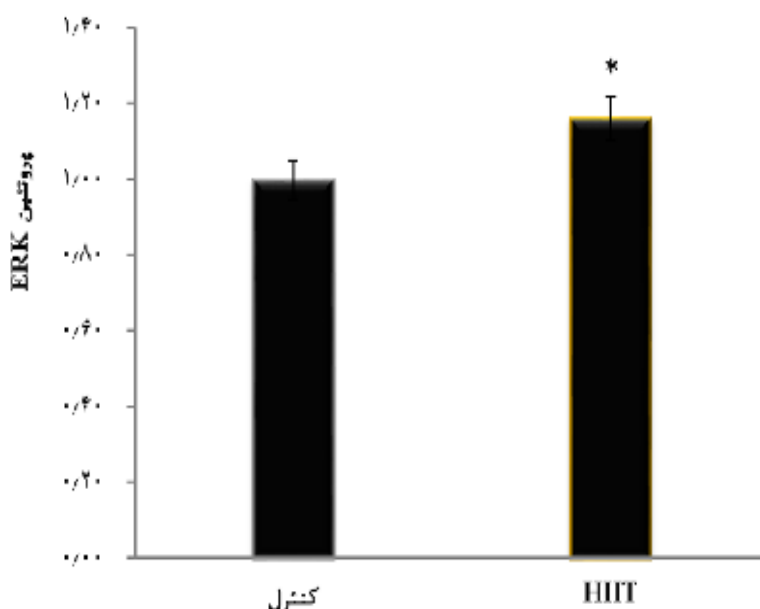
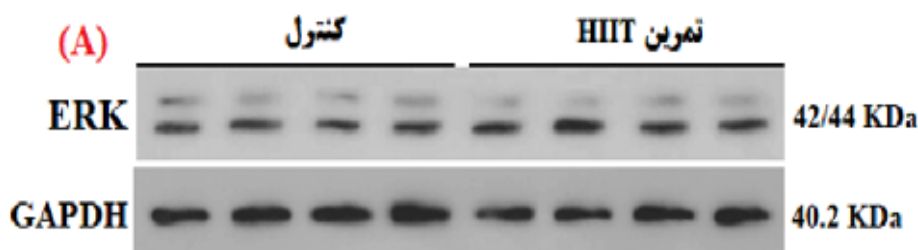
تحلیل آماری: برای اطمینان از طبیعی بودن توزیع متغیرها، از آزمون شاپیروویلیک استفاده شد. پس از تأیید وضعیت طبیعی داده ها، تفاوت بین گروهی با استفاده از آزمون تی مستقل بررسی شد. سطح معناداری در همه موارد $P \leq 0.05$ در نظر گرفته شد. همه عملیات آماری با نرم افزارهای SPSS نسخه ۲۵ به اجرا درآمد.

نتایج

وزن موش های صحرایی در پیش آزمون و پس آزمون گروه ها در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج آزمون t-مستقل نشان داد که میانگین محتوای پروتئین ERK در گروه تمرین HIIT، ۱/۱۶ و میانگین محتوای پروتئین ERK در گروه کنترل ۱/۰۰ است. بر اساس مقدار t به دست آمده (۲/۴۸) محتوی پروتئین ERK هیپوکمپ موش های صحرایی سالمند پس از شش هفته تمرین به طور معناداری ($P=0.03$) بیشتر از موش های صحرایی گروه کنترل بود (شکل ۱).

جدول ۲. سطوح وزن موش های صحرائی در پیش آزمون و پس آزمون گروه ها

گروه	پیش آزمون	پس آزمون
کنترل	۴۱۰/۲ ± ۳/۵۶	۴۱۹/۷ ± ۳/۵۳
تمرین	۴۱۲/۰ ± ۳/۳۶	۴۰۱/۰ ± ۲/۸۲

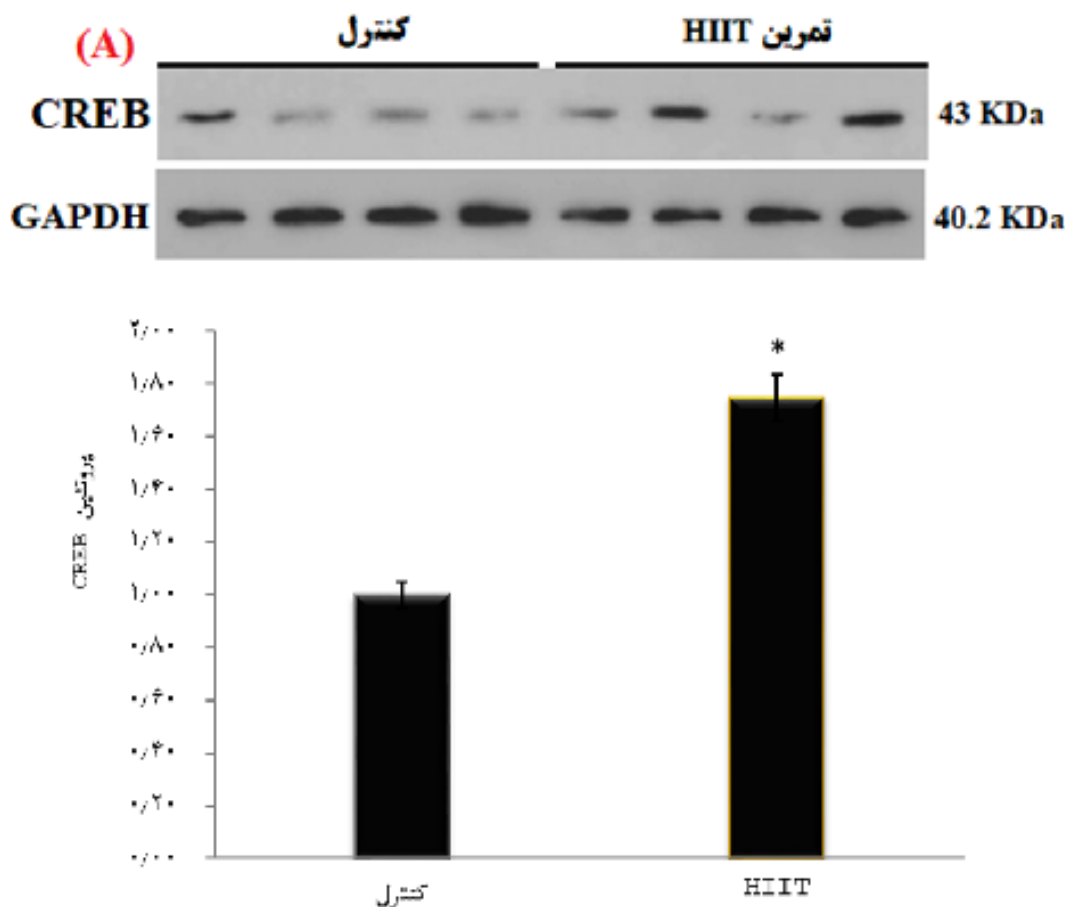


شکل ۱. مقایسه محتوای پروتئین ERK در گروه های مورد بررسی؛ (A). تصاویر وسترن بلات محتوی پروتئین ERK و پروتئین بتا-اکتین (β -actin) به عنوان کنترل داخلی (لودینگ کنترل) در بافت هیپوکمپ مغز؛ (B). نمودار ستونی (میانگین و انحراف استاندارد) نشان دهنده مقادیر کمی شده باندهای پروتئین ERK در مقابل بتا-اکتین (کنترل داخلی). * تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل ($P \leq 0/05$).

بحث و نتیجه گیری

یافته های تحقیق حاضر نشان می دهد که شش هفته تمرین تناوبی شنا با شدت بالا به افزایش معنادار در محتوای پروتئین CREB و ERK بافت هیپوکمپ در موش های صحرائی سالمند منجر شد. این یافته ها با برخی نتایج پیشین نشان دهنده افزایش ERK و CREB ناشی از تمرین همسوست (۱۹-۲۸، ۳۰). افزایش سن با کاهش عملکرد شناختی همراه است. هیپوکامپ به طور چشمگیری در برابر پیری آسیب پذیر است و در ایجاد

همچنین نتایج آزمون t-مستقل نشان داد که میانگین محتوای پروتئین CREB در گروه تمرین HIIT، ۱/۷۵ و میانگین پروتئین CREB در گروه کنترل ۱/۰۰ است. بر اساس مقدار t به دست آمده (۸/۰۹) محتوی پروتئین CREB هیپوکمپ موش های صحرائی سالمند پس از شش هفته تمرین به طور معناداری ($P = 0/001$) بیشتر از موش های صحرائی گروه کنترل بود (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه محتوای پروتئین CREB در گروه‌های مورد بررسی؛ (A). تصاویر وسترن بلات محتوی پروتئین CREB و پروتئین بتا-اکتین (β -actin) به عنوان کنترل داخلی (لودینگ کنترل) در بافت هیپوکامپ. (B). نمودار ستونی (میانگین و انحراف استاندارد) نشان‌دهنده مقادیر کمی شده باندهای پروتئین CREB در مقابل بتا-اکتین (کنترل داخلی). * تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل ($P \leq 0.05$).

و محیط رشد برای سلول‌های پیش‌ساز عصبی در شکنج دندان‌دار هیپوکامپ را فراهم می‌کند. تمرینات ورزشی مسئول فعال کردن عوامل رونویسی است. از این منظر، پیام‌رسانی CREB در هیپوکامپ پس از روش‌های تمرین ورزشی در شدت‌های گوناگون افزایش می‌یابد. یافته‌ها نشان‌دهنده بیان این اجزای سلولی است که نقش مهمی در رشد و بلوغ دستگاه عصبی مرکزی دارد (۲۵). بنابراین بیان شده است که افزایش این عوامل ممکن است در افزایش بقای عصبی، شکل‌پذیری سیناپسی، عملکرد شناختی و نوروزن دخیل باشد (۳۳). پاسخ‌های جریان خون بیشتر و نوسانات در میزان سوخت‌وسازی در پاسخ به تمرین ورزشی در شدت بالا ممکن است به تغییرات بیشتر در عملکرد عروق مغزی منجر شده باشد و این تأثیرات مفید می‌تواند به بهبود مطلوب در عوامل درگیر در عملکرد شناختی منجر شود (۳۴). افزایش بیان ERK در مغز موجب ایجاد یک

نقایص مرتبط با افزایش سن در عملکردهای عصبی نقش دارد. نقص در عملکردهای عصبی مرتبط با افزایش سن با تغییرات ساختاری و عملکردی غیرطبیعی در هیپوکامپ همراه است. افزایش سن موجب کاهش اندازه هیپوکامپ و کاهش نورون‌های هیپوکامپ می‌شود. فعال شدن CREB موجب افزایش تکثیر و زنده ماندن سلول‌های عصبی و تقویت آن، تمایز و بلوغ نورون‌ها در هیپوکامپ موش می‌شود (۳۱). فعالیت رونویسی CREB به انواع نشانه‌های بالادست پاسخ می‌دهد و توسط کوفاکتورهای سلولی یا فعال‌کننده‌های رونویسی بیشتر تغییر می‌کند (۱۱). یافته‌ها نشان می‌دهد که CREB در محیط‌های کشت عصبی با تحریک گیرنده‌های NMDA فعال می‌شود (۳۲). بنابراین ساده‌ترین توضیح یافته‌های ما این است که پس از دوره تمرینات، CREB از طریق رویدادهای وابسته به گیرنده NMDA فعال می‌شود. تنظیم CREB بقای عصبی را افزایش می‌دهد

تأثیرات خود را بر هسته، در سلول ها طی پیری نشان می دهد، می تواند به کاهش تکثیر سلولی و سنتز DNA منجر شود. MAPK فسفاتاز می تواند به افزایش مهار فسفوریلاسیون ERK 1/2 در هسته کمک کند و بر انتقال ERK 1/2 به داخل و خارج از هسته تأثیر بگذارد (۲۰). تمرینات تناوبی شنا با شدت بالا از نقاط قوت پژوهش حاضر بود، چراکه این نوع تمرین پاسخ ها و سازگاری های متفاوتی نسبت به برنامه های تمرینی دیگر می تواند به همراه داشته باشد. محدودیت هایی نیز در پژوهش حاضر وجود داشت که از جمله می توان به عدم اندازه گیری میزان NMDA اشاره کرد. با توجه به ارتباط شاخص های نوروتروفیک با عوامل درگیر در توانایی های شناختی پیشنهاد می شود در پژوهشی مشابه شاخص های نوروتروفیک در بافت هیپوکمپ آزمودنی های سالمند نیز بررسی شود. به هر حال پژوهش های بیشتری در این زمینه مورد نیاز است. به طور خلاصه نتایج پژوهش حاضر نشان می دهد که تمرینات تناوبی شنا با شدت بالا به افزایش معنادار در محتوای پروتئین CREB و ERK بافت هیپوکمپ در موش های صحرایی سالمند منجر می شود. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، شاید تمرینات تناوبی با شدت بالا بتواند به بهبود عوامل درگیر در توانایی شناختی طی سالمندی کمک کند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی افرادی که در انجام پژوهش حاضر همکاری داشته اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می شود.

حامی / حامیان مالی

پژوهش حاضر بدون بهره گیری از منابع مالی هر سازمان و نهادی به انجام رسیده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول دانشجو و نویسنده دوم استاد راهنمای پژوهش هستند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع

1. Raz N, Ghisletta P, Rodrigue KM, Kennedy KM, Lindenberger U. Trajectories of brain aging in middle-aged and older adults: regional and individual differences. *Neuroimage* 2010;51: 501–511.

آبشار پیام رسانی پایین دست از جمله CREB و BDNF می شود که بازخورد مثبت ایجاد می کند. BDNF/TrkB فسفوریلاسیون CREB تنظیم شده توسط ERK را فعال می کند (۳۵). آبشار پیام رسان ERK-CREB نقش مهمی در عملکردهای عصبی دارد (۳۶). سازوکار دقیق تأثیر تمرین بر پروتئین ERK هنوز به درستی شناخته نشده است. ERK1/2 از طریق تنظیم بازخورد مثبت و منفی سایر اجزای شبکه پیام رسانی MAPK فعال می شود، همچنین چندین عامل از جمله هورمون ها، عوامل رشدی و گونه های واکنش پذیر اکسیژن به عنوان فعال کننده ERK ناشی از تمرین معرفی شده اند (۳۷). شاید افزایش مشاهده شده در ERK1/2 بافت هیپوکمپ در موش های صحرایی سالمند با این سازگاری ها مرتبط بوده و نشان دهنده بهبود عملکرد عصبی در نمونه های سالمند باشد. بر اساس دانش ما، پژوهش حاضر اولین پژوهش برای تجزیه و تحلیل پاسخ عوامل شناختی در مغز نمونه های سالمند پس از تمرینات تناوبی با شدت بالاست. تمرینات تناوبی با شدت بالا مزایای همزمان بسیاری برای بافت ها و دستگاه های بدن به همراه دارند (۳۸، ۳۹). این نوع تمرینات راهبردی ایمن و کارآمد برای بهبود عملکرد عصبی از طریق تمرینات مکرر با شدت بالا به شمار می روند که با دوره های بازیابی همراه اند (۴۰). تمرینات تناوبی با شدت بالا به بهبود شاخص های شناختی در تحقیق حاضر منجر شد. این نتایج از آنجا که اهمیت تجویز ورزش برای افراد مسن را تقویت و اهمیت تداوم در اجرای برنامه های ورزشی را برجسته می کند، اهمیت زیادی دارد. بنابراین هیچ محدودیتی در تجویز ورزش برای افراد مسن وجود ندارد و به نظر می رسد اتخاذ راهبردهایی برای تحریک پایبندی و تداوم طولانی مدت و منظم برنامه ورزش در سنین بالا مهم است. با این همه، مخالف با یافته های تحقیق حاضر، در پژوهشی کاهش فسفوریلاسیون و عدم تغییر بیان ERK1/2 در عضله اسکلتی افراد سالمند پس از یک دوره تمرین مقاومتی حاد گزارش شد (۲۰). همچنین در تحقیق دیگری، هشت هفته تمرین هوازی با شدت متوسط موجب کاهش مقدار ERK1/2 بافت قلب موش های صحرایی نرو استار میانسال شد (۳۶). با توجه به نوع آزمودنی ها، روش تمرین و نوع بافت مورد بررسی می توان تناقض با پژوهش های مذکور را توجیه کرد. کاهش پیام های سلولی ERK 1/2 که

2. Driscoll I, Howard SR, Stone JC, Monfils MH, Tomanek B, Brooks WM, Sutherland RJ. The aging hippocampus: a multi-level analysis in the rat. *Neuroscience* 2006;139: 1173–1185.
3. Dickstein DL, Weaver CM, Luebke JI, Hof PR. Dendritic spine changes associated with normal aging. *Neuroscience* 2013;251:21–32.
4. Yu XW, Curlik DM, Oh MM, Yin JC, Disterhoft JF. CREB overexpression in dorsal CA1 ameliorates long-term memory deficits in aged rats. *Elife*. 2017;6:e19358.
5. Viosca J, Malleret G, Bourtchouladze R, Benito E, Vronskava S, Kandel ER, et al. Chronic enhancement of CREB activity in the hippocampus interferes with the retrieval of spatial information. *Learn Mem*. 2009;16(3):198–209.
6. Impey S, McCorkle SR, Cha-Molstad H, Dwyer JM, Yochum GS, Boss JM, et al. Defining the CREB regulon: a genome-wide analysis of transcription factor regulatory regions. *Cell*. 2004;119:1041–1054.
7. Steven A, Seliger B. Control of CREB expression in tumors: from molecular mechanisms and signal transduction pathways to therapeutic target. *Oncotarget*. 2016;7(23):35454–65.
8. Kudo K, Wati H, Qiao C, Arita J, Kanba S. Age-related disturbance of memory and CREB phosphorylation in CA1 area of hippocampus of rats. *Brain Research* 2005;1054: 30–37
9. Saura CA, Valero J. The role of CREB signaling in Alzheimer's disease and other cognitive disorders. *Journal of Neuroscience* 2011;22:153–169
10. Wang, H, Quirion R, Little PJ, Cheng Y, Feng ZP, Sun HS, et al. Forkhead box O transcription factors as possible mediators in the development of major depression. *Neuropharmacology* 2015;99:527–537.
11. Altarejos JY, Montminy M. CREB and the CRTC co-activators: sensors for hormonal and metabolic signals. *nature reviews molecular cell biology* 2011;12(3):141–51.
12. Sakamoto K, Karelina K, Obrietan K. CREB: a multifaceted regulator of neuronal plasticity and protection. *Journal of neurochemistry* 2011;116:1–9.
13. Satoh Y, Kobayashi Y, Takeuchi A, Pagus G, Pouysségur J, Kazama T. Deletion of ERK1 and ERK2 in the CNS causes cortical abnormalities and neonatal lethality: Erk1 deficiency enhances the impairment of neurogenesis in Erk2-deficient mice *The Journal of neuroscience* 2011;31:1149–1155
14. Sun J, Nan G. The extracellular signal-regulated kinase 1/2 pathway in neurological diseases: A potential therapeutic target (Review). *International journal of molecular medicine* 2017;39(6):1338–1346.
15. Song GY, Kang JS, Lee SY, Myung CS. Region-specific reduction of Gbeta4 expression and induction of the phosphorylation of PKB/Akt and ERK1/2 by aging in rat brain. *Pharmacological research* 2007;56:295–302
16. Brown BM, Peiffer JJ, Martins RN. Multiple effects of physical activity on molecular and cognitive signs of brain aging: can exercise slow neurodegeneration and delay Alzheimer's disease? *Molecular psychiatry* 2013;18(8):864–74.
17. Yang TT, Lo CP, Tsai PS, Wu SY, Wang TF, Chen YW, et al. Aging and exercise affect hippocampal neurogenesis via different mechanisms. *PLoS One* 2015;10: e0132152.
18. Clark PJ, Bhattacharya TK, Miller DS, Rhodes JS. Induction of c-Fos, Zif268 and Arc from acute bouts of voluntary wheel running in new and pre-existing adult mouse hippocampal granule neurons. *Neuroscience* 2011;184: 16–27.
19. Chen MJ, Russo-Neustadt AA. Running exercise-induced up-regulation of hippocampal brain-derived neurotrophic factor is CREB-dependent. *Hippocampus* 2009;19: 962–972.
20. Williamson D, Gallagher P, Harber M, Hollon C, and Trappe S. Mitogen-activated protein kinase (MAPK) pathway activation: effects of age and acute exercise on human skeletal muscle. *The Journal of physiology* 2003;547:977–987.
21. Brown BM, Peiffer JJ, Sohrabi HR, Mondal A, Gupta VB, Rainey-Smith S.R, et al. Intense physical activity is associated with cognitive performance in the elderly. *Translational psychiatry* 2012;2:e191.
22. Jimenez-Maldonado A, Renteria I, Garcia-Suarez PC, Moncada-Jimenez J, Freire-Royes LF. The Impact of High-Intensity Interval Training on Brain Derived Neurotrophic Factor in Brain: A Mini-Review. *Front Neurosci* 2018;12:839
23. Gurd BJ, Giles MD, Bonafiglia JT, Raleigh JP, Boyd JC, Ma JK, et al. Incidence of nonresponse and individual patterns of response following sprint interval training. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 2016;41:229–34.
24. de Barbalho M, Gentil P, Izquierdo M, Fisher J, Steele J, Raiol R. There are no

- no-responders to low or high resistance training volumes among older women. *Experimental gerontology* 2017; 99:18–26.
25. Pulimood NS, Rodrigues WDS Junior, Atkinson DA, Mooney SM, Medina AE. The Role of CREB, SRF, and MEF2 in Activity-Dependent Neuronal Plasticity in the Visual Cortex. *J Neurosci.* 2017;37(28):6628-6637.
 26. Amirazodi F, Mehrabi A, Amirazodi M, Parsania S, Rajizadeh MA, Esmaeilpour K. The combination effects of resveratrol and swimming HIIT exercise on novel object recognition and open-field tasks in aged rats. *Experimental aging research* 2020;46(4):336-358.
 27. Braidy N, Poljak A, Grant R, Jayasena T, Mansour H, Chan-Ling T, et al. Differential expression of sirtuins in the aging rat brain. *Frontiers in cellular neuroscience* 2015;9:167.
 28. Lee SS, Kim CJ, Shin MS, Lim BV. Treadmill exercise ameliorates memory impairment through ERK-Akt-CREB-BDNF signaling pathway in cerebral ischemia gerbils. *Journal of exercise rehabilitation* 2020;16(1):49-57.
 29. ZHAO Y. Effects of exercise on ERK-CREB expression in rats with chronic stress. *Chinese Journal of Public Health* 2010;26(7): 848-849.
 30. Dalir T, Gharakhanlou R, Peeri M, Martin Homae H. Effect of 8 weeks aerobic training on SIRT1, CREB and BDNF genes expression in hippocampus of Wistar rats. *The Journal of Sport and Biomotor Sciences* 2018;11(19):11-18. (I n Persian)
 31. Fujioka T, Fujioka A, Duman RS. Activation of cAMP signaling facilitates the morphological maturation of newborn neurons in adult hippocampus. *The Journal of neuroscience* 2004;24:319–328.
 32. Zhu DY, Lau L, Liu SH, Wei JS, Lu YM. Activation of cAMP-response-element-binding protein (CREB) after focal cerebral ischemia stimulates neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2004;101(25):9453-9457
 33. Rodriguez-Tornos FM, San Aniceto I, Cubelos B, Nieto M. Enrichment of Conserved Synaptic Activity-Responsive Element in Neuronal Genes Predicts a Coordinated Response of MEF2, CREB and SRF. *PLoS ONE* 2013;8(1):e53848.
 34. Mekari S, Neyedli HF, Fraser S, O'Brien MW, Martins R, Evans K, et al. High-Intensity Interval Training Improves Cognitive Flexibility in Older Adults. *Brain Sciences* 2020; 10(11):796
 35. Whitfield TW, Jr, Shi X, Sun WL, McGinty JF. The suppressive effect of an intra-prefrontal cortical infusion of BDNF on cocaine seeking is Trk receptor and extracellular signal-regulated protein kinase mitogen-activated protein kinase dependent. *The Journal of neuroscience.* 2011;31:834–842.
 36. Lonze BE, Ginty DD. Function and regulation of CREB family transcription factors in the nervous system. *Neuron* 2002;35:605–623.
 37. Baghaiee B, Karimi P, Siahkouhian M, Pescatello L. Moderate aerobic exercise training decreases middle-aged induced pathologic cardiac hypertrophy by improving Klotho expression, MAPK signaling pathway and oxidative stress status in Wistar rats. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences* 2018;21(9): 911-919.
 38. Jamshidi M, Kordi M, Shabkhiz F. Effect of involuntary and voluntary exercise in an enrichment environment on astrogliosis reaction of hippocampus white matter in type 3 diabetic rat models. *Journal of Sport and Exercise Physiology* 2022; 54-66. (I n Persian)
 39. Rezaei AR, Gaeini, AA, Choobineh S, Nuri R. The effect of six weeks High Intensity Interval Swimming Training and Resveratrol supplementation on the level of SIRT3 in left ventricular heart of aged rats". *Journal of Sport and Exercise Physiology* 2022; 15(3): 25-34. (I n Persian)
 40. Constans A, Pin-Barre C, Molinari F, Temprado JJ, Briocche T, Pellegrino C, et al. High-intensity interval training is superior to moderate intensity training on aerobic capacity in rats: Impact on hippocampal plasticity markers. *Behav Brain Res.* 2021; 398:112977.

Original Article

The Effect of sprint interval training on testis oxidant/antioxidant status and reproductive indices of adult wistar rats

Mahmoud Tajik Khaveh^{ORCID}, Mohammad Rahmani*^{ORCID}, Ali Samadi^{ORCID}

Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Humanities, Shahed University. Tehran Iranty, Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: In contemporary modern societies a lot of people suffer from reproductive system dysfunction and infertility. Various factors such as physical inactivity, some diseases and medicines play a role in incidence of reproductive dysfunction, which can lead to decreased reproductive capacity. One of the main mechanisms of reproductive dysfunction the increased free radicals production and oxidative stress in testis. Sprint interval training (SIT) is one of the most time-efficient types of exercise in comparison to other exercise methods, which could be used to promote physical activity level. The aim of the present study was to determine the effect of SIT on testis oxidant-antioxidant status and some reproductive indices in adult Wistar rats.

Materials and Methods: In this experimental study, 16 adult male Wistar rats were randomly divided into control and training groups. Then, the training group performed an exercise protocol 3 times a week for eight weeks. Forty-eight hours after the last training session, the rats' testis were removed after anesthesia and transferred to the laboratory for measurements of the activities of superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase (GPX), as well as total antioxidant capacity (TAC) and malondialdehyde (MDA) levels were assessed. Moreover, main reproductive function indices including tubular differentiation index (TDI), spermiogenesis index (SI), and cumulative index (RI). Data were analyzed using independent samples t-test at the $P \leq 0.05$.

Results: The statistical analysis revealed that the MDA level of the testis in the training group was significantly higher than the control group ($P < 0.001$). There was no significant difference between groups in terms of the SOD activity and TAC. However, in the training group the GPX activity level was significantly higher than the control group ($P < 0.05$). Moreover, the number of Leydig cells, TDI, and RI in the training group were significantly lower than the control group ($P < 0.05$, though, no significant difference was observed between groups for SI ($P > 0.05$).

Conclusion: SIT may increase oxidative stress in the testicular tissue and negatively affect the main spermatogenic indices in testis, which can lead to reproductive dysfunction. Conducting more research in this area while controlling the other influential factors and training variables (intensity, duration, and volume) is recommended.

Keywords: High-Intensity Interval Ttraining, Oxidative Stress, Spermatogenesis

How to cite this article: Tajik Khaveh M, Rahmani M, Samadi A. The Effect of sprint interval training on testis oxidant/antioxidant status and reproductive indices of adult wistar rats. *J Sport Exerc Physiol.* 2023;16(2): 46-57.

*Corresponding Author's E-mail: rahmani@shahed.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103549>

Received: 19/12/2022

Revised: 31/01/2023

Accepted: 07/02/2023



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

اثر تمرین تناوبی سرعتی بر تعادل اکسایشی- ضد اکسایشی بیضه و شاخص‌های تولید مثلی موش‌های آزمایشگاهی بزرگ

محمود تاجیک خاوه¹، محمد رحمانی*²، علی صمدی³

گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: در جوامع امروزی افراد زیادی از اختلال عملکرد دستگاه تناسلی و ناباروری رنج می‌برند. عوامل گوناگونی مانند کم‌تحرکی، برخی بیماری‌ها و مصرف داروها می‌توانند در بروز اختلال باروری نقش داشته باشند و سبب کاهش توان تولید مثلی شوند. از سازوکارهای اصلی اختلال تولید مثل تولید بنیان‌های آزاد و افزایش فشار اکسایشی در بافت بیضه است. تمرین تناوبی سرعتی (SIT) از کارآمدترین انواع تمرینات ورزشی از نظر زمانی نسبت به سایر شیوه‌های فعالیت ورزشی است که برای ارتقای میزان فعالیت بدنی و ورزشی می‌تواند به کار رود. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر SIT بر وضعیت اکسایشی- ضد اکسایشی بیضه و شاخص‌های عملکرد تولید مثلی موش‌های آزمایشگاهی بزرگ بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تجربی ۱۶ سر موش بالغ نر آزمایشگاهی بزرگ نژاد ویستار به‌طور تصادفی به گروه‌های کنترل و فعالیت ورزشی تقسیم شدند. سپس گروه فعالیت ورزشی به مدت هشت هفته، هفته‌ای سه جلسه تمرین کردند. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، بیضه موش‌ها پس از بی‌هوشی برداشته و به آزمایشگاه منتقل شد و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX)، ظرفیت تام ضد اکسایشی (TAC) و مقادیر مالون دی‌آلدهید (MDA) و همچنین شاخص‌های عملکرد تولید مثلی مهم در بافت بیضه شامل شاخص تمایز لوله‌ای (TDI)، شاخص اسپرمیوژنز (SI) و ضریب تجمعی (RI) تعیین شد. داده‌ها با استفاده از آزمون تی مستقل در سطح آلفای ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شد.

نتایج: تحلیل داده‌ها نشان داد میزان MDA بافت بیضه گروه تمرین نسبت به گروه کنترل در حد معناداری بیشتر بود ($P < 0/001$). بین دو گروه از نظر فعالیت SOD و مقادیر TAC بافت بیضه تفاوت معناداری وجود نداشت؛ ولی میزان فعالیت GPX در گروه تمرین در حد معناداری بیشتر از گروه کنترل بود ($P < 0/05$). همچنین تعداد سلول‌های لیدیک، TDI و RI در گروه تمرین در حد معناداری نسبت به گروه کنترل کمتر بود ($P < 0/05$)؛ ولی از نظر SI بین دو گروه تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P > 0/05$).

نتیجه‌گیری: تمرین تناوبی سرعتی ممکن است فشار اکسایشی را در بافت بیضه افزایش دهد و با تأثیر منفی بر شاخص‌های مهم اسپرماتوزئیک در بیضه، سبب ایجاد اختلال در عملکرد تولید مثلی شود. انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه با کنترل عوامل اثرگذار و متغیرهای تمرینی (شدت، مدت و حجم تمرین) توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تمرین تناوبی شدید، فشار اکسایشی، اسپرماتوزئ

نحوه استناد به این مقاله: تاجیک خاوه م، رحمانی م، صمدی ع. اثر تمرین تناوبی سرعتی بر تعادل اکسایشی- ضد اکسایشی بیضه و شاخص‌های تولید مثلی موش‌های آزمایشگاهی بزرگ. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۴۶-۵۷.

* رایانامه نویسنده مسئول: rahmani@shahed.ac.ir

مقدمه

یکی از مشکلات جامعه امروز، وجود اختلال عملکرد دستگاه تناسلی و ناباروری است. در ناباروری بیماری‌ها و عوامل گوناگونی می‌توانند مؤثر باشند و سبب کاهش کیفیت و کمیت اسپرم شوند. از سازوکارهای اصلی، تولید بنیان‌های آزاد و افزایش فشار اکسایشی گزارش شده است (۱). بررسی‌های آسیب اکسایشی دزوکسی ریبونوکلیک اسید (DNA) اسپرم افراد بارور و نابارور، نشان داد که آسیب اکسایشی مردان نابارور ۱۰۰ برابر بیش از مردان بارور است (۲). بر اساس نتایج پژوهش‌ها، افزایش ناباروری در مردان رابطه نزدیکی با کاهش مصرف مواد ضد اکسایشی در آنان دارد و مصرف این مواد به درمان و پیشگیری از ناباروری در مردان کمک می‌کند (۳). فشار اکسایشی به دلیل سرعت بسیار زیاد تقسیم سلولی و مصرف اکسیژن میتوکندری در بافت بیضه و همچنین سطوح نسبتاً بالاتر اسیدهای چرب غیراشباع در این بافت نسبت به سایر بافت‌ها، عامل مهمی در ایجاد ناباروری در مردان است. افزون بر این، سطح فشار اکسیژن به دلیل ضعف شریان بیضه پایین است. بنابراین بافت بیضه و دستگاه تناسلی مردانه در برابر فشار اکسایشی حساس است. از سوی دیگر، امروزه به دلیل قرار گرفتن در معرض عوامل محیطی مضر مانند آلودگی هوا، رژیم‌های غذایی مضر و همچنین عواملی مانند چاقی، دیابت، واریکوسل و غیره می‌تواند فشار اکسایشی را تشدید کنند و موجب آپوپتوز سلول‌های زایا و متعاقباً اختلال اسپرم‌زایی شوند (۱).

بر اساس نتایج پژوهش‌ها با ایجاد فشار اکسایشی در بافت بیضه تغییرات ساختاری و اختلال در اسپرماتوژنز ایجاد می‌شود. این تغییرات بیشتر در سلول‌های اسپرماتوگونی، اسپرماتوسیت اولیه، اسپرماتید و اسپرماتوزوئید اتفاق می‌افتد (۴). اختلال اسپرماتوژنز می‌تواند بر اثر مختل شدن تکثیر و تمایز سلول‌های جنسی و سازوکارهای تنظیمی داخل و خارج بیضه‌ای در هر مرحله ایجاد شود (۵). تحقیقات نشان داده‌اند که ضد اکسیدان‌ها از اسپرم‌ها در برابر بنیان‌های آزاد تولیدشده محافظت می‌کنند. دستگاه ضد اکسایشی بدن به تنهایی قادر به خنثی کردن همه بنیان‌های آزاد و جلوگیری از عوارض مضر فشار اکسایشی نیست (۶). به این دلیل، استفاده از ضد اکسیدان‌ها و راهکارهایی که موجب افزایش توان ضد اکسایشی شود، به طور بالقوه

می‌تواند واکنش زنجیره‌ای اکسایشی را بشکند و در افزایش ظرفیت بیضه‌ها برای مبارزه با فشار اکسایشی نقش داشته باشد و به بهبود روند اسپرم‌زایی منجر شود (۷). ضد اکسیدان‌ها می‌توانند با مقابله با بنیان‌های آزاد یا جلوگیری از تشکیل آنها در سلول‌های بیضه از این آسیب جلوگیری کنند. شایان ذکر است که بخشی از دستگاه دفاعی ضد اکسایشی بدن که اغلب دستگاه ضد اکسایشی پیشگیرانه خوانده می‌شود، مربوط به آنزیم‌های ضد اکسایشی شامل سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و گلوکاتیون پراکسیداز (GPX) است (۷، ۳). یکی از مداخله‌هایی که امروزه مورد توجه متخصصان بهداشت سلامت قرار گرفته است، فعالیت ورزشی است (۸). در حالی که اجماع علمی درباره اثر حفاظتی فعالیت بدنی بر سلامت و کیفیت زندگی افراد وجود دارد و به طور فزاینده‌ای، متخصصان بهداشت و سلامت انجام تمرینات ورزشی را به عنوان یکی از مؤلفه‌های سبک زندگی سالم توصیه می‌کنند، تحقیقات انجام‌گرفته درباره تأثیر انواع فعالیت‌های ورزشی بر دستگاه تولید مثلی نسبتاً اندک و اغلب ضد و نقیض است (۹-۱۱). در کنار این ضعف مطالعاتی اختصاصی دستگاه تولید مثل، عملیاتی نبودن توصیه‌های موجود، از موانع جدی تجویز فعالیت ورزشی پایدار به عنوان یکی از مؤلفه‌های سبک زندگی سالم است. از طرفی، رویکرد واحد در تجویز فعالیت بدنی و ورزشی برای همه افراد جامعه ممکن است مناسب نباشد و برای رفع این مشکل باید مداخلات متنوع و متفاوتی توسعه یابد. تمرین تناوبی سرعتی به عنوان نوعی تمرین تناوبی شدید که به تازگی مورد توجه قرار گرفته است، از نظر زمان لازم برای اجرا (۱۲) و تأثیرگذاری بر شاخص‌های سلامت قلبی-عروقی و سوخت‌وسازی (۱۳) و همچنین از دید خستگی ادراک شده در مقایسه با سایر گونه‌های رایج فعالیت ورزشی (۱۴، ۱۵) کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر است؛ با این همه در خصوص تأثیر این نوع تمرینات بر دستگاه تولید مثلی اطلاعات اندکی وجود دارد. از این رو هدف تحقیق حاضر بررسی و تعیین تأثیر تمرین تناوبی سرعتی (SIT) بر وضعیت اکسایشی-ضد اکسایشی بیضه‌ای و شاخص‌های عملکرد تولید مثلی در موش‌های آزمایشگاهی بزرگ بود.

روش پژوهش

داده شدند. پس از آن برای سنجش سرعت در آزمون دویدن بیشینه و شدت تمرین فردی طبق پژوهش‌های گذشته، از هر موش با استفاده از نوار گردان در آغاز برنامه تمرینی آزمون گرفته شد. این آزمون با سرعت اولیه ۱۰ متر/دقیقه شروع شد و در هر سه دقیقه یک بار، سه متر/دقیقه سرعت افزایش یافت تا موش به مرحله واماندگی برسد (۱۶). با بروز خستگی و قرار گرفتن موش‌ها در انتهای نوار گردان روی شبکه شوک به مدت پنج ثانیه، آزمون پایان می‌یافت و سرعت بیشینه ثبت می‌شد. از نتایج آزمون دویدن بیشینه برای تعیین شدت (سرعت) تمرین استفاده شد. دوره آشناسازی حیوانات با سرعت ۲۰-۳۰ متر/دقیقه (حدود ۵۰ درصد سرعت بیشینه) انجام گرفت. شیوه‌نامه تمرینی به مدت هشت هفته به صورت سه جلسه در هفته، هر تکرار به مدت ۱۰ ثانیه، ۶۰ ثانیه استراحت فعال و بین ۴-۹ تکرار اجرا شد. این شیوه‌نامه تمرینی برگرفته از پژوهش اسدی و همکاران (۲۰۲۲) با اندکی جرح و تعدیل بود (۱۷). جزئیات شیوه‌نامه تمرینی در جدول ۱ ذکر شده است.

نمونه‌های پژوهش: ۱۶ سر موش صحرایی ویستار نر بالغ شش هفته‌ای با محدوده وزنی ۱۳۰-۱۵۰ گرم از آزمایشگاه دانشگاه بقیه‌الله تهیه شد. برای سازگار شدن با محیط آزمایشگاهی و رسیدن به محدوده وزنی مطلوب و سن تولید مثلی مناسب در قفس ویژه نگهداری شدند، سپس به‌طور تصادفی به دو گروه مساوی کنترل (n=۸) و تمرین (n=۸) تقسیم شدند. حیوانات در شرایط رطوبتی مناسب (۴۵-۶۰ درصد) و نور کنترل شده (۱۲ ساعت نور، ۱۲ ساعت تاریکی) نگهداری شدند. حیوانات در طول پژوهش دسترسی آزادانه به آب و غذا (غذای نرمال موش آزمایشگاهی بزرگ) داشتند. وزن‌کشی موش‌ها هر هفته انجام گرفت. همه مراحل پژوهش بر اساس «راهنمای مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی در امور علمی» در دانشگاه شاهد انجام گرفت و طرح پژوهش در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه شاهد مصوب شد (IR.Shahed.Rec.1400.005).

روش اجرای پژوهش: پیش از شروع شیوه‌نامه اصلی تمرین، گروه تمرین به مدت یک هفته روزانه به‌منظور آشنایی با دویدن روی نوار گردان تمرین

جدول ۱. شیوه‌نامه تمرینی تناوبی سرعتی (SIT)

سرعت (متر/دقیقه)	آشنایی عمومی	آشنایی تخصصی	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	هفته ششم	هفته هفتم	هفته هشتم
۱۵-۱۰	۳۰-۲۰	۵۵-۵۰	۶۰-۵۵	۶۰-۵۵	۶۰-۵۵	۶۵-۶۰	۶۵-۶۰	۷۰-۶۵	۷۰-۶۵	۷۰-۶۵
MRT (%) *	-	-	-۱۱۸	-۱۳۰	-۱۳۰	-۱۴۱	-۱۴۱	-۱۴۱	-۱۵۳	-۱۵۳
زمان تکرار	۱۰ ثانیه					۱۰ ثانیه				
استراحت بین تکرار	-					استراحت فعال با سرعت ۱۵-۲۰ / ۶۰ ثانیه				
تعداد تکرار	۱	۳	۴	۴	۵	۵	۵	۷	۸	۹
تعداد جلسات در هفته	۵	۳								

* MRT (%): درصد سرعت در آزمون دویدن بیشینه

میکرولیتر از مایع رویی خارج و به ۱۴۰ میکرولیتر محلول Tris EDTA اضافه شد. سپس ۳۰ میکرولیتر از محلول DTNB به مخلوط اضافه شد. در نهایت ۳۰ دقیقه انکوباسیون در دمای اتاق انجام گرفت و جذب محلول در ۴۵۰ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر (Pharmacia, Novaspec II, Biochrom, England) قرائت و بر حسب U/mg-pr گزارش شد.

سنجش میزان TAC بافتی: پروتکل TAC بر اساس روش کوراسیویچ و همکاران (۲۰۰۱) تنظیم شد (۲۰). ابتدا ۷۵ میکرولیتر از نمونه با ۵۰۰ میکرولیتر محلول معرف ۱ (H₂SO₄) مخلوط شد. سپس ۲۰ میکرولیتر از محلول معرف ۲ (H₂SO₄ + CuSO₄ + o-Dianisidine) به محلول تهیه شده اضافه شد. در نهایت، جذب محلول در ۶۳۰ نانومتر توسط Microplate Reader بررسی و بر حسب nmol Trolox/mg-pr گزارش شد.

سنجش میزان MDA بافتی: برای تعیین میزان پراکسیداسیون لیپیدی در گروه‌های کنترل و آزمایش، محتوای MDA نمونه‌ها با استفاده از واکنش تیوباربیتوریک اسید (TBA) اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه، ۰/۳-۰/۲ گرم نمونه‌ها در KCl سرد شده با یخ (۱۵۰ میلی مولار) همگن شدند و سپس مخلوط در ۳۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. ۰/۵ میلی لیتر مایع رویی با سه میلی لیتر اسید فسفریک (یک درصد V/V) مخلوط شد سپس پس از مخلوط، یک میلی لیتر ۶/۷ گرم TBA L-1 به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه گرم و سپس در یخ سرد شدند. پس از افزودن سه میلی لیتر N-butanol، نمونه‌ها در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. میزان جذب مایع رویی به روش اسپکتروفوتومتری (فارماسیا، نواسپک II، بیوکروم، انگلستان)، در طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقدار محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدها با توجه به منحنی کالیبراسیون همزمان با استفاده از استانداردهای MDA محاسبه و بر حسب nmol در هر میلی‌گرم پروتئین بیان شد. میزان پروتئین نمونه‌ها بر اساس روش Lowery ارزیابی شد (۲۱).

مطالعه مورفومتریکی بیضه شامل ضخامت کپسول بیضه (بر حسب میکرومتر)، قطر لوله‌های اسپرم‌ساز (بر حسب میکرومتر)، ارتفاع اپی‌تلیوم لوله اسپرم‌ساز (بر حسب میکرومتر)، قطر لومن داخلی لوله اسپرم‌ساز

روش‌های آزمایشگاهی: ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، موش‌ها با اتر بی‌هوش شدند. سپس پوست ناحیه شکمی با اتانول ۷۰ درصد استریل شد و سپس برشی در ناحیه شکم ایجاد شد. پس از باز کردن قفسه سینه خون مستقیم از قلب گرفته شد و سپس بیضه‌ها خارج شد. بیضه سمت چپ در ظروف ویژه حاوی محلول فرمالین ۱۰ درصد بافری قرار گرفت. بیضه سمت راست نیز به یخچال ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شده و در ادامه برای سنجش عوامل اکسایشی - ضد اکسایشی استفاده شد. بافتهای قرار داده شده در فرمالین برای سنجش عوامل هیستولوژیکی با رنگ آمیزی هماتوکسیلین ائوزین (H&E) در آزمایشگاه استفاده شدند.

سنجش فعالیت آنزیم SOD بافتی: فعالیت آنزیم SOD با استفاده از روش امسیکورد و فریدوویچ تعیین شد (۱۸). زانتین و گزانتین اکسیداز برای تولید بنیان‌های آنیون سوپراکسید استفاده شد که با کلرید ۲- (۴-یدوفنیل)-۳- (۴-نیتروفنول)-۵- فیل تترازولیم به صورت کمی واکنش می‌دهند تا رنگ فرمازان قرمز را تشکیل دهند. SOD با تبدیل بنیان سوپراکسید به اکسیژن واکنش را مهار می‌کند. محلول‌های استاندارد بافت بیضه هموزن برای سنجش SOD استفاده شد. جذب در طول موج ۵۰۵ نانومتر روی یک اسپکتروفوتومتر UV / visi- 1021 ble Cecil 1021 Cecil Instruments Ltd Milton Techni- cal Centre Cambridge ENGLAND) به مدت ۳۰ ثانیه پس از افزودن گزانتین اکسیداز به عنوان معرف شروع و سه دقیقه پس از واکنش به عنوان نمونه‌های تکراری اندازه‌گیری شد. درصد بازدارندگی استانداردها و نمونه‌ها با فرمول $100 - (\Delta AS1 / \min \Delta) / (AStd \times 100)$ محاسبه و بر حسب Units/mg-pr گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم GPX: سطح GPx به روش احمدوند و همکاران اندازه‌گیری شد (۱۹). مقدار ۲۰۰ میکرولیتر از محلول بافر Tris HCl، ۱۰۰ میکرولیتر سدیم آزید، ۲۰۰ میکرولیتر گلوکاتایون، ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن (H₂O₂) و ۲۰۰ میکرولیتر نمونه، همه در یک لوله ترکیب و انکوبه شدند. یک حمام آبی (حمام آبی KTG، تهران، ایران) در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه. سپس ۴۰۰ میکرولیتر محلول TCA ۱۰ درصد اضافه شد و محلول نهایی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت سه دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۲۵

کاملاً تیره‌رنگ) به اسپرماتوگونی‌های نوع A (هسته روشن‌تر) محاسبه شد.

تحلیل آماری: در پژوهش حاضر از آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) برای توصیف داده‌ها و برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیروویلیک استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌های دو گروه از آزمون تی مستقل در سطح آلفای ۰/۰۵ استفاده شد. تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۳ ترسیم شد.

نتایج

در جدول ۲ میانگین و انحراف معیار وزن بدن، وزن بیضه و ایندکس آن به تفکیک گروه‌ها آمده است.

(بر حسب میکرومتر)، تعداد لوله‌های منی‌ساز (در دایره‌ای به شعاع ۵۰۰ میکرومتر)، تعداد سلول‌های لیدینگ (در دایره‌ای با شعاع ۵۰ میکرومتر) بود. بررسی اسپرماتوژنز و اسپرمیوژنز از طریق شاخص تمایز لوله‌ای (TDI: Tubular Differentiation Index)، شاخص اسپرمیوژنز (SI: Spermogenesis Index) و ضریب تجمعی (RI: Repopulation Index) انجام گرفت (۱). شاخص تمایز لوله‌ای شامل درصد لوله‌های منی‌ساز دارای بیش از چهار ردیف سلولی (TDI مثبت) نسبت به لوله‌های منی‌ساز با کمتر از چهار ردیف سلولی بود (TDI منفی) بود. در مورد شاخص اسپرمیوژنز نیز درصد لوله‌های منی‌ساز دارای اسپرماتید به لوله‌های منی‌ساز بدون اسپرماتید لحاظ شد. در خصوص ضریب تجمعی نیز درصد اسپرماتوگونی‌های نوع B (قابل تمایز با هسته

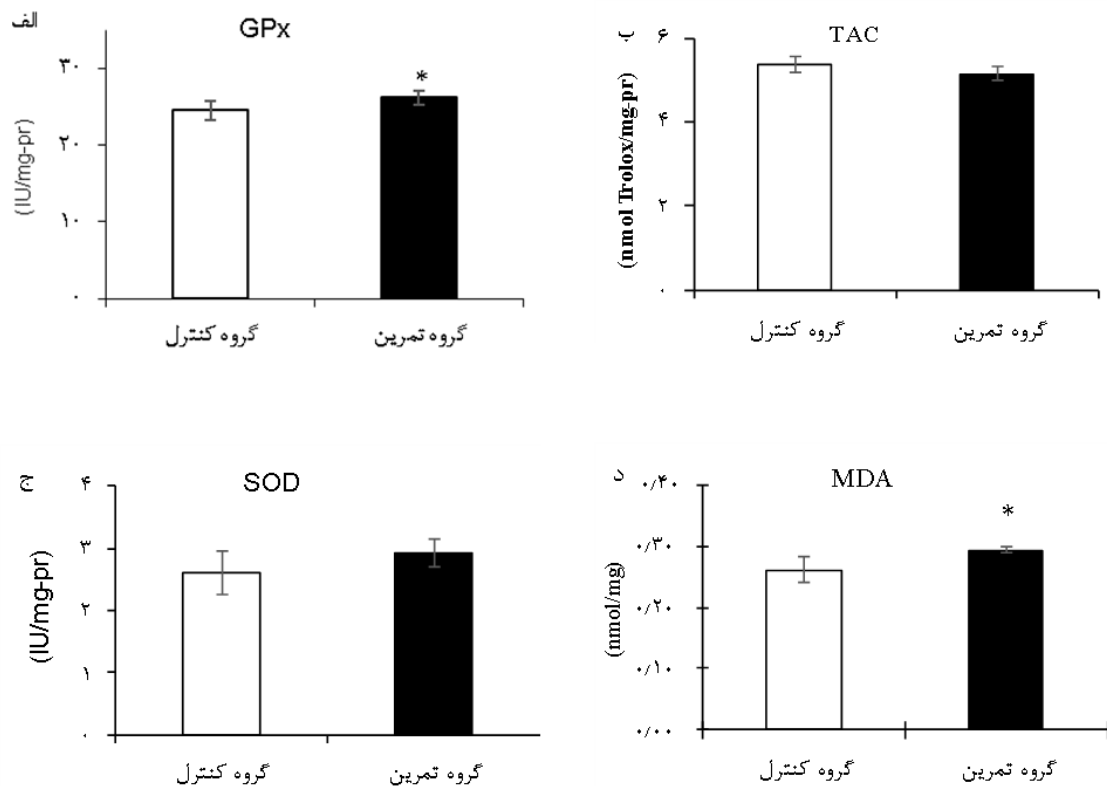
جدول ۲. میانگین و انحراف معیار وزن بدن، وزن بیضه و حداکثر سرعت به تفکیک گروه‌ها

گروه‌ها	وزن بدن (گرم)		ایندکس
	اولیه	نهایی	
کنترل	۲۸۴/۳۳ ± ۱۱/۷۷	۳۷۴/۲۰ ± ۱۱/۵۲	۰/۴۸ ± ۰/۰۳
تمرین	۲۸۳/۰۰ ± ۱۷/۳۲	۳۱۸/۶۰ ± ۳۳/۰۷	۰/۵۴ * ± ۰/۰۳

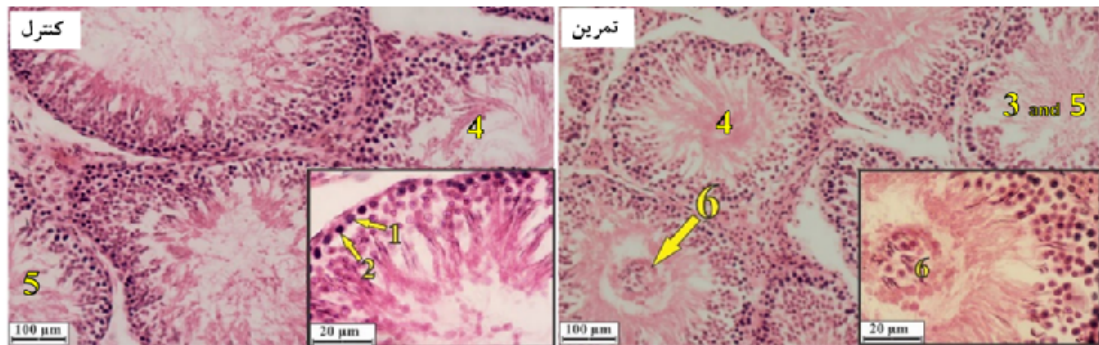
در گروه کنترل بود (شکل ۲، کنترل). در گروه تمرین نیز ساختار بافتی نسبتاً طبیعی با ریزش سلول‌های رده اسپرماتوژنز نابالغ به داخل لومن مرکزی لوله اسپرم‌ساز به صورت خفیف قابل مشاهده است (شکل ۲، تمرین). تعداد سلول‌های لیدینگ در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل در حد معناداری کمتر بود ($t_{(8)} = ۴/۲۲۱, P = ۰/۰۰۹$) (شکل ۳، الف). TDI در گروه تمرین نسبت به کنترل به‌طور معناداری کمتر بود ($t_{(8)} = ۴/۶۶۶, P = ۰/۰۰۲$) (شکل ۳، ب). با وجود این، SI گروه تمرین تفاوت معناداری با کنترل نداشت ($t_{(8)} = ۱/۶۶, P = ۰/۱۴$) (شکل ۳، ج). همچنین در RI بین گروه تمرین و کنترل تفاوت آماری معناداری مشاهده شد و مقدار آن در حد معناداری در گروه تمرین کمتر بود ($t_{(8)} = ۱/۶۶, P = ۰/۰۲$) (شکل ۳، د).

نتایج آزمون تی مستقل نشان داد میزان فعالیت آنزیم GPX بافت بیضه گروه تمرین نسبت به گروه کنترل در حد معناداری بیشتر بود ($t_{(8)} = ۲/۳۸, P = ۰/۰۴$) (شکل ۱، الف). میزان بافت بیضه گروه تمرین نسبت به گروه کنترل زیادتر بود، ولی تفاوت از نظر آماری معنادار نبود ($t_{(8)} = ۱/۸۹, P = ۰/۰۹$) (شکل ۱، ب). همچنین تحلیل آماری نشان داد میزان فعالیت آنزیم SOD در بافت بیضه در گروه تمرین بالاتر بود، ولی بین دو گروه تفاوت از نظر آماری معنادار نبود ($t_{(8)} = -۱/۷۸, P = ۰/۱۱$) (شکل ۱، ج). همچنین میزان MDA بافت بیضه در گروه تمرین در حد معناداری بیشتر از گروه کنترل بود ($P = ۰/۰۰۷$) (شکل ۱، د). ($t_{(8)} = -۳/۵۵$)

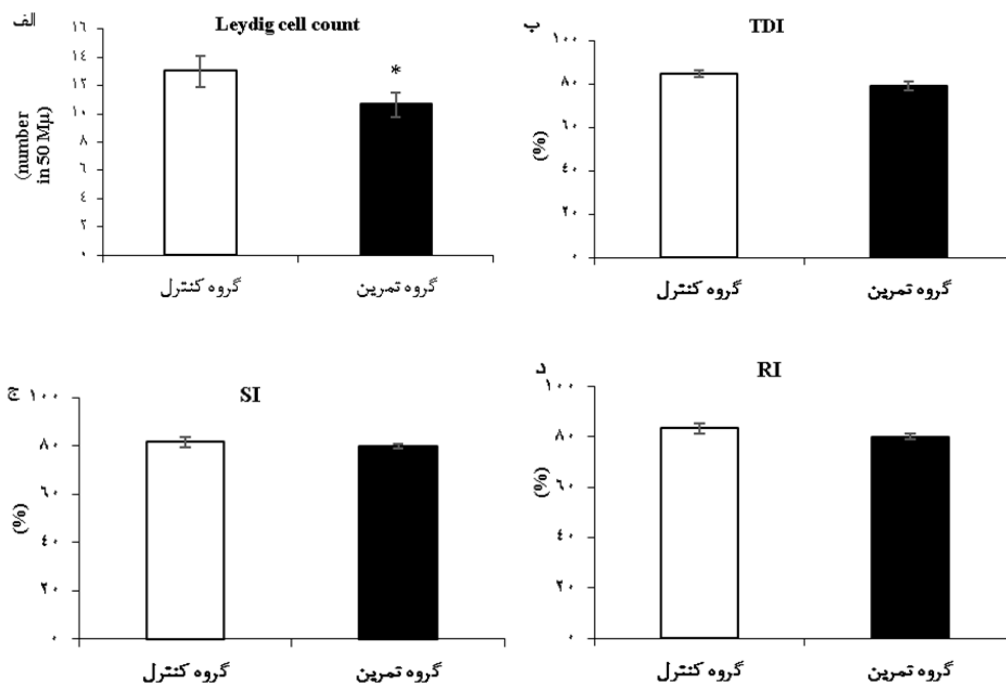
مقاطع بافتی بیضه‌ها با رنگ‌آمیزی H&E حاکی از ساختار بافتی کاملاً طبیعی و لوله‌های اسپرم‌ساز سالم



شکل ۱. تغییرات وضعیت اکسایشی ضد اکسایشی بیضه‌ها بر اثر تمرین تناوبی سرعتی. الف) گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPx)، ب) ظرفیت تام ضد اکسایشی (TAC)، ج) سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، د) مالون دی‌الدئید (MDA).



شکل ۲. بزرگ‌نمایی ۱۰۰× و ۴۰۰×: اسپرmatogونی تیپ A / ۲: اسپرmatogونی تیپ B / ۳: لوله SI منفی / ۴: لوله SI مثبت / ۵: لوله TDI منفی / ۶: ریزش سلول‌های رده اسپرmatوزن نابالغ به داخل لومن مرکزی لوله اسپرم‌ساز



شکل ۳. تغییرات شاخص‌های هیستومورفومتریکی بر اثر تمرین تناوبی سرعتی. الف) تعداد سلول‌های لیدیگ، ب) شاخص تمایز لوله‌ای (TDI)، ج) شاخص اسپرمیوزنز (SI)، د) ضریب تجمعی (RI)

بحث و نتیجه‌گیری

متوسط، دست‌کم تأثیرات مخرب بر قدرت باروری جنس نر ندارد (۲۳). در این زمینه مانا و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که شنای استقامتی با شدت بالا به مدت چهار هفته، هر هفته پنج جلسه با افزایش فشار اکسایشی و کاهش هورمون تستوسترون موجب اختلال در این فرایند می‌شود (۲۴). این یافته نیز، از این نظریه که تمرینات شدید و طولانی‌مدت موجب کاهش توان باروری و اختلال دستگاه تولید مثلی می‌شود، حمایت می‌کند (۱۰). همچنین صارمی و همکاران (۱۳۹۳) نتیجه گرفتند که تمرین شدید نمره اسپرماتوزنز در رت‌های نر را کاهش و میزان فشار اکسایشی در این حیوانات را افزایش می‌دهد (۲۵).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد تمرین ورزشی تأثیر معناداری بر فعالیت آنزیم SOD و مقادیر TAC نداشته، ولی میزان MDA را افزایش داده است، این یافته می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که شدت و مؤلفه‌های دیگر تمرین ورزشی موجب القای اختلال در اسپرماتوزنز از طریق افزایش ROS و در نهایت پراکسیداسیون لیپیدی شده است. منشأ تولید ROS می‌تواند میتوکندری و آنزیم‌هایی مانند اکسیدازهای گزانتین و NADPH اکسیداز (۲۶) و سیتوکروم P450s باشد (۲۷).

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که هشت هفته تمرین تناوبی سرعتی بر فعالیت آنزیم SOD و مقادیر TAC اثری نداشته، ولی فعالیت GPX را افزایش داده است. با وجود این نتایج نشان می‌دهد که تمرین ورزشی میزان MDA را نیز افزایش داده است که نشان‌دهنده بالا رفتن میزان پراکسیداسیون لیپیدی در بافت بیضه است. افزون بر این، در بخش هیستولوژیکی به هم‌ریختگی خفیف در لومن مرکزی اسپرم‌ساز و در بخش هیستومورفومتریکی بدتر شدن همه شاخص‌های سنجیده شده (به استثنای SI) در گروه تمرین ورزشی در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد که نشان می‌دهد تمرین تناوبی سرعتی می‌تواند تأثیر منفی بر شاخص‌های عملکرد تولید مثلی در موش‌های آزمایشگاهی بزرگ داشته باشد.

هرچند نتایج در مورد تأثیرات مداخلات ورزشی بر قدرت تولید مثلی جنس نر خیلی روشن نیست، ولی به نظر می‌رسد باروری جنس نر به حجم و شدت تمرین وابسته است؛ به این معنا که تمرین ورزشی شدید و طولانی‌مدت با کاهش قدرت باروری جنس نر همراه است (۲۲)؛ ولی انجام تمرینات با شدت‌های

(۲۰۱۷) گزارش کردند که تمرینات تناوبی با شدت بالا با کاهش عوامل التهابی و فشار اکسایشی، توان باروری مردان را افزایش می‌دهد (۳۳). آن‌ها نشان دادند که سه نوع تمرین تداومی گوناگون با شدت بالا، متوسط و تمرین تناوبی با شدت بالا تأثیر مطلوبی بر دستگاه تولید مثل مردان سالم دارد (۳۴). در پژوهش دیگری صارمی و ممبینی (۱۳۹۴) گزارش کردند که تمرین شنا با شدت متوسط از طریق تعدیل فشار اکسایشی در بیضه رت‌های چاق می‌تواند به بهبود شاخص‌های اسپرماتوزن منجر شود (۳۵). سازوکارهای پیشنهاد شده برای تأثیرات مفید فعالیت ورزشی بر تعادل ردوکس تنظیم مثبت تولید آنزیم‌های ضد اکسایشی، کاهش تولید ROS میتوکندریایی و افزایش ظرفیت مهار بنیان‌های آزاد در بافت‌ها و مایعات بدن عنوان شده است (۳۶). همچنین تحقیقات تنظیم مثبت دفاع ضد اکسایشی تحت تمرین تناوبی با شدت بالا را نشان داده‌اند که با کاهش نشانگرهای فشار اکسایشی مایع منی همراه بوده است (۳۷، ۳۴). با این همه، باید در نظر داشت اگرچه خانواده ROS در صورت اختلال تعادل بین تولید بنیان‌های آزاد و ظرفیت سیستم‌های ضد اکسایشی، موجب آسیب‌های اکسایشی می‌شود، در سال‌های اخیر، تعداد زیادی از تحقیقات پژوهشی نشان داده‌اند که ROS به‌عنوان پیک ثانویه پیام‌رسانی سلولی در پیشگیری از اختلالات از طریق تحریک پاسخ‌های ضد اکسایشی (۳۸) یا سایر سازوکارهای مرتبط با فعالیت ورزشی از طریق فعال کردن مسیره‌های پیام‌رسانی حساس به ردوکس سلولی نقش دارد (۳۹). بنابراین ROS ناشی از ورزش ممکن است به‌عنوان مولکول پیام‌رسان برای تقویت بیان پروتئین‌های محافظ سلولی و حفظ برخی دیگر از عملکردهای فیزیولوژیکی طبیعی عمل کند (۴۰)؛ با این همه، امکان تعمیم این موضوع به دستگاه تولید مانند هنوز نیازمند بررسی‌های بیشتر است.

در پژوهش حاجی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) نشان داده شد اگرچه زمان اختصاص داده شده برای گروه تمرینات استقامتی شدید بیشتر بود، آثار مثبت بیشتری مشاهده نشد. آن‌ها گزارش کردند آزمودنی‌های گروه HIIT با تعداد و مدت زمان جلسات تمرینی کمتر نسبت به گروه تمرین تداومی شدید، به بهبود مشابه و حتی بیشتری در نشانگرهای عملکرد تولید مثلی مردان دست

این آنزیم‌ها در تولید مقادیر چشمگیر ROS نقش دارند و متابولیت‌های سمی را به‌عنوان یک پیامد ناخواسته تولید می‌کنند. با توجه به اجزای آنزیمی دستگاه دفاع ضد اکسایشی، القای فشار اکسایشی می‌تواند در بیضه‌ها پاسخی را ایجاد کند که با القای mRNA با واسطه NFκB برای SOD، GPx و گلوکاتیون-S-ترانسفراز (GST) مشخص می‌شود (۲۸). فعالیت اساسی این آنزیم‌های ضد اکسایشی تبدیل سریع آنیون سوپراکسید (O_2^-) به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در حضور SOD به‌منظور جلوگیری از مشارکت اولی در تشکیل است. بنیان‌های هیدروکسیل بسیار خطرناک H_2O_2 تولید شده در این روش به‌خودی‌خود یک اکسیدان قوی غشایی است که باید به‌سرعت از سلول حذف شود تا از القای آسیب اکسایشی به لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA جلوگیری شود. حذف H_2O_2 یا توسط کاتالاز یا GPx انجام می‌گیرد که دومی در مورد بیضه‌ها غالب است (۲۹). با اینکه تمرین ورزشی میزان فعالیت آنزیم GPX را افزایش داده، ولی شاخص پراکسیداسیون لیپیدی (MDA) در بافت بیضه افزایش داشته است که نشان می‌دهد میزان افزایش در حدی نیست که بتواند با فشار اکسایشی ایجاد شده مقابله کند. این موضوع می‌تواند ریشه در شدت و مدت تمرین ورزشی داشته باشد و شاید محرک بروز سازوکاری یا زمان برای ایجاد سازوکاری کافی نبوده است تا مقابله با بنیان‌های آزاد تولید شده به‌نحو مؤثری صورت پذیرد. این موضوع به بررسی و مطالعه بیشتر نیاز دارد، اگرچه فشار اکسایشی به‌وضوح عامل تأثیرگذاری در علت شناسی ناباروری جنس نر است، سازوکارهای ایجادکننده اصلی آن هنوز حل نشده باقی مانده است. افزون بر این، نشان داده شده است که اختلال در عملکرد اسپرماتوزن و اسپرم با سطوح بالای برخی سایتوکاین‌ها از جمله اینترلوکین ۱ بتا ($IL-1\beta$)، اینترلوکین ۶ ($IL-6$)، اینترلوکین ۸ ($IL-8$) و فاکتور نکروز توموری آلفا ($TNF-\alpha$) به‌عنوان سازوکار احتمالی مرتبط با کاهش تعداد اسپرم، تحرک پیش‌رونده، مورفولوژی و همچنین حیات اسپرم ارتباط دارد (۳۰). این سایتوکاین‌ها می‌توانند بر عملکرد اسپرماتوزن و فرایند تولید مثل تأثیر منفی بگذارند (۳۱). عدم تعادل ردوکس شاید عامل اصلی مسئول تأثیرات مخرب سایتوکاین‌های پیش التهابی بر یکپارچگی DNA اسپرم است (۳۲).

ناهمسو با پژوهش حاضر، حاجی‌زاده و همکاران

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان سهم یکسانی در مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضادی در منافع وجود ندارد.

منابع

1. Alireza Zakerabasali MK. Protective effects of vitamin E and selenium on spermatogenesis in adult male rat insulin-resistant - Journal of Fasa University of Medical Sciences. JABS. 2013;2(4):308-13.
2. Aitken RJ, De Iulius GN. Origins and consequences of DNA damage in male germ cells. Reprod Biomed Online. 2007;14(6):727-33.
3. Tremellen K. Oxidative stress and male infertility—a clinical perspective. Hum Reprod Update. 2008;14(3):243-58.
4. Choi SM, Yoo SD, Lee BM. Toxicological characteristics of endocrine-disrupting chemicals: developmental toxicity, carcinogenicity, and mutagenicity. J Toxicol Environ Health B Crit Rev. 2004;7(1):1-23.
5. Ibtisham F, Chen J, Niu Y, Wang Z, Wu J, Xiao M, et al. Effect of aspirin on reproductive profile of male rat. 2016;5(4):5-12.
6. Hammoud AO, Gibson M, Peterson CM, Hamilton BD, Carrell DT. Obesity and male reproductive potential. J Androl. 2006;27(5):619-26.
7. Sheweita S, Tilmisany A, Al-Sawaf H. Mechanisms of male infertility: role of antioxidants. Curr Drug Metab. 2005;6(5):495-501.
8. Wagner H, Cheng JW, Ko EY. Role of reactive oxygen species in male infertility: An updated review of literature. Arab J Urol. 2018;16(1):35-43.
9. Gomes M, Freitas MJ, Fardilha M. Physical Activity, Exercise, and Mammalian Testis Function: Emerging Preclinical Protein Biomarker and Integrative Biology Insights. Omi A J Integr Biol. 2015;19(9):499-511.
10. Matos B, Howl J, Ferreira R, Fardilha M. Exploring the effect of exercise training on testicular function. Eur J Appl Physiol. 2019;119(1):1-8.
11. Asadi M, Rahmani M, Saremi A, Nasiri E. Histomorphometric and histologic effect of endurance swimming on the testis of adult wistar rats. J Appl Exerc Physiol. 2020;
12. Ghanbari Niaki A, Haghshenas Gatabi R. The Effect of Two Weeks of High-intensity Interval Training on Salvage nucleotide

یافتند، تغییراتی که در راستای بهبود سلامت و عملکرد باروری آزمودنی‌ها بود (۳۴). این موضوع نشان می‌دهد محرک‌های کوتاه با شدت بالا (به‌طور متوسط ۸۵ درصد VO2max) در تحریک پاسخ بهتر نسبت به تمرین تداومی با شدت بالا در ۷۰-۸۵ درصد VO2max مؤثرند. تمرین تناوبی سرعتی (SIT) نوعی تمرین HIIT به‌شمار می‌رود و یافته تحقیق مذکور از این منظر که نشان می‌دهد تمرینات تناوبی با شدت بالا می‌تواند تأثیرات مثبت بر دستگاه تولید مثلی داشته باشد، حائز اهمیت است. با این همه برای اولین بار در پژوهش حاضر نشان داده شد که تمرین SIT با تکرارهای ۱۰ ثانیه‌ای و دوره استراحتی یک دقیقه‌ای بین تکرارها با توجه به ماهیت بسیار شدید آن (شدتی معادل فراتر از ۱۰۰ درصد VO2max) تأثیر منفی بر دستگاه تولید مانند داشته است که نشان می‌دهد شاید سقفی از شدت وجود دارد که تا آن حد تمرین تناوبی شدید می‌تواند آثار مثبتی به‌همراه داشته باشد، ولی بیش از آن، از دامنه تحمل هوموستازی یا قابلیت سازشی فراتر است و می‌تواند آثار منفی در پی داشته باشد. تحقیقات بیشتر برای روشن‌تر شدن این موضوع و تعیین سقف احتمالی شدت بهینه فعالیت ورزشی مورد نیاز است.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر به نظر می‌رسد تمرین تناوبی سرعتی، دست‌کم با شدت و مدت‌های استفاده‌شده در پژوهش حاضر ممکن است به افزایش فشار اکسایشی در بیضه و اختلال پارامترهای هیستولوژیکی و هیستومورفومتریکی موش‌های آزمایشگاهی بزرگ منجر شود و در نتیجه به تضعیف عملکرد تولید مثلی در شاخص‌های عملکرد تولید مثلی بینجامد. با توجه به افزایش اقبال به این نوع تمرینات انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه با کنترل متغیرهای اثرگذار توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

از آقای دکتر علی کلانتری حصارى به‌سبب همکاری در زمینه سنجش‌های آزمایشگاهی و آقای مهدی اسدی برای همکاری صمیمانه در مراحل اجرایی پروژه کمال تشکر و امتنان را داریم.

حامی / حامیان مالی

پژوهش حاضر مستخرج از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیولوژی ورزشی مصوب دانشگاه شاهد است و با هزینه شخصی انجام گرفته است.

- pathway. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2022;15(2):1–9. (In Persian)
13. Salimi Avansar M. Effect of HIIT training on the Levels of Omentin-1 and Body composition characteristics in Sedentary Obese Men. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2017;10(2):59–68. (In Persian)
 14. Townsend LK, Islam H, Dunn E, Eys M, Robertson-Wilson J, Hazell TJ. Modified sprint interval training protocols. Part II. Psychological responses. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2017;42(4):347–53.
 15. Zelt JGE, Hankinson PB, Foster WS, Williams CB, Reynolds J, Garneys E, et al. Reducing the volume of sprint interval training does not diminish maximal and submaximal performance gains in healthy men. *Eur J Appl Physiol*. 2014;114(11):2427–36.
 16. Abbasi B, Samadi A, Bazgir B. The combined effect of high-intensity interval training and intermittent fasting on lipid profile and peroxidation in Wistar rats under high-fat diet. *Sport Sci Health*. 2020;16(4):645–52.
 17. Asadi M, Rahmani M, Samadi A, Kalantari Hesari A. Acetylsalicylic acid-induced alterations in male reproductive parameters in Wistar rats and the effect of sprint interval training. *Andrologia*. 2022;54(3):e14339.
 18. McCord JM, Fridovich I. Superoxide Dismutase. *J Biol Chem*. 1969;244(22):6049–55.
 19. Ahmadvand H, Dehnoo MG, Cheraghi R, Rasoulilian B, Ezatpour B, Azadpour M, et al. Amelioration of altered serum, liver, and kidney antioxidant enzymes activities by sodium selenite in alloxan-induced diabetic rats. *Reports Biochem Mol Biol*. 2014;3(1):14.
 20. Koracevic D, Koracevic G, Djordjevic V, Andrejevic S, Cosic V. Method for the measurement of antioxidant activity in human fluids. *J Clin Pathol*. 2001;54(5):356–61.
 21. Lowry O, Rosebrough N, Farr AL, Randall R. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem*. 1951;193(1):265–75.
 22. Józków P, Rossato M. The Impact of Intense Exercise on Semen Quality. *Am J Mens Health*. 2017;11(3):654–62.
 23. Vaamonde D, Garcia-Manso JM, Hackney AC. Impact of physical activity and exercise on male reproductive potential: a new assessment questionnaire. *Rev Andaluz Med del Deport*. 2017;10(2):79–93.
 24. Manna I, Jana K, Samanta PK. Effect of different intensities of swimming exercise on testicular oxidative stress and reproductive dysfunction in mature male albino Wistar rats. *Indian J Exp Biol*. 2004;42(8):816–22.
 25. A. Saremi, S. Changizi Ashtiyani AK. The combination of vitamin E supplementation and intensive exercise on testicular oxidative stress and spermatogenesis in male rats. *Sport Physiol*. 2014;23:43–54.
 26. Bónfi B, Molnár G, Maturana A, Steger K, Hegedűs B, Demareux N, et al. A Ca²⁺-activated NADPH Oxidase in Testis, Spleen, and Lymph Nodes. *J Biol Chem*. 2001;276(40):37594–601.
 27. Zangar RC, Davydov DR, Verma S. Mechanisms that regulate production of reactive oxygen species by cytochrome P450. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2004;199(3):316–31.
 28. Kaur P, Kaur G, Bansal MP. Tertiary-butyl hydroperoxide induced oxidative stress and male reproductive activity in mice: role of transcription factor NF-kappaB and testicular antioxidant enzymes. *Reprod Toxicol*. 2006;22(3):479–84.
 29. Aitken RJ, Roman SD. Antioxidant systems and oxidative stress in the testes. *Oxid Med Cell Longev*. 2008;1(1):15.
 30. Fraczek M, Kurpisz M. Mechanisms of the harmful effects of bacterial semen infection on ejaculated human spermatozoa: potential inflammatory markers in semen. *Folia Histochem Cytobiol*. 2015;53(3):201–17.
 31. Fraczek M, Kurpisz M. Cytokines in the male reproductive tract and their role in infertility disorders. *J Reprod Immunol*. 2015;108:98–104.
 32. Fraczek M, Sanocka D, Kamieniczna M, Kurpisz M. Proinflammatory Cytokines as an Intermediate Factor Enhancing Lipid Sperm Membrane Peroxidation in In Vitro Conditions. *J Androl*. 2008;29(1):85–92.
 33. Maleki BH, Tartibian B. High-Intensity Exercise Training for Improving Reproductive Function in Infertile Patients: A Randomized Controlled Trial. *J Obstet Gynaecol Canada*. 2017;39(7):545–58.
 34. Hajizadeh Maleki B, Tartibian B, Chehrizi M. The effects of three different exercise modalities on markers of male reproduction in healthy subjects: a randomized controlled trial. *Reproduction*. 2017;153(2):157–74.
 35. ABBAS S, AMIN M. INFLUENCE OF SWIMMING EXERCISE TRAINING ON SEMEN QUALITY AND OXIDATIVE STRESS STATUS OF THE TESTIS IN OBESE MALE RATS. 2015;3(6):65–73.
 36. Gomes EC, Silva AN, Oliveira MR de.

- Oxidants, Antioxidants, and the Beneficial Roles of Exercise-Induced Production of Reactive Species. *Oxid Med Cell Longev*. 2012;2012:1–12.
37. Maleki BH, Tartibian B. High-Intensity Exercise Training for Improving Reproductive Function in Infertile Patients: A Randomized Controlled Trial. *J Obstet Gynaecol Canada*. 2017;39(7):545–58.
38. Meilhac O, Ramachandran S, Chiang K, Santanam N, Parthasarathy S. Role of Arterial Wall Antioxidant Defense in Beneficial Effects of Exercise on Atherosclerosis in Mice. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2001;21(10):1681–8.
39. Kang C, O'Moore KM, Dickman JR, Ji LL. Exercise activation of muscle peroxisome proliferator-activated receptor- γ co-activator-1 α signaling is redox sensitive. *Free Radic Biol Med*. 2009;47(10):1394–400.
40. Li G. The Positive and Negative Aspects of Reactive Oxygen Species in Sports Performance. In: *Current Issues in Sports and Exercise Medicine*. IntechOpen; 2013. p. 224–50.

Original Article

A comparison of 1- repetition maximum and the number of repetitions until exhaustion during a squat movement based on two and three critical power components modeling in trained womenHedyeh Khademi^{ORCID}, Mohamad Fashi*^{ORCID}

Department of Biological Sciences in Sports and Health, Faculty of Sports and Health Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: Resistance training is popular among general population of athletes for increasing muscular strength as well as cardiorespiratory and metabolic fitness and increasing or preserving the capacity to produce power. These benefits are important to the health of the general population as well as preventing injuries elite and recreational athletes. The ‘Critical Power’ (CP) concept exemplifies the link between fatigue or exhaustion and performance, and has been used as a means to prescribe efficient training programs and monitor progress. The present study aimed to compare 1- repetition maximum and the number of repetitions until exhaustion for squat exercise based on two and three critical power components modeling in trained women.

Materials and Methods: Seven trained women (age, 20.11 ± 1.15 years; body mass index, 19.6 ± 0.93 kg/m²) performed six sets of barbell squats at different intensities based on the percentages of 1-repetition maximum, in six separate days with at least 24 hours rest. The weights were selected in a way that the activity lasted for 3-12 minutes. Total activity time to exhaustion and movement tempo was controlled by using a stopwatch and distance was estimated by using Kinovea software.

Results: A linear two-parameter model of CP was accurately able to model exhaustive squatting data based on the plotting total work accomplished versus time-to-exhaustion ($r^2=0.89 \pm 0.09$) and paired samples t-tests demonstrated that the actual number of repetitions to failure was not different from the predicted values ($P>0.05$). The hyperbolic three-parameter model of CP was also able to model these data based on plotting time-to-exhaustion against total output power ($r^2=0.90 \pm 0.06$) and there was also no significant difference between the actual number of repetitions to failure and those predicted by this model ($P>0.05$). There was no significant difference between the predicted values of 1-repetition maximum based on hyperbolic modeling and the values measured using the Brzycki method ($P<0.05$). However, the two-component linear model was not able to predict this variable ($P<0.05$).

Conclusion: The two-component linear and three-component hyperbolic models can be generalized to the squat exercise to exhaustion. These models also have a high ability to predict the number of repetitions to the exhaustion in squat exercise. However, 1-repetition maximum was predictable only with the hyperbolic three-component model.

Keywords: Resistance Training, Critical Power, Energy Storage Component, Critical Resistance, Exhaustion

How to cite this article: Khademi H, Fashi M. A comparison of 1- repetition maximum and the number of repetitions until exhaustion during squat exercise based on two and three critical power components modeling in trained women. *J Sport Exerc Physiol.* 2023; 16(2): 58-66.

*Corresponding Author's E-mail: m_fashi@sbu.ac.ir
<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103564>

Received: 19/02/2023

Revised: 20/04/2023

Accepted: 24/04/2023



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

مقایسه یک تکرار بیشینه و تعداد تکرارهای تا حد واماندگی در حرکت اسکوات بر اساس الگوسازی دو و سه مؤلفه‌ای توان بحرانی در زنان تمرین‌کرده

هدیه خادمی^۱، محمد فشی*^۲

گروه علوم زیستی ورزش و تندرستی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: در سال‌های گذشته تمرین مقاومتی و فعالیت‌های با وزنه به دلیل تأثیرات مفید و انکارناپذیر آن در بهبود قدرت و حفظ و افزایش توده عضلانی، سازگاری‌های مثبت در دستگاه‌های گوناگون بدن اعم از دستگاه قلبی-عروقی و عصبی-عضلانی و دیگر سازگاری‌های سوخت‌وسازی شایان توجه و در نهایت پیشگیری از آسیب‌های مرتبط با ورزش‌های تفریحی و حرفه‌ای، محبوبیت بسیاری در بین اقشار گوناگون جامعه شامل افراد سالم و بیمار و همچنین ورزشکاران تفریحی و نخبه کسب کرده است. همچنین مفهوم توان بحرانی چارچوب بسیار مفید و کاربردی را به منظور درک مفهوم خستگی و سازوکارهای مرتبط با آن و متعاقباً، بهبود کیفیت برنامه‌های تمرینی و پایش پیشرفت ورزشکاران، فراهم می‌آورد. با توجه به اینکه الگوسازی در این مفهوم از دو روش دو مؤلفه‌ای و سه مؤلفه‌ای انجام می‌پذیرد، هدف پژوهش حاضر مقایسه تأثیر یک تکرار بیشینه و تکرارهای تا واماندگی حرکت اسکوات بر اساس الگوسازی دو و سه مؤلفه‌ای توان بحرانی در زنان تمرین‌کرده بود.

مواد و روش‌ها: به این منظور هفت نفر از زنان تمرین‌کرده (سن ۲۰/۱۱±۱/۱۵ سال، شاخص توده بدن ۱۹/۶±۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمربع) در شش روز جداگانه به صورت تصادفی، شش وهله حرکت اسکوات با هالتر تا واماندگی در شدت‌های گوناگون بر اساس درصدی از یک تکرار بیشینه، با دست‌کم ۲۴ ساعت استراحت را انجام دادند. وزنه‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که زمان فعالیت حدود ۳-۱۲ دقیقه طول بکشد. کل زمان فعالیت تا واماندگی و آهنگ حرکت با استفاده از زمان سنج کنترل و مسافت با استفاده از نرم‌افزار کینوا برآورد شد.

نتایج: مقدار کار انجام‌گرفته در هر وهله فعالیت تا واماندگی (حاصل ضرب میزان وزنه جابه‌جاشده در میزان مسافت طی شده توسط هالتر تا واماندگی) در مقابل مدت زمان کل فعالیت تا واماندگی با دقت زیادی (۰/۰۹±) بر اساس الگوی خطی دو مؤلفه‌ای توان بحرانی، الگوسازی شد و بین مقادیر تعداد تکرارهای تا واماندگی پیش‌بینی شده بر اساس این الگو و مقادیر اندازه‌گیری شده تفاوت معناداری وجود نداشت (P>۰/۰۵). همچنین توان تولیدشده (حاصل تقسیم کل کار انجام‌گرفته در هر وهله بر کل زمان فعالیت تا واماندگی) در مقابل کل زمان فعالیت تا واماندگی با دقت زیادی (۰/۰۶±) بر اساس الگوی هذلولی سه مؤلفه‌ای توان بحرانی الگوسازی شد و بین مقادیر تعداد تکرارهای تا واماندگی پیش‌بینی شده بر اساس این الگو و مقادیر اندازه‌گیری شده تفاوت معناداری وجود نداشت (P>۰/۰۵). بین مقادیر پیش‌بینی شده برای یک تکرار بیشینه بر اساس الگوسازی هذلولی و مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از روش Brzycki تفاوت معناداری وجود نداشت (P>۰/۰۵)، هرچند الگوی خطی دو مؤلفه‌ای قادر به پیش‌بینی این متغیر نبود (P<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: الگوی خطی دو مؤلفه‌ای و هذلولی سه مؤلفه‌ای قابلیت تعمیم به حرکت اسکوات تا واماندگی را دارند. همچنین این الگوها قابلیت زیادی در پیش‌بینی تعداد تکرار تا واماندگی حرکت اسکوات دارند، اگرچه یک تکرار بیشینه تنها با الگوی هذلولی سه مؤلفه‌ای قابل پیش‌بینی بود.

واژه‌های کلیدی: تمرین مقاومتی، توان بحرانی، مؤلفه ذخیره انرژی، مقاومت بحرانی، واماندگی

نحوه استناد به این مقاله: خادمی ه، فشی م. مقایسه یک تکرار بیشینه و تعداد تکرارهای تا حد واماندگی در حرکت اسکوات بر اساس الگوسازی دو و سه مؤلفه‌ای توان بحرانی در زنان تمرین‌کرده. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۵۸-۶۶.

* رایانامه نویسنده مسئول: m.fashi@sbu.ac.ir

مقدمه

فعالیت‌هایی که در آن‌ها عضلات بدن درگیرند (دویدن، دوچرخه‌سواری، قایقرانی و شنا) و فعالیت‌های تک‌عضله یا تک‌مفصله (حرکات دو سربازو، جلو پا، پشت پا و دیگر حرکات بدنسازی) دارد (۷، ۸). این شاخص می‌تواند در پیش‌بینی عملکرد در تمرینات با شدت بالا، ارزیابی آمادگی جسمانی و تجویز برنامه‌های تمرینی بسیار مفید واقع شود (۶). جونز و همکاران (۲۰۱۰) قابلیت پیش‌بینی اکسیژن مصرفی بیشینه و تحمل تمرین به‌وسیله توان بحرانی را نشان دادند (۸). در پژوهش لیزنکو و همکاران (۲۰۰۹) توان بحرانی برای ارزیابی آمادگی هوازی و بی‌هوازی بازیکنان بسکتبال استفاده شد (۹). در دوچرخه‌سواران نیز توان بحرانی به‌عنوان یک آزمون عملکردی و پیش‌بینی‌کننده ظرفیت هوازی و بی‌هوازی بسیار مورد توجه است (۱۰).

پژوهش‌های بسیار محدودی در خصوص تعمیم مفهوم توان بحرانی به تمرینات مقاومتی انجام گرفته است (۸، ۱۱، ۱۲). مورتون و همکاران (۱۳) با رسم نمودار کار انجام‌گرفته (حاصل ضرب میزان وزنه در تعداد تکرارهای انجام‌گرفته تا واماندگی) در مقابل تعداد تکرارهای تا واماندگی در چهار وهله فعالیت با میزان وزنه‌های متفاوت، بر اساس الگوی هذلولی توان بحرانی توانستند میزان مقاومت بحرانی مقدار مقاومتی را که فرد می‌تواند آن را برای تعداد نامحدود تکرار کند، برای حرکت پرس سینه برآورد کنند. مقدار این پارامتر برای ۱۲ نفر از کل گروه ۱۶ نفره آزمون صفر یا بسیار نزدیک به صفر برآورد شد که بیانگر عدم مشارکت دستگاه انرژی هوازی در انجام وهله‌های آزمون بود. با توجه به اینکه بر اساس نتایج تعدادی از تحقیقات (۱۴، ۱۵) الگوی هذلولی توان بحرانی در مقایسه با الگوی خطی آن مقدار این متغیر را در فعالیت‌هایی مانند دویدن و دوچرخه‌سواری اندکی کمتر از مقدار واقعی آن برآورد می‌کند، برگستروم و همکاران به‌منظور برآورد مقاومت بحرانی در مقادیر بالاتر از صفر و تفسیر فیزیولوژیک این متغیر در تمرینات مقاومتی از الگوی خطی توان بحرانی در حرکت لیفت مرده استفاده کردند. آن‌ها با رسم کار انجام‌گرفته (حاصل ضرب میزان وزنه در تعداد تکرارهای تا واماندگی در مسافت طی‌شده توسط وزنه در یک تکرار) در مقابل کل مسافت طی‌شده توسط وزنه، همان‌طورکه پیش‌بینی می‌شد، مقدار مقاومت بحرانی را برای همه آزمودنی‌ها بالاتر از صفر برآورد کردند (۱۶).

فیزیولوژیست‌ها و دانشمندان حیطه علوم ورزشی همواره در جست‌وجوی رابطه بین عملکرد ورزشی و گسترش خستگی بوده‌اند. با اینکه شاخص‌هایی مانند آستانه لاکتات و آستانه تبادل گازی همواره به درک بهتر این مسئله کمک کرده‌اند (۱)، شناسایی شاخصی که بتواند به‌طور دقیق‌تر میزان عملکرد و زمان رسیدن تا خستگی در شدت‌های گوناگون تمرین را پیش‌بینی کند، ضروری به نظر می‌رسد (۲). رابطه بین عملکرد و زمان رسیدن تا خستگی در سال‌های اخیر تحت عنوان مفهومی به نام توان بحرانی توصیف شده است. توان بحرانی (CP) از نظر ریاضی به‌عنوان رابطه هذلولی بین توان خروجی و زمان تا پایان فعالیت تعریف می‌شود که الگوهای دو و سه‌پارامتری را در برمی‌گیرد. الگوی دوپارامتری توان بحرانی در ابتدا به‌عنوان شیب نمودار بین کل کار انجام‌گرفته در مقابل زمان تا واماندگی برای سه تا هفت یا بیشتر وهله فعالیت در شدت‌های گوناگون فعالیت مطرح شد (۳). به‌طور ویژه اگر زمان تا واماندگی در فعالیت‌های با شدت بالا و ثابت در مقابل توان خروجی رسم شود، منحنی هذلولی‌واری تولید خواهد شد که در آن زمان تا واماندگی با دقت و کیفیت بسیار زیادی قابل پیش‌بینی است. از نظر ریاضی رابطه توان-زمان با معادله $t = W' / (P - CP)$ شامل دو متغیر به شرح زیر است: مجانب توان که تحت عنوان توان بحرانی (CP) شناخته می‌شود و ثابت منحنی که مؤلفه ذخیره انرژی (W') است، که بر حسب ژول اندازه‌گیری می‌شود (۴).

از دیدگاه نظری، توان بحرانی شدتی از تمرین است که فرد می‌تواند آن را برای مدت زمان نامحدودی بدون خستگی تحمل کند (۲) و بیانگر مقدار کل کاری است که فرد می‌تواند با استفاده از ذخایر انرژی درون عضله (شامل کراتین فسفات، اکسیژن چسبیده به میوگلوبین، ATP و گلیکوزن درون عضلانی) انجام دهد. این ویژگی در ورزش‌هایی مانند بسکتبال، هندبال و راگبی که وهله‌های تناوبی شدید را شامل می‌شوند، اهمیت پیدا می‌کند (۵). توان بحرانی متمایزکننده مرز بین فعالیت سنگین (پایداری محیط سوخت‌وسازی درون سلولی و اکسیژن مصرفی و لاکتات خون) از فعالیت شدید (کاهش فسفوکراتین، افزایش فسفات آلی و لاکتات، افزایش مصرف اکسیژن درون عضلانی و اکسیژن ریوی) است (۶). این مفهوم کاربردهای بسیار زیادی در دامنه وسیعی از

در هر دوی این پژوهش‌ها مقاومت بحرانی به عنوان جایگزینی برای توان بحرانی در نظر گرفته شده است. بر اساس تعریف فیزیکی کار (ژول) به صورت حاصل ضرب نیروی وارد شده در میزان جابه‌جایی شیء توسط آن نیرو و توان (وات) به صورت آهنگ انجام کار تعریف می‌شود. افزون بر این نیرو (نیوتن) حاصل ضرب میزان وزنه در شتاب است (۱۷). بنابراین اگر میزان وزنه مشخصی در زمان مشخص و در میزان مسافت مشخص جابه‌جا شود، متعاقباً میزان کار و میزان توان مشخصی تولید خواهد شد که به صورت ریاضی کاملاً قابل محاسبه است. در نتیجه در صورت وجود چند وهله فعالیت با میزان وزنه‌های متفاوت، مقدار توان بحرانی و مقدار مقاومت بحرانی متناظر با آن قابل محاسبه خواهد بود (۶). طبق تعاریف پایه‌ای فیزیک، اگر نیرو ($F=mg$) برابر با حاصل ضرب جرم (m) در شتاب جاذبه (g)، کار (W) برابر با حاصل ضرب نیروی وارد شده در میزان جابه‌جایی انجام‌گرفته توسط آن نیرو (d) و توان تولیدی (P) برابر با حاصل تقسیم کار انجام‌گرفته به واحد زمان (t) باشد، هنگام جابه‌جا کردن یک وزنه مشخص (m) بر حسب کیلوگرم در مسافت مشخص (d) بر حسب متر در تمرینات مقاومتی، میزان مشخصی از کار ($W=m.d$) بر حسب کیلوگرم متر و توان ($P=m.d.t^{-1}$) بر حسب کیلوگرم متر بر ثانیه تولید خواهد شد. بنابراین می‌توان با محاسبه توان بحرانی در این حالت، میزان مقاومت بحرانی متناظر با آن را حساب کرد و در این حالت توان بحرانی تابعی از مقاومت بحرانی خواهد بود. از طرفی مفهوم CP تاکنون نوعاً برای بررسی عملکرد در فعالیت‌هایی که کمتر از ۱-۲ دقیقه طول می‌کشند، به دلیل محدود شدن توانایی تولید توان آنی و عملکرد انقباضی، استفاده نشده است. با بررسی پیشینه، تاکنون مطالعه‌ای مفهوم توان بحرانی را به عنوان تابعی از مقاومت بحرانی در تمرینات مقاومتی با محاسبه مسافت طی‌شده وزنه بررسی نکرده است. بنابراین هدف تحقیق حاضر تعمیم مفهوم توان بحرانی به عنوان تابعی از مقاومت بحرانی به تمرین مقاومتی بر اساس الگوی خطی و هذلولی توان بحرانی در حرکت اسکوات در زنان با سابقه تمرین مقاومتی است.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: هفت نفر از آمودنی‌های زن با سابقه تمرین مقاومتی (سن 20.11 ± 1.15 سال، وزن

60.4 ± 4.7 کیلوگرم، قد 163.16 ± 4.42 سانتی‌متر و شاخص توده بدن 19.6 ± 0.93 کیلوگرم بر مترمربع) برای این تحقیق داوطلب شدند. همه افراد سه بار در هفته و دست‌کم یک سال پیش از شروع جمع‌آوری اطلاعات آزمون سابقه تمرین مقاومتی داشتند و حرکت اسکوات را دست‌کم یک بار در طول ماه گذشته انجام داده بودند. آمودنی‌های با هرگونه سابقه بیماری‌های ریوی، قلبی-عروقی، سوخت‌وسازی و عضلانی-اسکلتی از تحقیق خارج شدند. پیش از شروع تحقیق همه آمودنی‌ها از تمامی خطرهای احتمالی آزمون مطلع شدند و رضایت‌نامه کتبی مبنی بر شرکت داوطلبانه در آزمون را امضا کردند. همچنین روند مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه شهید بهشتی تأیید شد (کد اخلاق: IR.SBU.REC.1398.050).

روش اجرای پژوهش: این تحقیق شامل یک جلسه آشنایی با شرایط آزمون، یک جلسه حضور در سالن بدنسازی باشگاه دانشکده علوم ورزشی دانشگاه شهید بهشتی و شش جلسه حضور در آزمایشگاه فیزیولوژی این دانشکده بود. همه جلسات با فاصله زمانی دست‌کم ۲۴ ساعت برگزار شدند. در جلسه آشنایی در سالن بدنسازی همه شرایط و ضوابط آزمون شامل نحوه صحیح اجرای حرکت اسکوات، روند اجرای حرکت، گرم کردن و ... به آمودنی‌ها توضیح داده شد. جلسه اول در سالن بدنسازی شامل اجرای آزمون یک تکرار بیشینه (IRM) به روش برزسکی و شش جلسه بعدی شامل اجرای حرکت اسکوات تا واماندگی، در میزان وزنه‌های گوناگون به صورت تصادفی بر اساس IRM اندازه‌گیری شده از آمودنی‌ها بود.

یک تکرار بیشینه: آزمون یک تکرار بیشینه برای تعیین میزان مقاومت‌ها در جلسات بعدی آزمون بر اساس توانایی خود افراد اجرا شد. آمودنی‌ها پیش از شروع آزمون گرم کردن استاندارد شامل پنج دقیقه دوچرخه‌سواری و ۱۵ تکرار با مقاومت ۱۰ تکرار بیشینه تقریبی خودشان اجرا کردند. در همه جلسات از هالتر استاندارد ۱۲ کیلوگرمی استفاده شد. برای برآورد یک تکرار بیشینه به روش Brzycki مقدار وزنه‌ای انتخاب شد که آمودنی‌ها بتوانند آن را کمتر از ۱۰ بار بلند کنند و مقدار IRM با استفاده از فرمول برزسکی برآورد شد (۱۶). هالتر بر پایین‌ترین بخش کردن و روی عضله دلتوئید خلفی قرار گرفت. فاصله بین پاها تقریباً برابر با عرض شانه و پنجه پاها کمی متمایل به خارج بود. یک تکرار قابل

بحرانی می‌تواند بر اساس فرمول $CR=(CP)\div(d\div t)$ قابل محاسبه باشد. با اینکه ما مقدار دقیق مسافت و زمانی را که توان بحرانی در آن اتفاق می‌افتد، نداریم، می‌توانیم از مقدار میانگین آن‌ها برای هر تکرار استفاده کنیم، زیرا در نهایت نسبت آن‌ها در هر نقطه عدد ثابتی است. مقدار W با استفاده از مقدار توان بحرانی و ظرفیت کار بی‌هوازی برآوردی و زمان‌های واقعی از طریق فرمول $W=CP\times actual\ t + AWC$ و در نهایت مقدار مسافت و تعداد تکرارهای تا واماندگی با استفاده‌های از فرمول‌های زیر برآورد می‌شود:

$$d = \frac{W}{actual\ m}$$

$$n = \frac{Predicted\ d}{average\ of\ d\ for\ each\ rep}$$

برآورد مقاومت بحرانی و پیش‌بینی تکرارهای تا واماندگی با استفاده از الگو هذلولی توان بحرانی: مقدار توان بحرانی و ظرفیت کار بی‌هوازی با رسم زمان در مقابل میزان توان تولیدشده بر اساس الگو هذلولی توان بحرانی برآورد شد (۱۹). مقدار P, CR, n بر اساس روش محاسباتی توضیح داده شده در بخش قبل و با استفاده از فرمول‌های زیر برآورد شد:

$$CR = \frac{CP}{d/t}$$

$$P = \frac{AWC}{Actual\ t + CP} - k$$

$$d = \frac{Predicted\ p \times actual\ t}{actual\ m}$$

$$n = \frac{predicted\ d}{Average\ of\ d\ for\ each\ rep}$$

تحلیل آماری: نتایج با استفاده از میانگین و انحراف معیار به صورت خلاصه بیان شدند. همه نمودارهای خطی با استفاده از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۶ تولید شدند که میزان همخوانی رگرسیون با داده‌ها با عدد r^2 نشان داده شد. تحلیل اطلاعات آماری با استفاده از SPSS software

قبول شامل حرکت از حالت ایستاده به سمت خم شدن زانو و لگن تا جایی که ران موازی با زمین گردد و برگشت به حالت ایستاده تعریف شد.

تکرارهای تا واماندگی: هر آزمودنی شش وهله فعالیت تا واماندگی را در مقاومت‌های گوناگون به صورت تصادفی با فاصله دست‌کم ۲۴ ساعت به پایان رسانید. مقاومت‌ها در هر جلسه طوری انتخاب شدند که کل مدت زمان فعالیت بین ۳ تا ۱۲ دقیقه طول بکشد. به عبارت دیگر درصدی از یک تکرار بیشینه برای هر آزمودنی انتخاب شد که بتواند در بازه زمانی مشخص شده حرکت را تکرار کند (۱۸). همه وهله‌های فعالیت توسط آزمودنی‌ها تا وقوع واماندگی کامل اجرا شدند و آهنگ حرکت اسکوات در همه تکرارها به میزان $1/3$ ثانیه در مرحله درون‌گرا و $1/3$ ثانیه در مرحله برون‌گرا بود. پیش از شروع هر وهله آزمودنی‌ها گرم کردن استاندارد مشابه آنچه در جلسه آزمون یک تکرار بیشینه توصیف شد را اجرا کردند. برای اندازه‌گیری مسافت طی شده توسط هالتر کل حرکت با دوربین فیلم‌برداری ضبط شد و مسافت طی شده با استفاده از نرم‌افزار تحلیل حرکت Kinova 0.8.15 برآورد شد. افزون بر این زمان کل فعالیت با مترونوم اندازه‌گیری و تعداد کل تکرارهای تا واماندگی شمارش شد.

برآورد توان و مقاومت بحرانی: توان بحرانی با استفاده از دو الگوی خطی ($W=CP\times t+AWC$) و هذلولی $t=(AWC\div(P+CP))-k$ برآورد شد. W (kg.m) (کل کار انجام‌گرفته) برابر با حاصل ضرب d (m) (کل مسافت طی شده با هالتر که با استفاده از نرم‌افزار تحلیل حرکت محاسبه شد) در m (kg) (کل وزنه جابه‌جاشده شامل وزن هالتر به همراه وزنه‌های متصل به آن، از تبدیل جرم به نیرو به وسیله ضرب میزان وزنه در شتاب $g=9.81\ m/s^2$ به دلیل تأثیر خنثی در محاسبات نهایی صرف نظر شده است) و P (watt) حاصل ضرب W در t (s) (کل زمان فعالیت تا واماندگی) است.

برآورد مقاومت بحرانی و پیش‌بینی تکرارهای تا واماندگی با استفاده از الگوی خطی توان بحرانی: مقدار توان بحرانی و ظرفیت کار بی‌هوازی با رسم میزان کار انجام‌گرفته در مقابل زمان تا واماندگی بر اساس الگوی خطی توان بحرانی در نرم‌افزار اکسل محاسبه شد. همان‌طور که توضیح داده شد $P=W\div t$ و $P=W\times d$ است. با جایگزینی W در فرمول توان $P=(m\times d)\div t$ مقدار مقاومت

نتایج (IBM SPSS Inc, Chicago, IL, USA ;23.0) انجام گرفت

و به منظور بررسی تفاوت بین مقادیر برآوردی تعداد تکرارهای تا واماندگی بر اساس الگوی خطی و الگوی هذلولی با مقادیر واقعی از آزمون تی وابسته برای هر الگو استفاده شد. همه عملیات آماری در سطح آلفای کمتر از ۰/۰۵ بررسی شد.

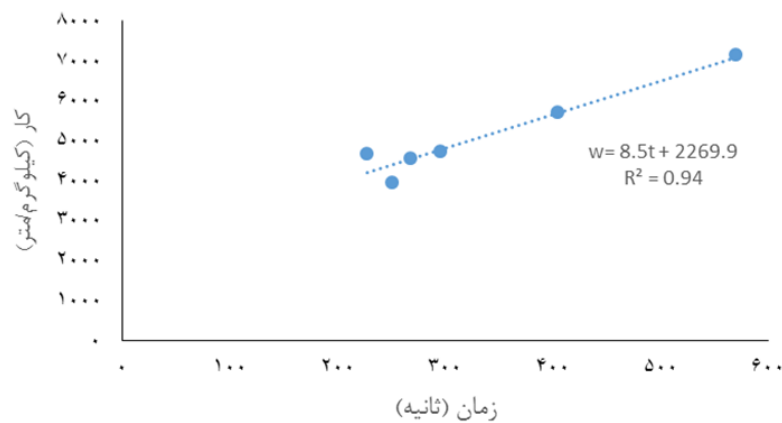
عملکرد آزمودنی‌ها در حرکت اسکوات: میانگین و انحراف استاندارد یک تکرار بیشینه همه آزمودنی‌ها برابر با $۸/۶۵ \pm ۶۸/۱۳$ کیلوگرم بود. خلاصه‌ای از عملکرد آزمودنی‌ها در حرکت اسکوات در جدول ۱ شامل میانگین و انحراف استاندارد مقدار مقاومت‌ها، مسافت طی شده توسط هالتر، کل زمان سپری شده، تعداد تکرارهای تا واماندگی و درصد IRM که آزمودنی‌ها در آن به فعالیت پرداخته‌اند، آورده شده است.

جدول ۱. عملکرد آزمودنی‌ها در حرکت اسکوات

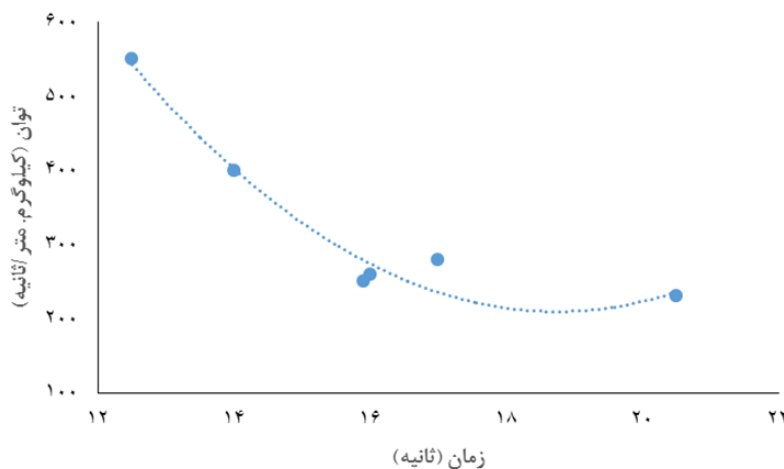
وزنه (kg)	مسافت پیموده شده (m)	زمان (s)	تعداد تکرارهای تا واماندگی	درصد یک تکرار بیشینه (%)
۲۶/۵۲±۵/۴	۳۱۶/۷۴±۱۰۵/۸۲	۴۹۰/۶۵±۱۳۰/۱	۱۸۹/۸۹±۵۹/۰۵	۳۹/۶۰±۷/۹۳

برآورد مقاومت بحرانی و پیش‌بینی تکرارهای تا واماندگی با استفاده از الگوی خطی و هذلولی توان بحرانی: شکل‌های ۱ و ۲ نشان‌دهنده نمونه‌ای از رگرسیون خطی

و هذلولی الگوسازی توان بحرانی براساس رسم به ترتیب مقادیر کل کار انجام گرفته و کل توان تولید شده در مقابل کل زمان سپری شده هستند.



شکل ۱. الگوسازی خطی توان بحرانی



شکل ۲. الگوسازی هذلولی توان بحرانی

همچنین اطلاعات استخراج شده از این نمودارها در جدول ۲ نشان داده شده است. تفاوت معناداری برای یک تکرار بیشینه حرکت اسکوات به وسیله الگوی هذلولی با روش برزسکی مشاهده نشد ($P=0/84$, $t=0/210$). هر دو الگوی خطی و هذلولی قابلیت بالایی در پیش بینی تعداد تکرار تا واماندگی حرکت اسکوات دارند (جدول ۲). یک تکرار بیشینه با استفاده از الگوی خطی قابل محاسبه نبود.

جدول ۲. پیش بینی یک تکرار بیشینه به وسیله الگوسازی خطی و هذلولی توان بحرانی

معادله	توان بحرانی	ظرفیت انجام کار بی هوای (kg.m)	مقاومت بحرانی (kg)	یک تکرار بیشینه واقعی (kg)	یک تکرار بیشینه پیش بینی شده (kg)	R ²
الگوسازی خطی	۸,۴۷	۲۲۶۹,۹	۱۲,۴۴	۶۸,۴	غیرقابل محاسبه*	۰,۹۴
الگوسازی هذلولی	۰,۱۲	۱۰۶۴۴,۹	۰,۱۸	۶۸,۴	۶۴,۵۴	۰,۸۳

* غیر قابل محاسبه

بحث و نتیجه گیری

اجرا کند، کل زمان تا واماندگی در هر وهله فعالیت برابر با $t(s)=60n/c$ خواهد بود. همچنین به دلیل ثابت بودن c می توان نتیجه گرفت t به طور مستقیم با n رابطه دارد. بر اساس مفروضات بالا می توان در معادله توان بحرانی $t=((AWC)\div(P-CP))+k$ متغیرهای m و n را به ترتیب جانشین متغیرهای P و t کرد که در این حالت معادله $n=((ARC)\div(m-CR))+K$ حاصل خواهد شد. مقدار d در این تحقیق برابر با طول بازوی فرد در حرکت پرس سینه فرض شده است که متفاوت با مفهوم d به معنای کل مسافت جابه جاشده (برای نمونه در شنا، دویدن، دوچرخه سواری و قایقرانی) است (۲۱). همچنین حتی با فرض اینکه کل مسافت پیموده شده توسط هالتر برابر با حاصل ضرب مقدار d به عنوان طول بازو در مقدار n به عنوان تعداد تکرارهای تا واماندگی باشد، نمی توان مقدار d را در همه تکرارها به ویژه در زمان خستگی یکسان در نظر گرفت. با استناد به همین توضیح مقدار c نیز در کل زمان فعالیت در هر وهله نمی تواند مقدار ثابتی باشد. در مرحله بعدی حتی اگر P و t به ترتیب فقط به m و n بستگی داشته باشند، جایگزین کردن مستقیم آن ها در معادله به لحاظ فیزیکی صحیح نیست. مورتون از معادله بالا برای پیش بینی مقدار تکرارهای تا واماندگی استفاده کرد که با در نظر گرفتن واحد متغیرها انتظار می رود حاصل کسر، متغیر مسافت (d) باشد (۱۳).

برگستروم و همکاران با استناد به یافته های این تحقیق که اولین مطالعه در زمینه تعمیم مفهوم توان بحرانی

پژوهش حاضر اولین تحقیقی بود که در آن کاربرد توان بحرانی به عنوان تابعی از مقاومت بحرانی در تمرین های مقاومتی بررسی می شد. در این تحقیق مقدار توان بحرانی استفاده از هر دو الگوی خطی و هذلولی برآورد شد که برای همه آزمودنی ها (به غیر از یک مورد در الگوی خطی) مقدار R^2 در دامنه $0/97-0/83$ قرار داشت که همسو با تحقیقات قبلی در زمینه اعتبار این الگو در ورزش های گوناگون بود (۱۶,۲۰). همچنین مقدار توان و مقاومت بحرانی برآوردی بر اساس الگوی هذلولی توان بحرانی برای همه آزمودنی ها نزدیک به صفر برآورد شد که مجدداً همسو با نتایج تحقیق مورتون و همکاران بود. معادله ای که در تحقیق مورتون و همکاران (۱۳) به منظور برآورد مقاومت بحرانی استفاده شده است، شامل مفروضاتی به شرح زیر بود:

آزمودنی در هر بار بالا بردن و پایین آوردن وزنه مقدار m (kg) را در مسافت d (m) در مقابل شتاب جاذبه g ($m.s^{-1}$) و آهنگ حرکت c ($\# \cdot \min^{-1}$) جابه جا می کند. کار و توان تولید شده در این حالت در هر دقیقه به ترتیب برابر با $W=m.d.g.c/60$ و $P=m.d.g.c$ خواهد بود.

به دلیل ثابت بودن مقدار g ، مقدار d (برابر با طول بازوی هر فرد در حرکت پرس سینه) و مقدار c ، توان تولیدی به طور مستقیم متناسب با میزان وزنه جابه جاشده (m) است.

اگر آزمودنی تعداد n تکرار را تا واماندگی در آهنگ c

توان خروجی یک عدد ملموس بر حسب وات است، قدری غیرمنطقی به نظر می‌رسد اگر این مقدار مطلق در نظر گرفته شود. همه روش‌های استاندارد و پذیرفته شده در برآورد توان بحرانی با مقداری خطا همراهند که خوشبختانه مقدار خطا در این پژوهش‌ها قابل برآورد است (برای نمونه خطای استاندارد یا بازه اطمینان ۹۵ درصد). همچنین اندکی تفاوت در میزان زمان تا واماندگی و توان بحرانی برآوردی از رابطه زمان-توان در افراد ثابت در روزهای گوناگون وجود دارد (۶). بنابراین بهتر است به جای نسبت دادن مقدار مطلق و واحدی به CP، یک بازه عددی (۵-۳٪) در نظر گرفته شود.

رویکرد دیگر در این تحقیق کیفیت پیش‌بینی مقدار IRM بر اساس این الگوها بود که همان‌طور که از نتایج مشخص است، الگوی خطی توان بحرانی به‌عنوان تابعی از مقاومت بحرانی در پیش‌بینی این کمیت ناموفق است و نتایج منطقی برای آن ارائه نمی‌دهد. درحالی‌که الگوی هذلولی در این تحقیق توانست مقدار نزدیک‌تری به IRM واقعی را در مقایسه با الگوی هذلولی تحقیق مورتون پیش‌بینی کند (۱۳).

با وجود نتایج ارزشمند، تعداد کم آزمودنی‌ها را می‌توان محدودیت پژوهش حاضر برشمرد که پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی به آن توجه شود.

این پژوهش اولین تحقیق در زمینه تعمیم مفهوم توان بحرانی به‌عنوان تابعی از مقاومت بحرانی به تمرین مقاومتی با استفاده از مقدار مسافت پیموده شده توسط هالتر بر اساس الگوهای خطی و هذلولی بود. نتایج این پژوهش نشان داد هر دو الگو در برآورد تکرارهای تا واماندگی موفق عمل کردند، با این تفاوت که الگوی هذلولی توان بحرانی به‌عنوان تابعی از مقاومت بحرانی در پیش‌بینی مقدار IRM بسیار بهتر بود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از شرکت آزمودنی‌ها در پژوهش حاضر کمال تشکر را دارند.

حامی / حامیان مالی

برای مقاله حاضر حامی مالی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان اول و دوم در طرح موضوع، طراحی مطالعه و بررسی تحقیقات مشارکت یکسان داشتند. نویسنده اول در جمع‌آوری داده‌ها، نوشتار مقاله و نویسنده دوم در ویرایش، اصلاح و ارسال مقاله نقش داشتند.

به تمرینات مقاومتی بود و بر اساس تحقیقات قبلی که حاکی از آن بود که الگوی هذلولی توان بحرانی مقدار مقاومت بحرانی را کمی کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد (۱۶)، تلاش کردند با استفاده از الگوی خطی مقدار توان بحرانی را در حرکت لیفت مرده برآورد کنند. در این تحقیق مقدار توان بحرانی برابر با شیب خط کل کار انجام شده (برابر با حاصل ضرب میزان مسافت پیموده شده در میزان وزنه جابه‌جاشده) در مقابل میزان مسافت پیموده شده بود. در این الگو مقدار مقاومت بحرانی از معادله $W(kg \cdot m) = CR(kg) \cdot d(m) + ARC(kg \cdot m)$ برآورد شد که از نظر فیزیکی همه واحدها در آن با یکدیگر مطابقت دارند، ولی مقدار تکرارهای تا واماندگی مجدداً با استناد به فرمول مشتق از تحقیق مورتون و همکاران پیش‌بینی شد (۱۳). در این معادله همان‌طور که ذکر شد، واحدها با یکدیگر همخوانی ندارند. افزون بر این در هر دوی این تحقیقات میزان وزنه در حدود ۵۰-۸۰ درصد مقدار IRM خود افراد بود، این میزان وزنه سبب می‌شود مقدار زمان فعالیت در هر وهله کوتاه باشد که در تناقض با تحقیقاتی است که در آن‌ها اکیداً توصیه شده برای برآورد مقدار دقیق‌تر CP بهتر است زمان وهله‌ها بین ۳-۱۰ دقیقه باشد (۴، ۲۲).

موضوعی که همیشه در حوزه توان بحرانی و به‌کارگیری این مفهوم در دامنه وسیع فعالیت‌های انسان و گونه‌های گوناگون دیگر مورد بحث است، اجرای فعالیت در شدت دقیقاً برابر با توان بحرانی به‌عنوان مرز متمایزکننده بین فعالیت سنگین و شدید است که در این حالت میزان تحمل شدت بسیار کمتر از فعالیت در توان خروجی کمتر از توان بحرانی است (۲۳). این بحث بنا به دو دلیل بر پایه تفسیر نادرست از مفهوم اولیه توان بحرانی است: دلیل مفهومی و بنیادی اول این است که الگوی دومؤلفه‌ای توان بحرانی $(t = W' / (P - CP))$ قادر به برآورد زمان تا واماندگی در شدت برابر با CP نیست (اگر $P = CP$ مخرج کسر برابر با صفر می‌شود و حاصل کسر از نظر ریاضی به بی‌نهایت میل می‌کند). بنابراین استفاده از این مفهوم در شدت فعالیت برابر با توان بحرانی قابل اعتماد نیست. دلیل دوم از منظر روش‌شناسی این بحث را به چالش می‌کشد که وقتی فعالیت در شدت توان بحرانی انجام گیرد، میزان خطای گریزناپذیر و غیرقابل برطرف شدن، در برآورد توان بحرانی در نظر گرفته نمی‌شود. وقتی یکی از مزایای رابطه زمان-

13. Morton RH, Redstone MD, Laing DJ. The critical power concept and bench press: Modeling 1RM and repetitions to failure. *International Journal of Exercise Science*. 2014;7(2):6.
14. Bull AJ, Housh TJ, Johnson GO, Rana SR. Physiological responses at five estimates of critical velocity. *European journal of applied physiology*. 2008;102(6):711-20.
15. Bull AJ, Housh TJ, Johnson GO, Perry SR. Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000;32(2):526-30.
16. Bergstrom HC, Housh TJ, Zuniga JM, Traylor DA, Lewis Jr RW, Camic CL, et al. Differences among estimates of critical power and anaerobic work capacity derived from five mathematical models and the three-minute all-out test. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2014;28(3):592-600.
17. Gaesser GA, Carnevale TJ, Garfinkel A, Walter DO, Womack CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Medicine and science in sports and exercise*. 1995;27(10):1430-8.
18. Dinyer TK, Byrd MT, Vesotsky AN, Succi PJ, Bergstrom HC. Applying the critical power model to a full-body resistance-training movement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2019;14(10):1364-70.
19. Muniz-Pumares D, Karsten B, Triska C, Glaister M. Methodological approaches and related challenges associated with the determination of critical power and curvature constant. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2019;33(2):584-96.
20. Jenkins DG, Quigley BM. The influence of high-intensity exercise training on the Wlim-Tlim relationship. *Medicine and science in sports and exercise*. 1993;25(2):275-82.
21. Wakayoshi K, Ikuta K, Yoshida T, Udo M, Moritani T, Mutoh Y, et al. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1992;64(2):153-7.
22. Vanhatalo A, Doust JH, Burnley M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Medicine and science in sports and exercise*. 2007;39(3):548-55.
23. Ruiz-Alias SA, Olaya-Cuartero J, Nancupil-Andrade AA, García-Pinillos F. 9/3-Minute Running Critical Power Test: Mechanical Threshold Location With Respect to Ventilatory Thresholds and Maximum Oxygen Uptake. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2022;1(aop):1-8.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع برای نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Haji Agha Bozorgi H, Rajabi H, Barzegarpour HR, Fayyaz Milani R. The effect of simultaneous submaximal physical exercise and mental exertion on fatigue indices in active men. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2021;14(2):1-10. (In Persian)
2. Hozourri T, Fashi M, Hasanloei Ha. The effect of four weeks of polarized training on aerobic fitness and performance of professional rowers. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2022;15(4):31-41. (In Persian)
3. Dotan R. A critical review of critical power. *European Journal of Applied Physiology*. 2022:1-30.
4. Hill DW, Poole DC, Smith JC. The relationship between power and the time to achieve $VO_{2\sim} 2\sim m\sim a\sim x$. *Medicine and science in sports and exercise*. 2002;34(4):709-14.
5. Jones AM, Vanhatalo A. The 'critical power' concept: applications to sports performance with a focus on intermittent high-intensity exercise. *Sports Medicine*. 2017;47:65-78.
6. Craig JC, Vanhatalo A, Burnley M, Jones AM, Poole DC. Critical power: possibly the most important fatigue threshold in exercise physiology. *Muscle and exercise physiology: Elsevier*; 2019. p. 159-81.
7. Burnley M. Estimation of critical torque using intermittent isometric maximal voluntary contractions of the quadriceps in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2009;106(3):975-83.
8. Jones AM, Vanhatalo A, Burnley M, Morton RH, Poole DC. Critical power: implications for determination of $VO_{2\max}$ and exercise tolerance. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(10):1876-90.
9. Lysenko O. The features of functional capabilities of elite basketball players related to game function. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*. 2009;1(1):42.
10. Clark B, Macdermid PW. A comparative analysis of critical power models in elite road cyclists. *Current Research in Physiology*. 2021;4:139-44.
11. Skorski S, Schimpchen J, Pfeiffer M, Ferrauti A, Kellmann M, Meyer T. Effects of postexercise sauna bathing on recovery of swim performance. *International journal of sports physiology and performance*. 2019;15(7):934-40.
12. Karsten B, Petrigna L, Klose A, Bianco A, Townsend N, Triska C. Relationship between the critical power test and a 20-min functional threshold power test in cycling. *Frontiers in physiology*. 2021;11:613151.

Original Article

The effect of fall-proof training on functional capacities, working memory and Muscle strength of the elderly with stroke

Farahnaz Ayatizadeh Tafti^{1*}, Saeed Abedinzadeh Masuleh¹, Mohammad Reza Sadeghian Shahi¹, Hamidreza Maleki nezhad²

1Department of Sports Sciences, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

2 Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Isfahan University, Isfahan, Iran

Abstract

Background and Purpose: Despite the advances in modern medicine, drugs and medical technology, stroke causes significant complications and always result in a decrease in performance, working memory and muscle strength. The aim of present study was to investigate the effect of fall-proof training on functional capacities, working memory and muscle strength of the elderly with stroke.

Materials and Methods: Twenty-four elderly patients suffering from a stroke were divided into two experimentally equal groups and control. The experimental group performed fall-proof exercises for eight weeks, and the control group did not perform any exercise. Training session consisted of 10 minutes of warm-up and stretching, 15 minutes of strength training, 25 minutes of multi-sensory system balance training, the center of gravity control, and posture strategies. To evaluate the functional capacity of the subjects three tests including get up and go test, a 6-minute walking test, and 8-foot walking agility test were used. To evaluate working memory Wechsler working memory software was used and muscle strength was evaluated by using two tests of 30 seconds lateral step and 30 seconds sit to stand tests.

Results: Working memory ($P=0.002$), stand up and go test ($P<0.001$), 6-minute walk test ($P=0.020$), 8-foot walk agility test ($P=0.017$) and the 30 second lateral step test ($P=0.013$) were significantly different between experimental and control groups. Within-group comparisons showed that memory ($P=0.001$), stand up and go test ($P<0.001$), 6-minute walk test ($P=0.009$), 8-feet walk agility test ($P=0.009$), 30 seconds of sit to stand ($P=0.032$) and 30-s lateral step up test ($P=0.013$) in the experimental group, whereas no significant changes were detected in the control group.

Conclusion: The results showed that fall-proof exercises have led to an increase in working memory, functional capacity and muscle strength in the elderly with stroke. Due to the multi-dimensional effects of fall-proof exercises and the multifactorial nature of stroke, fall-proof exercises can be used in rehabilitation programs for the elderly with stroke.

Keywords: Fall-Proof, Working Memory, Stroke, Functional Capacity, Muscle Strength

How to cite this article: Ayatizadeh Tafti F, Abedinzadeh Masuleh S, Sadeghian Shahi M, Malekinezhad H. The effect of fall-proof training on functional capacities, working memory and muscle strength in elderly individuals with stroke. *J Sport Exerc Physiol.* 2023; 16(2): 67-79.

* Corresponding Author's E-mail: fayati@yazd.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103581>

اثر تمرینات چندحسی بر ظرفیت‌های عملکردی، حافظه کاری و قدرت عضلانی سالمندان با سکنه مغزی

فرحناز آیتی‌زاده تفتی^{۱*}، سعید عابدین‌زاده ماسوله^{۱*}، محمدرضا صادقیان شاهی^{۱*}، حمیدرضا ملکی‌نژاد^{۲*}

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲. گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

زمینه و هدف: با وجود پیشرفت‌های پزشکی نوین، داروها و فناوری پزشکی، بیماری‌های سکنه مغزی عوارض زیادی را به افراد تحمیل می‌کنند و همواره کاهش عملکرد، حافظه کاری و قدرت عضلانی را در پی دارد. هدف از پژوهش حاضر تأثیر یک دوره تمرینات منتخب چندحسی بر شاخص‌های عملکردی، حافظه کاری و قدرت عضلانی سالمندان با سکنه مغزی بود.

مواد و روش‌ها: ۲۴ بیمار سالمند مبتلا به سکنه مغزی به دو گروه مساوی تجربی و کنترل تقسیم شدند. گروه تجربی به مدت هشت هفته تمرینات چندحسی را انجام دادند و گروه کنترل هیچ‌گونه مداخله‌ای را انجام ندادند. یک جلسه تمرینی ۱۰ دقیقه گرم کردن و حرکات کششی، ۱۵ دقیقه تمرینات قدرتی، ۲۵ دقیقه تمرینات تعادلی چندحسی دستگاه، کنترل مرکز ثقل و راهبردهای قامتی بود. برای ارزیابی ظرفیت عملکردی آزمودنی‌ها، از سه آزمون شامل آزمون بلند شو و برو، آزمون ۶ دقیقه راه رفتن و آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن، برای ارزیابی حافظه کاری از نرم‌افزار حافظه کاری وکسلر و برای ارزیابی قدرت عضلانی از دو آزمون ۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی و ۳۰ ثانیه ای نشستن به ایستادن استفاده شد.

نتایج: کاری ($P=0/002$)، آزمون بلند شو برو ($P<0/001$)، آزمون ۶ دقیقه راه رفتن ($P=0/000$)، آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن ($P=0/017$) و آزمون ۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی ($P=0/013$) در دو گروه تجربی و کنترل اختلاف معناداری داشت. حافظه کاری ($P<0/001$)، آزمون بلند شو برو ($P=0/001$)، آزمون ۶ دقیقه راه رفتن ($P=0/004$)، آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن ($P=0/007$)، آزمون ۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی ($P<0/001$) و آزمون متغیر ۳۰ ثانیه ای نشستن به ایستادن ($P<0/001$) در گروه تجربی در پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون افزایش معناداری داشت. همچنین آزمون درون گروه هیچ‌گونه اختلاف معناداری در هیچ‌یک از متغیرهای در گروه کنترل در پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون نشان نداد. **نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد تمرینات چندحسی به افزایش حافظه کاری، شاخص عملکردی و قدرت عضلانی در سالمندان با سکنه مغزی منجر شده است. با توجه به تأثیرات چندبعدی بودن تمرینات چندحسی و چندعاملی بودن سکنه مغزی، از تمرینات چندحسی می‌توان در برنامه‌های توانبخشی در سالمندان با سکنه مغزی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: چندحسی، حافظه کاری، سکنه مغزی، عملکردی، قدرت عضلانی

نحوه استناد به این مقاله: آیتی‌زاده تفتی، ف، عابدین‌زاده ماسوله، س، صادقیان شاهی، م، ملکی‌نژاد ح. اثر تمرینات چندحسی بر ظرفیت‌های عملکردی، حافظه کاری و قدرت عضلانی سالمندان با سکنه مغزی. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۶۷-۷۹.

* رایانامه نویسنده مسئول: fayati@yazd.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

مقدمه

این کسری‌ها پایدارند و به‌طور معمول به تدریج بدتر می‌شوند. اختلال شناختی پس از سکته مغزی نیز در افرادی که سکته‌های مکرر دارند، شایع‌تر است (۶). این مسئله اغلب با سایر مشکلات عصبی روان شناختی از جمله اختلالات زبانی، خستگی، افسردگی و بی‌تفاوتی همراه است (۶). سازوکارهای اختلال شناختی پس از سکته مغزی می‌تواند به‌طور مستقیم به دلیل آسیب عروق مغزی یا به‌طور غیرمستقیم ناشی از آسیب‌شناسی بدون علامت آلزایمر یا تغییرات ماده سفید ناشی از بیماری عروق کوچک باشد. عواملی که به‌طور مستقل با زوال عقل در بازماندگان سکته مغزی مرتبط‌اند شامل فیبریلاسیون دهلیزی، سکته قلبی، انفارکتوس میوکارد، فشار خون بالا، دیابت شیرین و حمله ایسکمیک گذرا قلبی است (۷). یکی از مؤلفه‌های شناختی حافظه کاری است. حافظه کاری ظرفیت محدود و توانایی شناختی مؤلفه‌های حفظ، پردازش و دستکاری اطلاعات پیچیده در بازه زمانی کوتاهی است. تحقیقات نشان داده‌اند که حافظه کاری برای فرایندهای ذهنی گوناگون همچون تخصیص توجه بین وظایف ذهنی حیاتی است (۸). کارکرد شناختی مانند کاهش حافظه کاری یا کنترل بازداری با تنظیم ضعیف هیجان و احساسات همراه است که می‌تواند تأثیرات منفی و مخربی بر سالمندان با سکته مغزی داشته باشد. طبق پیشینه مطالعاتی نیمرخ عصب روان شناختی بیماران دچار سکته مغزی به‌طور عمده با ایجاد اختلالات شناختی از جمله اختلالاتی در کارکرد حافظه همراه است (۹). توتک و همکاران در بررسی یک دوره تمرینات ورزش مغزی بر حافظه کاری سالمندان نشان دادند که تمرینات ورزش مغزی به بهبود حافظه کاری سالمندان منجر شده است (۱۰). در تحقیقی نشان داده شد که یک دوره تحریکات چندحسی بر وضعیت حافظه بیماران دچار سکته مغزی ایسکمیک در مرحله حاد مؤثر است (۱۱). به این ترتیب نیاز فوری به ایجاد یک برنامه مدیریت بهینه بیماری سکته مغزی، شامل یک برنامه جامع توانبخشی سکته مغزی وجود دارد. با توجه به اهمیت کارآمدی افتادن و اعتماد به تعادل در بیماران سکته مغزی تحقیقات بسیاری تلاش کرده‌اند تا اثر تمرینات گوناگون را بر این متغیرها آزمایش کنند. در همین زمینه پژوهشگران به این نتیجه رسیده‌اند که تمرینات پیشگیری از افتادن باید اجزای آمادگی جسمانی شامل قدرت، توان، تعادل

سالانه دست‌کم پنج میلیون نفر در جهان بر اثر سکته مغزی دچار مرگ می‌شوند و طبق آمار، این عدد رو به افزایش است و پیش‌بینی می‌شود با شرایط موجود، این عدد به ۱۲ میلیون مرگ در سال در ۳۰ سال آینده افزایش یابد (۱، ۲). سکته مغزی از مهم‌ترین علل ناتوانی و کاهش کیفیت زندگی است. بیماران مسن در معرض خطر بالاتر مرگ‌ومیر، نتایج عملکردی ضعیف‌تر، مدت طولانی بستری شدن در بیمارستان و بستری شدن هستند. اختلال حرکتی شایع‌ترین نقص پس از سکته مغزی است که با به‌عنوان پیامد مستقیم عدم ارسال پیام از قشر مغز یا به‌عنوان روند تجمع آهسته آسیب‌های مغزی یا آتروفی عضلانی به دلیل عدم استفاده آموخته شده رخ می‌دهد (۳). دیوانی و همکاران گزارش کردند خطر زمین خوردن و آسیب‌های ناشی از سقوط در سالمندان سکته مغزی بیشتر است (۴). عوامل خطر مرتبط با افزایش خطر سقوط در بازماندگان سکته مغزی عبارت‌اند از: سلامت عمومی ضعیف، زمان اولین سکته مغزی، مشکلات روان پزشکی، بی‌اختیاری ادرار، درد، اختلال حرکتی و سابقه زمین خوردن‌های مکرر (۴). نقص عملکرد حرکتی، افزایش خطرهای سقوط و آسیب‌های ناشی از سقوط می‌تواند به‌طور چشمگیری بر تحرک بیماران و فعالیت‌های زندگی روزمره آن‌ها تأثیر بگذارد که مشارکت آن‌ها را در رویدادهای اجتماعی و سایر فعالیت‌های حرفه‌ای محدود می‌کند. همچنین با افزایش سن در بیماران دارای سکته مغزی اختلالاتی در عملکرد فیزیولوژیکی بدن ایجاد می‌شود؛ از جمله افزایش شاخص توده بدنی، افزایش درصد چربی بدن، کاهش انعطاف‌پذیری، کاهش قدرت بدنی، افزایش سفت شدن واحد عضلانی تاندونی و سفتی بافت‌های مفاصل که در دهه ششم زندگی چشمگیرتر می‌شود. در این افراد دستگاه‌های گوناگون بدن تحلیل می‌رود، توانایی‌های فیزیولوژیکی و عملکردی کاهش و میزان وابستگی‌های آن‌ها به دیگران افزایش می‌یابد (۵). اختلال شناختی پس از سکته مغزی شایع است و می‌تواند تا یک‌سوم از بازماندگان سکته را تحت تأثیر قرار دهد. با این همه اختلال شناختی ظریف ممکن است آشکار به‌نظر نرسد، به‌ویژه زمانی که به‌نظر می‌رسد بازمانده سکته از جنبه‌های دیگر از نظر عملکردی بهبود یافته است. در بیشتر موارد،

مهم‌ترین شرایط ورود به تحقیق عبارت بود از: بیماران مرد مبتلا به اولین سکنه مغزی ایسکمی مزمن با تشخیص پزشکی عصب‌شناسی، گذشت دست‌کم شش ماه از شروع بیماری و بیش از دو سال و تمایل و انگیزه مشارکت در پژوهش، بیماران همپارزی (ضعف خفیف حرکتی) و در دامنه سنی ۴۰ تا ۷۰ سال، کسب نمره ۲۳ و بالاتر از آن از آزمون وضعیت شناختی و نمره ۳۰ تا ۴۴ از مقیاس تعادل Berg، توانایی ایستادن بدون کمک (دست‌کم در هشت دقیقه) و قادر به راه رفتن بدون عصا توانایی پیگیری دستورها را داشته باشند و شرکت نداشتن در فعالیت‌های جسمانی منظم و نداشتن برنامه فیزیوتراپی و نداشتن محدودیت آشکار در دامنه حرکتی غیرفعال اندام تحتانی در طول دوره تحقیق بود (۱۴). معیارهای خروج بیماران شامل سرگیجه مغل ایستادن حین آزمون و تمرین، حملات صرع بدون کنترل و پارکینسون یا سایر بیماری‌های مزمنی بود که موجب اختلال در تعادل و حرکت حین آزمون و تمرین، عدم علاقه آزمودنی برای ادامه همکاری و عدم حضور در تمرینات به مدت سه جلسه بود که این اطلاعات از طریق مشاهده، معاینه، پرسشنامه، آزمون‌گیری، پرونده پزشکی و مصاحبه از بیماران جمع‌آوری شد (۱۴، ۱۵). اما پس از بررسی و گرفتن فهرست بیماران طی سه سال اخیر، درمانگاه کاردرمانی و تندرستی و تماس با بیماران و بررسی معیارهای ورودی و خروجی بیماران، ۲۴ بیمار با معیارهای تحقیق همخوانی داشتند و به دو گروه مساوی ۱۲ نفری، شامل گروه‌های تمرینی و کنترل از طریق جدول تقسیم تصادفی تقسیم شدند. این روش نوعی تخمین تصادفی به روش طبقه‌بندی تصادفی است. با این روش پژوهشگر قصد همگن کردن بیماران به گروه‌های مورد بررسی را داشته است، تا بیماران از نظر سن و وضعیت تعادلی در دو گروه یکسان قرار گیرند، تا از این نظر تفاوتی بین دو گروه و سوءگیری نسبت به یک گروه وجود نداشته باشد و نیز اختلالی در نتایج آماری ایجاد نکند. بنابراین با توجه به معیار ورود این پژوهش که سن بیماران ۴۰ تا ۷۰ سال است، نمره تعادل Berg آن‌ها ۳۰ تا ۴۴ (تعادل متوسط) است و آزمون وضعیتی شناختی در دو گروه مورد نظر تقسیم‌بندی شدند (۱۵).

اطلاعات جمعیت شناختی شامل سن، وزن، قد، شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع) و سطح تحصیلات از بیماران جمع‌آوری شد. سطح تحصیلی شامل گروه‌های

و راه رفتن را که با خطر افتادن مرتبط‌اند، هدف قرار دهند. از این رو تمرینات ورزشی که تمرکز بیشتر آن‌ها بر جزء تعادلی باشد، به دلیل بهبود کنترل مرکز جرم بر بالای سطح اتکا بیشتر از سایر موقعیت‌های تمرینی مؤثر به نظر می‌رسد (۱۲). اساس یک برنامه تعادلی و حرکتی منسجم آن است که به صورت چندبعدی بر عوامل خطر افتادن اثر بگذارد و موجب کاهش این عوامل در جامعه سالمندان و بیماران سکنه مغزی شود. در همین زمینه هدف اصلی برنامه تعادلی و حرکتی چندحسی که توسط دبراجی رز و همکاران تدوین شده، استقلال عملکردی و بهبود عوامل خطری است که موج افزایش افتادن بین سالمندان می‌شود. این اصول در برنامه پیشگیری از افتادن چندحسی با تمرکز بر افزایش عملکرد دستگاه‌های حسی - حرکتی و شناختی از طریق چهار بخش برنامه شامل کنترل ارادی و غیرارادی مرکز ثقل دریافت حسی، یکپارچگی مهارت‌ها، انتخاب و مقیاس کناری راهبردهای کنترل قامت توسعه انعطاف‌پذیری و سازگاری الگوی راه رفتن موجب بهبود تعادل و کاهش خطر افتادن می‌شود. با اینکه چندحسی از موفق‌ترین برنامه‌های تمرینی سالمندان است (۱۳)، اما پژوهشی که اثر این برنامه تمرینی را بر شاخص‌های شناختی، عملکردی و فیزیولوژیکی به صورت منتخب بر سالمندان مبتلا به سکنه مغزی سنجیده باشد، یافت نشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر یک دوره تمرین منتخب چندحسی بر ظرفیت‌های عملکردی، حافظه کاری و قدرت عضلانی سالمندان با سکنه مغزی بود.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. جامعه مورد پژوهش شامل همه بیماران سکنه مغزی (۳۳۴ نفر) شهر یزد بود که طی سه سال اخیر به درمانگاه کاردرمانی و تندرستی آسا در شهر یزد مراجعه کرده و تشکیل پرونده داده بودند؛ ۲۴ بیمار مرد به روش نمونه‌گیری در دسترس و هدفمند انتخاب شدند. پیش از شروع پژوهش برگه رضایت آگاهانه در اختیار آزمودنی‌ها قرار داده شد و پس از تکمیل توسط پژوهشگر جمع‌آوری شد. همچنین پژوهش حاضر دارای کد اخلاق IR.YAZD. REC.1401.090 است که از کمیته اخلاق دانشگاه یزد دریافت شد.

۱۰ تا ۲۰ اختلال شناختی متوسط و نمره کمتر از ۹ بیانگر اختلال شناختی شدید است. تعداد سؤالات آزمون MMSE، ۱۱ سؤال و دارای ۳۰ نمره است که شامل ۱۶ نمره برای زیرمقیاس حافظه و جهت‌یابی، ۵ نمره زیرمقیاس توجه و تمرکز، ۸ نمره ارزیابی توانایی‌های زبان و فهم و ۱ نمره توانایی دیداری فضایی است (۱۷).

ارزیابی شاخص عملکرد: ظرفیت‌های عملکردی: در این تحقیق برای ارزیابی ظرفیت عملکردی آزمودنی‌ها، از سه آزمون شامل آزمون بلند شو و برو، آزمون ۶ دقیقه راه رفتن و آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن مخصوص سالمندان استفاده شد.

آزمون بلند شو و برو: برای انجام این آزمون، افراد در صندلی با ارتفاع استاندارد می‌نشینند. با فرمان «برو»، بدون کمک از دسته‌ها در جای خود قرار می‌گیرند و مسافت ۲/۱۵ متر راهرو را با بیشترین سرعت ممکن طی می‌کنند (۱۸). از زمان سنج برای اندازه‌گیری زمان استفاده شد. هر اندازه که زمان بیشتری صرف تکمیل آزمون شود، نشان‌دهنده محدودیت فعالیت بیشتر است. ضریب همبستگی درون (ICCS) برای آزمونگر و همچنین قابلیت اطمینان آزمونگر ۰/۹۸ بوده است.

آزمون ۶ دقیقه راه رفتن: برای هرچه بهتر انجام دادن این آزمون باید آزمودنی با تمام سرعتی که می‌تواند، راه برود و در هر جا که نیاز به استراحت بود، می‌تواند بنشیند و استراحت کند. این آزمون مقدار مسافت پیموده‌شده در ۶ دقیقه راه رفتن را اندازه‌گیری می‌کند.

آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن مخصوص سالمندان: برای اجرا از آزمودنی‌ها خواسته شد با استفاده از دست‌ها از روی یک صندلی بدون دسته برخیزند و پس از طی کردن مسیری ۸ فوتی (۲/۴۴ متر) برگردند و دوباره روی صندلی بنشینند (۱۹). از آزمودنی‌ها خواسته شد این کار را با سرعت و مهارت بیشتر و بدون دویدن اجرا کنند و در انتها زمان کل به‌عنوان امتیاز آزمودنی‌ها ثبت شد. با توجه به ناآشنایی آزمودنی‌ها با نحوه اجرای آزمون، آزمودنی‌ها پیش از ثبت آزمون سه بار این کار را تمرین کردند. سپس هر آزمودنی سه بار آزمون را اجرا می‌کرد و میانگین سه زمان به‌عنوان امتیاز فرد ثبت شد.

آزمون حافظه کاری وکسلر: نرم‌افزار حافظه کاری وکسلر مطابق با خرده‌مقیاس حافظه عددی آزمون حافظه بالینی وکسلر است که در سال ۱۳۹۳ توسط خدادادی و امانی ساخته شده است. این آزمون قابلیت سنجش

بی‌سواد، تحصیلات ابتدایی، دیپلم و تحصیلات عالی یا دانشگاهی بود. برای ارزیابی سن، قد و شاخص توده بدنی به ترتیب از قدسنج ایستای سکا ۲۱۷، ترازوی دیجیتال ایستاده سکا ۷۶۹ و تقسیم وزن بر مجذور قد استفاده شد.

روش اجرای پژوهش: آزمون تعادلی برگ به منظور

اندازه‌گیری تعادل در افراد اولین بار توسط کتی برگ فیزیوتراپیست کانادایی (۱۹۸۹) ساخته شد و روایی و پایایی آن نیز در این دامنه قابل قبول گزارش شد. پژوهش‌های گذشته پایایی بالا را در بین آزمونگران درباره ابزار برگ گزارش کردند. این آزمون در مقیاس پنج طبقه‌ای از پایین‌ترین سطح ۰ تا بالاترین سطح ۴ برای ارزیابی تعادل به کار می‌رود. این ۱۴ آیتیم شامل ۱. برخاستن از وضعیت نشسته روی صندلی، ۲. ایستادن بدون حمایت، ۳. نشستن ساکن روی صندلی بدون حمایت، ۴. نشستن روی صندلی از وضعیت ایستاده ساکن، ۵. انتقال، ۶. ایستادن ساکن با چشمان بسته، ۷. ایستادن ساکن با چشمان باز و پاهای جفت، ۸. دسترسی به جلو توسط دست‌ها در وضعیت ایستاده به‌طور افقی، ۹. برداشتن اشیا از روی زمین، ۱۰. برگشتن به طرفین برای نگاه به پشت، ۱۱. چرخش یک دور کامل، ۱۲. قرار دادن نوبتی یک پا روی چهارپایه به‌صورت پشت سر هم، ۱۳. ایستادن در وضعیتی که یک پا در جلوی پای دیگر قرار دارد و ۱۴. ایستادن روی یک پا. دامنه امتیاز بین ۰ تا ۴ بود که امتیاز ۴ به معنای توانایی کامل و امتیاز صفر به معنای ناتوانی در انجام فعالیت است و بدین ترتیب کل امتیازات حاصله ۵۶ و مدت زمان لازم برای تکمیل آزمون ۲۰ دقیقه است. در صورتی که جمع امتیاز بیماران از ۲۰ بیشتر و کوچک‌تر یا مساوی ۴۰ باشد، در راه رفتن نیازمند کمک هستند. بین ۴۰-۵۰ می‌توانند راه بروند، اما دارای اختلال در تعادل طی راه رفتن هستند. در پژوهش حاضر نمره‌ای بین ۳۰-۴۴ مدنظر است (۱۵).

آزمون وضعیت شناختی (آزمون وضعیت ذهنی): با استفاده از پرسشنامه وضعیت شناختی (MMSE) برگزیده شد. نسخه فارسی آزمون MMSE دارای پایایی درونی ۰/۷۸ بر اساس ضریب آلفای کرونباخ است و در نقطه برش ۱۲ نیز حساسیت ۹۰ درصد و ویژگی ۸۴ درصد را نشان می‌دهد (۱۶). بیشترین نمره آزمون MMSE، ۳۰ است. نمره بین ۲۴-۳۰ نشانه سلامت شناختی و نمرات ۲۳ یا کمتر نشان‌دهنده اختلال شناختی در نظر گرفته می‌شود. نمره بالای ۲۱ بیانگر اختلالات شناختی خفیف، نمره

مجموعه‌ای از تمرینات چندحسی (بینایی، دهلیزی، حسی-پیکری)، کنترل مرکز ثقل، راهبردهای قامتی و همچنین تمرینات قدرتی بود که شامل بالا آوردن پنجه و پاشنه، اکستنشن زانو و فلکشن زانو، نزدیک کردن ران و دور کردن ران بود که در هر مرحله سطح تمرینات با توجه به اصل اضافه بار و شرایط هر فرد پیشرفت می‌کرد. در تمرینات چندحسی و کنترل مرکز ثقل بر اساس تنوع تمرین و انگیزه افراد در انجام تمرینات در هر سطح نوع تمرین تغییر می‌کند، اما آنچه مدنظر قرار گرفت هدف تمرین بود که رعایت شد. هر سطح شامل دو هفته بود که تمرینات چندحسی و کنترل مرکز ثقل در هفته دوم با توجه به شرایط افراد و میزان چالش آن افزایش پیدا می‌کرد. تمرینات راهبرد قامتی از سطح ۲ در برنامه گنجانده شد، این‌گونه که در سطح ۲ هفته‌های سوم و چهارم تمرینات راهبرد مچ پا، سطح ۳ هفته‌های پنجم و ششم راهبرد مفصل ران و سطح ۴ هفته‌های هفتم و هشتم تمرین راهبرد گام برداشتن ارادی و غیرارادی قرار گرفت و همچنین تمرینات قدرتی در هر سطح با توجه به اصل اضافه بار پیشرفت می‌کرد که این پیشرفت شامل افزایش مقدار وزنه، افزایش تعداد تکرار و ست‌های تمرین و استفاده و عدم استفاده از ابزار کمکی بود؛ از این رو تمرینات با توجه به توانایی افراد تعدیل شد. به‌طور کلی، یک جلسه تمرینی ۱۰ دقیقه گرم کردن و حرکات کششی، ۱۵ دقیقه تمرینات قدرتی، ۲۵ دقیقه تمرینات تعادلی چندحسی دستگاه (بینایی، دهلیزی، حسی-پیکری) و کنترل مرکز ثقل و راهبردهای قامتی بود (۲۱). شرح کامل تمرین در جدول ۱ بیان شده است

حافظه اعداد رو به جلو و معکوس و فراخوانی حافظه کوتاه‌مدت در کودکان و بزرگسالان را دارد. این نرم‌افزار نوع رایانه‌ای خرده‌مقیاس فراخوانی ارقام مقیاس هوش و کسلسر است که برای اندازه‌گیری حافظه کاری و اندازه‌گیری فراخوانی حافظه کوتاه‌مدت از آن استفاده می‌شود. فراخوانی ارقام، خرده‌مقیاس چهارمین ویراست مقیاس هوشی و کسلسر است که از دو قسمت تشکیل شده است: فراخوانی ارقام رو به جلو و فراخوانی ارقام معکوس. ضریب پایایی درونی مقیاس حافظه کاری و کسلسر بسیار بالا و دارای ضریب اعتبار بالاتر از ۹۰ است (۲۰). در پژوهش حاضر ضریب پایایی با روش آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷۹ گزارش شد.

قدرت عضلانی: برای سنجش قدرت عضلانی اندام تحتانی در سالمندان فلج مغزی از دو آزمون ۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی و ۳۰ ثانیه‌ای نشستن به ایستادن استفاده شد. آزمون ۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی (LSUT:30s Lateral Step Up Test): شامل تعداد بالا رفتن‌هایی است که فرد طی ۳۰ ثانیه روی صندلی بدون تکیه‌گاه با ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر انجام می‌دهد. این آزمون به صورت دوطرفه انجام گرفت و مجموع تعداد بالا رفتن از دو طرف برای سنجش استفاده شد. آزمون ۳۰ ثانیه‌ای نشستن به ایستادن (STS: 30s Site to Stand): شامل تعداد نشستن به ایستادن‌هایی است که افراد می‌توانند طی ۳۰ ثانیه انجام دهند. آزمون روی یک صندلی بدون تکیه‌گاه انجام گرفت و نشستن به ایستادن به عنوان یک تکرار محاسبه شد. از این دو آزمون به منظور سنجش قدرت عضلانی اندام‌های تحتانی استفاده شد.

روش تمرین: تمرینات چندحسی (فال پروف): تمرینات به‌کارگرفته‌شده در پژوهش حاضر شامل

جدول ۱. تمرینات چندحسی (۲۱)

سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
(هفته‌های اول و دوم)	(هفته‌های سوم و چهارم)	(هفته‌های پنجم و ششم)	(هفته‌های هفتم و هشتم)
نزدیک کردن ران در حالت نشسته با استفاده از توپ	بالا آوردن پاشنه‌ها در وضعیت ایستاده با حمایت	بالا آوردن پاشنه‌ها در وضعیت ایستاده بدون حمایت	بالا آوردن پاشنه با حمایت با وزنه
دور کردن ران در حالت نشسته	بالا آوردن پنجه‌ها در وضعیت ایستاده با حمایت	بالا آوردن پنجه‌ها در وضعیت ایستاده بدون حمایت	بالا آوردن پنجه با حمایت با وزنه
خم کردن زانو در حالت ایستاده با حمایت	نزدیک کردن ران در حالت نشسته با استفاده از توپ	نزدیک کردن ران در حالت نشسته با استفاده از توپ	نزدیک کردن ران در حالت نشسته با استفاده از توپ

ادامه جدول ۱. تمرینات چندحسی (۲۱)

سطح اول (هفته‌های اول و دوم)	سطح دوم (هفته‌های سوم و چهارم)	سطح سوم (هفته‌های پنجم و ششم)	سطح چهارم (هفته‌های هفتم و هشتم)
باز کردن زانو با حمایت	دور کردن ران در حالت نشسته	دور کردن ران در حالت نشسته	دور کردن ران در حالت نشسته
فعالیت تعادلی در حالت نشسته با نگاه دارنده	تراپاند سبز	تراپاند قرمز	تراپاند قرمز
فعالیت تعادلی بالا بردن زانو با نگاه دارنده	باز کردن زانو بدون حمایت	خم کردن زانو با حمایت نیم کیلوگرمی	خم کردن زانو با حمایت وزنه یک کیلوگرمی
دریافت توپ در جهات گوناگون در حالت نشسته	خم کردن زانو در حالت ایستاده بدون حمایت	باز کردن زانو با حمایت وزنه ۵/۰ کیلوگرمی	باز کردن زانو با حمایت وزنه یک کیلوگرمی
راه رفتن روی سطح ناپایدار و تمرکز روی سطح عمودی	تمرین کنترل مرکز ثقل قدم رودرجا	گام برداری به صورت چهارگوش یک چهارم طول اندام تحتانی	بالا رفتن با یک پا بر روی نیمکت با توقف سه ثانیه
تمرین دهلیزی در وضعیت نشسته با توپ بزرگ	فعالیت نشسته بدون نگاه دارنده و نگاه کردن به صفحه شطرنجی	ایستادن درحالی که توپ بین دو دست رد و بدل می شود.	راه رفتن با خواندن متن جلوی چشمان
-	فعالیت در حالت نشسته بر روی توپ تعادلی با نگاه دارنده و فوم زیر پاها و تمرکز به هدف مستقیم	ایستادن بر روی فوم به صورت پنجه پای عقب پشت پاشنه پای جلو (تاندوم)	کشیدن شکل با یک پا و تمرکز به هدف مستقیم
-	ایستادن روی اسفنج با چشمان بسته با ضخامت کم	راه رفتن روی سطح نرم با دید محدود (عینک دودی)	راه رفتن با چرخش سر به طرفین در مسیر با عرض ۳۰ سانتی متر
-	تمرین راهبرد مچ پا با حمایت صندلی	راهبرد مفصل ران بر روی نیم غلتک	راهبرد گام برداشتن ارادی و غیرارادی



شکل ۱. طرح پژوهش

تحلیل آماری: برای بررسی توزیع طبیعی بودن

داده‌ها از آزمون شاپیرووویلک و برای بررسی نتایج بین گروهی از آزمون کوواریانس چندمتغیره و برای نتایج درون گروهی از تی همبسته در سطح معناداری $P < 0/05$ استفاده شد. نتایج نشان داد در متغیر سن ($P = 0/247$)، قد ($P = 0/711$)، وضعیت شناختی ($P = 0/134$)، تعادل ($P = 0/148$)، وزن ($P = 0/782$) و شاخص توده بدنی ($P = 0/601$) گروه تجربی در مقایسه با گروه کنترل اختلاف معناداری نداشتند. شایان ذکر است دست‌کم یک سال از زمان سکنه مغزی همه آزمودنی‌ها گذشته بود.

جدول ۲. آمار توصیفی سن، قد، وضعیت شناختی، تعادل، وزن و شاخص توده بدنی در دو گروه تجربی و کنترل در سالمندان سکنه مغزی

متغیر	گروه تجربی	گروه کنترل	سطح معناداری
سن (سال)	71/66 ± 8/78	68/16 ± 5/02	0/247
قد (سانتی‌متر)	176/33 ± 9/98	177/66 ± 7/20	0/711
وضعیت شناختی	25/41 ± 1/78	24/50 ± 1/00	0/134
تعادل	35/08 ± 2/02	33/91 ± 1/78	0/148
وزن (kg)	77/66 ± 9/34	76/75 ± 6/42	0/782
شاخص توده بدنی (kg/m ²)	25/21 ± 4/30	24/42 ± 2/81	0/601

نتایج جدول ۳ شاخص‌های توصیفی متغیرهای پژوهش را در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان می‌دهد.

جدول ۳. شاخص توصیفی متغیرهای پژوهش در سالمندان با سکنه مغزی

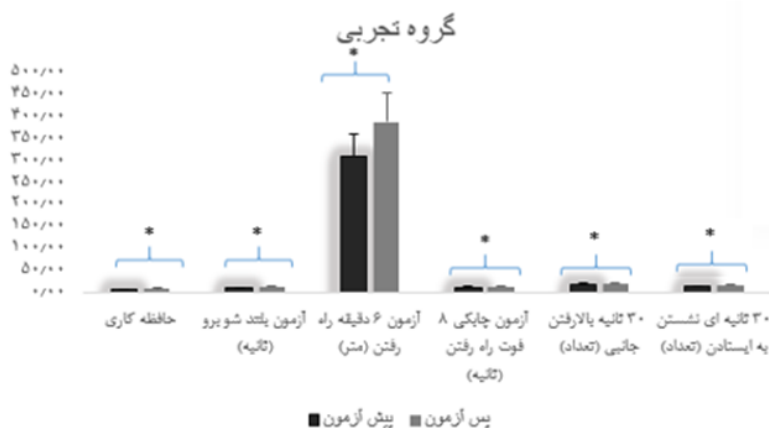
متغیر	مؤلفه	گروه تجربی		گروه کنترل	
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
شاخص	حافظه کاری (امتیاز)	5/83 ± 1/40	8/08 ± 1/16	6/75 ± 1/54	6/00 ± 1/53
شناختی	آزمون بلند شو برو (ثانیه)	9/75 ± 2/22	13/58 ± 1/83	8/83 ± 1/89	7/83 ± 1/64
شاخص	آزمون ۶ دقیقه راه رفتن (متر)	309/83 ± 52/44	388/16 ± 68/22	317/08 ± 64/68	287/41 ± 54/05
عملکردی	آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن (ثانیه)	10/16 ± 2/44	13/50 ± 2/02	11/16 ± 2/12	10/75 ± 2/70
قدرت	۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی (تعداد)	18/50 ± 2/54	20/16 ± 2/32	17/91 ± 2/15	17/25 ± 2/17
عضلانی	۳۰ ثانیه‌ای نشستن به ایستادن (تعداد)	13/83 ± 1/74	16/50 ± 1/31	14/16 ± 1/99	13/91 ± 2/42

نتایج آزمون بین‌گروهی نشان داد حافظه کاری ($P = 0/002$)، آزمون بلند شو برو ($P < 0/001$)، آزمون ۶ دقیقه راه رفتن ($P = 0/020$)، آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن ($P = 0/017$) و آزمون ۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی ($P = 0/013$) و کنترل مشاهده نشد ($P = 0/133$) (جدول ۴).

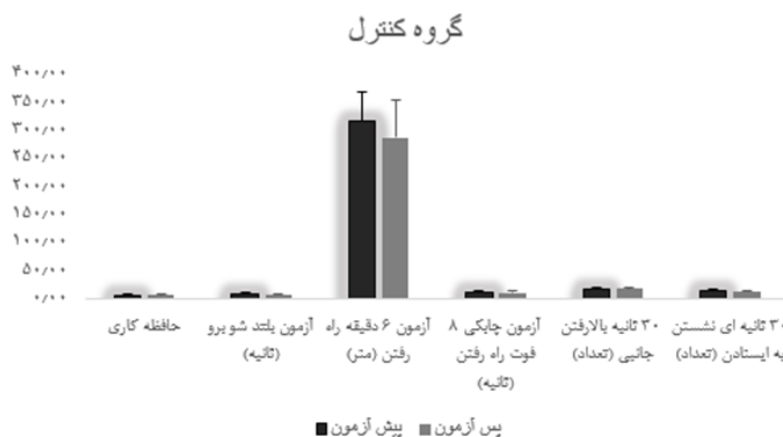
جدول ۴. نتایج آزمون کوواریانس چند متغیر در دو گروه تجربی و کنترل

متغیرها	مؤلفه‌ها	مجموع میانگین	DF	مجذور میانگین	F	سطح معناداری
شاخص	حافظه کاری (امتیاز)	۱۹/۲۲۰	۱	۱۹/۲۲۰	۱۴/۰۸	۰/۰۰۲
شناختی	آزمون بلند شو برو (ثانیه)	۱۵۷/۳۶۲	۱	۱۵۷/۳۶۲	۵۵/۰۴	p<۰/۰۰۱
شاخص	آزمون ۶ دقیقه راه رفتن (متر)	۳۱۹۰۸/۶۱۶	۱	۳۱۹۰۸/۶۱۶	۶/۷۲	۰/۰۲۰
عملکردی	آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن (ثانیه)	۴۵/۸۲۳	۱	۴۵/۸۲۳	۷/۰۶	۰/۰۱۷
قدرت	۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی (تعداد)	۲۴/۰۱۵	۱	۲۴/۰۱۵	۷/۸۶	۰/۰۱۳
عضلانی	۳۰ ثانیه ای نشستن به ایستادن (تعداد)	۶/۵۹۶	۱	۶/۵۹۶	۲/۵۰	۰/۱۳۳

نتایج آزمون درون‌گروهی نشان داد حافظه کاری (P<۰/۰۰۱)، آزمون بلند شو برو (P=۰/۰۰۱)، آزمون ۶ دقیقه راه رفتن (P=۰/۰۲۴)، آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن (P=۰/۰۰۷)، آزمون ۳۰ ثانیه بالا رفتن جانبی (P<۰/۰۰۱) و آزمون متغیر ۳۰ ثانیه ای نشستن به ایستادن (P<۰/۰۰۱) در گروه تجربی در پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون افزایش معناداری داشت (شکل ۲). همچنین آزمون درون‌گروهی هیچ‌گونه اختلاف معناداری در هیچ‌یک از متغیرهای در گروه کنترل در پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون نشان نداد (شکل ۳).



شکل ۲. آزمون تی وابسته (درون‌گروهی) سه متغیر شاخص شناختی، شاخص عملکردی و قدرت عضلانی در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه تجربی



شکل ۳. آزمون تی وابسته (درون‌گروهی) سه متغیر شاخص شناختی، شاخص عملکردی و قدرت عضلانی در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه کنترل

بحث و نتیجه‌گیری

سیناپسی، کاهش اختلالات شناختی، بهبود سلامت شناختی و عصبی، افزایش بهره‌وری انتقال‌دهنده‌های عصبی، سازگاری عصبی، بازیابی عملکرد رفتاری و تنظیم هیجان می‌تواند بهره‌وری فیزیولوژی عصبی، رشد و نمو مغز و رشد حرکتی را بهبود بخشد و موجب افزایش عملکرد دستگاه عصبی و عملکرد شناختی شود (۲۵). احتمالاً همین مسئله موجب بهبود توجه و حافظه کاری در سالمندان با سکته مغزی شده باشد.

در تبیین دیگر می‌توان گفت که تمرینات چندحسی می‌توانند به صورت بالقوه‌ای تغییرات عصبی را در مغز تحت تأثیر قرار دهند. برخلاف شکل‌پذیری عصبی که به سازگاری فیزیکی ساختارهای شناختی اشاره دارد، انتقال طولانی به انتقال عملکرد آماده در نتیجه یادگیری در یک زمینه آموزشی به زمینه دیگر اشاره دارد (۲۶). در حوزه مهارت‌آموزی، انواع خاصی از مهارت‌های آموخته شده ممکن است با وظایف تمرین شده خاص مرتبط باشد، درحالی‌که انواع دیگر یادگیری ممکن است تأثیرات فراگیر و ماندگاری بر ذهن داشته باشد که به توسعه الگوهای تفکر تعمیم یافته منجر می‌شود که فراتر از تکالیف تمرین شده خاص هستند. این ادبیات نشان می‌دهد که افزایش ظرفیت حافظه کاری در سالمندان با سکته مغزی می‌تواند ناشی از فرایند شکل‌پذیری عصبی یا فرایند انتقال باشد. به احتمال زیاد سالمندان با سکته مغزی با تکرار مداوم و منظم تمرینات چندحسی همراه با راهبردهای قامتی، توانسته‌اند از طریق ساخت لایه‌های عصبی با سازماندهی پردازشی بهتر و کارآمدتر یا با گسترش قابلیت تعمیم‌پذیری و پردازش‌های تمرین شده حافظه کاری خود را افزایش دهند (۲۷).

نتایج نشان داده است که شاخص عملکرد (آزمون بلند شو برو، آزمون ۶ دقیقه راه رفتن و آزمون چابکی ۸ فوت راه رفتن) و قدرت عضلانی در گروه تجربی در مرحله پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون افزایش معناداری داشت. نتایج پژوهش حاضر به نوعی با نتایج تحقیقات وولاکوت و همکاران (۲۸)، خازنین و همکاران (۲۹)، رز و همکاران (۳۰) و صفری و همکاران (۳۱) همسوست.

خازنین و همکاران نشان دادند که تمرینات منتخب چندحسی موجب بهبود ترس از سقوط و کیفیت زندگی سالمندان شد که با توجه به عدم بهبود ترس از سقوط و کیفیت زندگی سالمندان در گروه کنترل می‌توان بهبود در تمام شاخص‌ها را به اثرگذاری این تمرینات نسبت

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر یک دوره تمرین منتخب چندحسی بر ظرفیت‌های عملکردی، شناختی و قدرت عضلانی سالمندان با سکته مغزی بود. نتایج نشان داد حافظه کاری در گروه تجربی در مرحله پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون افزایش معناداری داشت. نتایج پژوهش حاضر به نوعی با نتایج تحقیقات توتک و همکاران (۱۰) و پدرام رازی (۱۱) همسوست.

توتک و همکاران نشان دادند که تمرینات ورزش مغزی به بهبود حافظه کاری سالمندان منجر شده است. همچنین پدرام رازی و همکاران نشان دادند که یک دوره تحریکات چندحسی بر وضعیت حافظه بیماران دچار سکته مغزی ایسکمیک در مرحله حاد مؤثر است. تمرینات چندحسی شامل تمرینات چندحسی (بینایی، دهلیزی، حسی پیکری)، کنترل مرکز ثقل، راهبردهای قامتی و همچنین تمرینات قدرتی بود. نتایج نشان داده است که فعالیت حسی حرکتی روی سامانه عصبی مرکزی تأثیر می‌گذارد، موجب ایجاد سازگاری‌های فیزیولوژیک در مغز نظیر خون‌رسانی و اکسیژن‌رسانی بهتر به تمامی سلول‌های مغزی، بالا بردن سطح گیرنده‌ها در دریافت اطلاعات حسی و افزایش ظرفیت دستگاه عصبی مرکزی در پردازش و هدایت پیام‌های حسی شده است. شهبازی و همکاران نیز در پژوهش خود به این نکته اشاره کردند که احتمالاً تمرینات یکپارچه‌سازی حسی حرکتی، حس عمقی را در افراد با بیماری‌های اختلال شناختی افزایش می‌دهد (۲۲). حس عمقی بهترین شرایط را برای ارائه اطلاعات و انتقال آن‌ها به دستگاه عصبی مرکزی دارد. توجه انتخابی به برخی محرک‌ها یا عدم پاسخگویی به موقع به برخی از آن‌ها اغلب به دلیل ظرفیت ناکافی مسیر یا ناتوانی ما در مقابله با آن است. با این همه، به تمام هدایت‌های حسی اشاره دارد که به دلیل افزایش شاخه‌های عصبی و تشکیل سیناپس‌های جدید در پی استفاده مکرر از مسیرهای عصبی، توانایی توجه انتخابی را افزایش می‌دهد. در واقع تحریک حسی طولانی مدت سیناپس‌های مغز را افزایش می‌دهد و در نهایت به ادراک حسی در سطح بالا منجر می‌شود (۲۳). به‌طور کلی تمرینات مربوط به ادراک، حرکت و حس از طریق تسهیل شکل‌پذیری عصبی، افزایش ادراک بصری به وسیله افزایش پیام بهره‌وری بینایی (۲۴)، افزایش عملکرد پردازش اطلاعات، ایجاد ساختارهای جدید

داد (۲۹).

سالمندان با سکتۀ مغزی شود (۳۳).

بر اساس نتایج تحقیقات وولاکوت و همکاران، رز و همکاران و صفری و همکاران فعالیت ورزشی می‌تواند بر کنترل وضعیت راه رفتن، کاهش سقوط و آسیب‌های ناشی از سقوط و تعادل مؤثر واقع شود. پژوهش‌ها نشان داده است که برنامه‌ی تمرین چندحسی که دستگاه‌های بینایی، دهلیزی و حسی تنی را به چالش می‌کشد، به بهبود قدرت عضلانی و عملکرد در سالمندان منجر می‌شود. همچنین نتایج نشان داد استفاده از تمرینات تعادلی در وقوع زمین خوردن در میان افراد مسن بسیار مؤثر است (۳۰). در تبیین نتایج حاضر می‌توان گفت که تمرینات چندحسی به آسیب‌های اساسی دستگاه‌های حرکتی و حسی مربوط به تعادل و تحرک می‌پردازد و بهبود شاخص عملکرد در سالمندان با سکتۀ مغزی منجر می‌شود. در اصل، اگر فردی بخواهد خطر سقوط را کاهش دهد، باید دستگاه حرکتی و حسی درگیر در تعادل را آموزش ببیند. تمرین مکرر مهارت‌های حرکتی و آموزش دستگاه‌های حسی، قدرت عضلانی و آگاهی حسی لازم برای بهبود تعادل و مهارت‌های حرکتی را تسهیل می‌کند (۳۰). تمرینات چندحسی با ایجاد سازگاری‌های بیومکانیکی مناسب، می‌توانند نقشی مؤثر در یادگیری مهارت، فراخوانی واحد حرکتی (۳۲)، افزایش شکل‌پذیری قشر حرکتی و بهبود به‌کارگیری عضلات داشته باشند. اثر این نوع تمرینات در بهبود عملکرد را می‌توان بر اساس نظریۀ دستگاه‌ها تبیین کرد. طبق نظریۀ دستگاه‌ها توانایی کنترل در فضا نتیجه‌ی اثر متقابل همزمان و پیچیده‌ی دستگاه عصبی عضلانی - اسکلتی است که در واقع همان دستگاه کنترل قامت است. این سیستم، برای حفظ تعادل و ایجاد حرکت به تلفیق داده‌های حسی نیاز دارد تا موقعیت بدن را در فضا تشخیص دهد و نیز برای اعمال نیروی مناسب به توانایی دستگاه عضلانی اسکلتی نیاز دارد. در این مدل دستگاه عصبی مرکزی با استفاده از اطلاعات دستگاه‌های بینایی دهلیزی و حسی عمقی (که شامل حس وضعیت مفاصل و حس محیطی است)، از وضعیت مرکز ثقل بدن نسبت به جاذبه و از شرایط سطح اتکا مطلع می‌شود تا پاسخ حرکتی مناسب را به صورت الگوهای حرکتی از پیش برنامه‌ریزی شده فراهم کند. بنابراین با استناد به نظریۀ دستگاه‌ها به نظر می‌رسد تمرینات چندحسی می‌تواند موجب بهبود عملکرد در

نتایج نشان داده است که قدرت عضلانی در گروه تجربی در مرحلۀ پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون بهبود پیدا کرده است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیق وارد و همکاران (۱۳) مغایر بود. یکی از دلایل ناهمسو بودن نتایج پژوهش حاضر با نتایج وارد و همکاران فضای استفاده از تمرینات فال پروف و جامعه‌ی آماری است. وارد و همکاران تمرینات فال پروف را در منزل برای سالمندان اجرا کردند که می‌تواند محدودیت‌های را به دنبال داشته باشد و اثر مطلوبی بر قدرت عضلانی نگذارد. همچنین نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات چتارا و همکاران (۳۴)، دکین (۳۵) و صفری و همکاران (۳۱) همسوست. در تبیین این نتایج می‌توان گفت که سالمندان با سکتۀ مغزی با اختلال در شاخص‌های فیزیولوژیکی روبه‌رو هستند. چتارا و همکاران نشان دادند که تمرینات ترکیبی موجب افزایش قدرت عضلانی اندام تحتانی در افراد می‌شود. دلایل احتمالی افزایش قدرت عضلانی ناشی از تمرینات ترکیبی به‌واسطه‌ی افزایش تعداد ایمپالس‌های (تکانه‌های) عصبی واحدهای حرکتی و هورمون‌های آنابولیکی است (۳۴). صفری و همکاران (۳۱) در پژوهشی نشان دادند که تمرینات ترکیبی موجب افزایش قدرت عضلانی می‌شود. تمرینات فال پروف بر شش مؤلفه‌ی اصلی تمرکز دارد: ۱. تمرین کنترل مرکز ثقل، ۲. تمرین چند حسی، ۳. آموزش راهبرد وضعیتی، ۴. تقویت الگوی راه رفتن و تمرین متنوع، ۵. تمرین قدرتی و استقامتی و ۶. انعطاف‌پذیری. به نظر می‌رسد ترکیب این شش مؤلفه می‌تواند بر قدرت عضلانی تأثیر مثبتی بگذارد.

اما مانند هر پژوهشی، پژوهش حاضر نیز خالی از محدودیت نبود که وجود این محدودیت‌ها تعمیم یافته‌های آن را نیازمند احتیاط بیشتری می‌نماید. از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به تعداد کم آزمودنی‌ها، شرایط کرونایی موجود، حضور در جلسۀ درمان و جلب موافقت بیماران مبتلا به سکتۀ مغزی اشاره کرد. بنابراین با توجه به محدودیت‌ها و نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که ضمن اجرای این تحقیق با تعداد نمونه‌ی بیشتر و در مکان‌های دیگر ایران، افرادی که به‌عنوان کاردرمانگر در کنار متخصصان مغز و اعصاب و عصب‌شناختی کمک می‌کنند، از رویکرد تمرینات چندحسی به‌عنوان درمانی مفید برای رفع نقض‌های

- dollahi M, Luft AR. Risk factors associated with injury attributable to falling among elderly population with history of stroke. *Stroke*. 2009;40(10):3286-92.
5. Sterr A, Kuhn M, Nissen C, Ettine D, Funk S, Feige B, et al. Post-stroke insomnia in community-dwelling patients with chronic motor stroke: Physiological evidence and implications for stroke care. *Scientific Reports*. 2018;8(1):1-9.
 6. Pendlebury ST, Rothwell PM. Prevalence, incidence, and factors associated with pre-stroke and post-stroke dementia: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Neurology*. 2009;8(11):1006-18.
 7. Surawan J, Areemit S, Tiamkao S, Sirithanawuthichai T, Saensak S. Risk factors associated with post-stroke dementia: a systematic review and meta-analysis. *Neurology international*. 2017;9(3):7216.
 8. Kozak KM. Mild Traumatic Brain Injuries and Their Implications on Changes in Event Related Potentials: A look into Visual Gating. 2018; 3(4):50.
 9. Silva B, Sousa L, Miranda A, Vasconcelos A, Reis H, Barcelos L, et al. Memory deficit associated with increased brain proinflammatory cytokine levels and neurodegeneration in acute ischemic stroke. *Arquivos de neuro-psiquiatria*. 2015;73:655-9.
 10. Tootak M, ABEDANZADEH R, Saeimi E. The Effect of Brain Gym Exercises on working memory in Male Older Adults. *Sport Psychology*. 2019;2(4):77-91.
 11. Pedram-Razi S, Bassam-Pour S, Faghihzadeh S, Alefbaei A. Effect of multi-sensory stimulation on memory status in patients with acute phase of ischemic stroke. *Journal of Health and Care*. 2017;18(4):280-91.
 12. Wu J, Zeng A, Chen Z, Wei Y, Huang K, Chen J, et al. Effects of virtual reality training on upper limb function and balance in stroke patients: systematic review and meta-meta-analysis. *Journal of medical Internet research*. 2021;23(10):e31051.
 13. Ward K. Effectiveness of FallProof home-based DVD program in improving balance, select functional fitness parameters, and balance-related confidence among community-dwelling older adults who have been identified as moderate to high risk of falls: California State University, Sacramento; 2010;8(9):254-263.
 14. Ghadiri F, Sajjadi HR, Bahmani M, Bahram A. Effect of group resistance exercise with exciting music on spasticity, muscle شناختی، عملکردی و فیزیولوژیکی مبتلایان به سکته مغزی استفاده کنند.
- نتایج نشان داد تمرینات چندحسی به افزایش حافظه کاری، شاخص عملکردی و قدرت عضلانی در سالمندان با سکته مغزی منجر شده است. با توجه به تأثیرات چندبعدی بودن تمرینات چندحسی و چندعاملی بودن سکته مغزی، از تمرینات چندحسی می‌توان در برنامه‌های توانبخشی در سالمندان با سکته مغزی استفاده کرد.
- تشکر و قدردانی**
- از همه افرادی که در این پژوهش شرکت کردند کمال تشکر و قدردانی را داریم. در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه یزد در نظر گرفته شده و تمامی اصول اخلاقی در این مقاله لحاظ شده است.
- حامی / حامیان مالی**
- هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان تأمین‌کننده مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نشده است.
- مشارکت نویسندگان**
- تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته‌اند.
- تعارض منافع**
- بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
- منابع**
1. Feigin VL, Brainin M, Norrving B, Martins S, Sacco RL, Hacke W, et al. World Stroke Organization (WSO): global stroke fact sheet 2022. *International Journal of Stroke*. 2022;17(1):18-29.
 2. Norouzpour M, Marandi SM, Ghanbarzadeh M, Zare Mayavan AA. The effect of combined training on serum concentrations of inflammatory cytokines and factors associated with metabolic syndrome in elderly women with fatty liver. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2022;15(2):64-75. (In Persian)
 3. Hatem SM, Saussez G, Della Faille M, Prist V, Zhang X, Dispa D, et al. Rehabilitation of motor function after stroke: a multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. *Frontiers in human neuroscience*. 2016;10:442.
 4. Divani AA, Vazquez G, Barrett AM, Asa-

- strength and walking for children with cerebral palsy. *Iran J Pediatr Nurs*. 2019;6:15-22. (In Persian)
15. Babaeipour H, Sahebozamani M, Mohammadipour F, Vakilian A. The effect of six weeks of aquatic training on the quality of life in patients with chronic ischemic stroke: A randomized clinical trial. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*. 2018;17(8):699-714. (In Persian)
 16. Azim Zadeh E, Faghihi V, Ghasemi A. The effect of dual-task training on balance of elderly women: with the motor and cognitive approach. *Research in Sport Management and Motor Behavior*. 2018;8(15):103-10. (In Persian)
 17. Norouzi E, Vaezmosavi M, Gerber M, Pöhse U, Brand S. Dual-task training on cognition and resistance training improved both balance and working memory in older people. *The Physician and sportsmedicine*. 2019;47(4):471-8.
 18. Dekker J. Exercise and physical functioning in osteoarthritis: medical, neuromuscular and behavioral perspectives: Springer Science & Business Media; 2013.
 19. Dieppe PA, Lohmander LS. Pathogenesis and management of pain in osteoarthritis. *The Lancet*. 2005;365(9463):965-73.
 20. Chong JA. Does Chronic Methamphetamine Use Result in a Consistent Profile of Cognitive Deficits? : Pacific University; 2009;6(5):7-24.
 21. Khazanin H, Daneshmandi H. Effect of Selected Fallproof Exercise on Static and Dynamic Balance in the Elderly. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2020;9(3):16-26. (In Persian)
 22. Shahbazi SR, M. Heyrani, A. Effectiveness of sensory-motor integration on Balance and Reaction time in children DCDS. *Journal of Modern Rehabilitation*. 2014;14(28):247-58. (In Persian)
 23. Uysal SA, Döğler T. Motor control and sensory-motor integration of human movement. *Comparative Kinesiology of the Human Body*: Elsevier; 2020. p. 443-52.
 24. Norton DJ, McBain RK, Цнгьr D, Chen Y. Perceptual training strongly improves visual motion perception in schizophrenia. *Brain and Cognition*. 2011;77(2):248-56.
 25. Gomez-Pinilla F. The combined effects of exercise and foods in preventing neurological and cognitive disorders. *Preventive medicine*. 2011;52:S75-S80.
 26. Hovik KT. Can PC-based training boost working memory in ADHD preadolescents on medication?: A clinical intervention study. 2010;15(24):258-271.
 27. O'Brien J, Ottoboni G, Tessari A, Setti A. Multisensory Perception, Verbal, Visuo-spatial and motor working memory modulation after a single open-or closed-skill exercise session in children. *Journal of Cognitive Enhancement*. 2021;5:141-54.
 28. Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & posture*. 2002;16(1):1-14.
 29. Khazanin H, Daneshmandi H, Fakoor Rashid H. Effect of Selected Fall-proof Exercises on Fear of Falling and Quality of Life in the Elderly. *Iranian Journal of Ageing*. 2022;16(4):564-77. (In Persian)
 30. Rose DJ. The role of exercise in reducing falls and fall-related injuries in older adults. Research review paper for Falls Free Summit. 2004;10(8):15-25.
 31. Safari E, Sokhanguie Y, Fatahi A. The effect of a combined training course on balance and respiratory fitness of active elderly men. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2021;11(5):822-834. (In Persian)
 32. Rodacki AL, Souza RM, Ugrinowitsch C, Cristopoliski F, Fowler NE. Transient effects of stretching exercises on gait parameters of elderly women. *Manual therapy*. 2009;14(2):167-72.
 33. Qi M, Moyle W, Jones C, Weeks B. Tai chi combined with resistance training for adults aged 50 years and older: a systematic review. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2020;43(1):32-41.
 34. Chtara M, Chamari K, Chaouachi M, Chaouachi A, Koubaa D, Feki Y, et al. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *British journal of sports medicine*. 2005;39(8):555-60.

Original Article

The comparison of the effect of variable and constant resistance training on the salivary testosterone, cortisol and growth hormone in trained men

Alireza Emtiaz¹, Seyed Alireza Hosseini Kakhk², Amirhossein Haghighi¹¹ Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran² Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran**Abstract**

Background and Purpose: Variable resistance training (VRT) is a type of resistance training that helps to improve muscle strength and function through extra resistance such as elastic bands and chains. The comparison of the effect of constant resistance training (CRT) versus VRT on hormonal response has not been fully studied. Therefore, this study investigated the acute and chronic effects of VRT versus CRT on the salivary concentration of testosterone, growth hormone, and cortisol in trained men.

Materials and Methods: Thirty young resistance-trained men were recruited for this study and were randomly assigned to three groups including VRT, CRT, and control. Subjects in both training groups performed an exercise protocol at an intensity corresponding to 65 to 85% of 1RM for 10 weeks, three sessions per week. The training included the upper and lower extremity exercises and the rest periods between the sets and exercises were 1 and 2-3 minutes, respectively. In addition, the VRT group used 7.5 kg chains as an external variable resistance. Oral saliva samples were collected before and after the first (acute response) and the last sessions (chronic response) and analyzed by ELISA technique. Data were analyzed by using repeated measures analysis of variance and Bonferroni's post-hoc test. The significance level was set at $P \leq 0.05$.

Results: A significant group×time interaction was observed only for the acute response of salivary testosterone ($P=0.003$), so that a significant increase was observed in the salivary of testosterone in the VRT compared to CRT ($P=0.001$) and control ($P=0.003$). However, no significant differences were observed for cortisol ($P=0.64$), growth hormone ($P=0.52$) and testosterone to cortisol ratio ($P=0.49$). In addition, no significant group×time interaction was observed for testosterone ($P=0.377$), cortisol ($P=0.57$), testosterone to cortisol ratio ($P=0.91$), and growth hormone ($P=0.200$) in following training.

Conclusion: The results showed that a session of VRT caused a significant increase in testosterone hormone though 10 weeks of VRT or CRT had no significant effect on the levels of testosterone, cortisol, and growth hormone. It seems that if VRT is performed with higher intensity or volume, additional hormonal responses will occur as a result of exercise, and therefore the effectiveness of the exercise will rise.

Keywords: Variable Resistance Training, Constant Resistance Training, Hormonal Responses

How to cite this article: Emtiaz A, Hosseini Kakhk S A, Haghighi A. The comparison of the effect of variable and constant resistance training on the salivary testosterone, cortisol and growth hormone in trained men. *J Sport Exerc Physiol.* 2023;16(2):80-93.

*Corresponding Author's E-mail: hosseinik@um.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103587>

مقایسه تأثیرات تمرین مقاومتی با بار متغیر و بار ثابت بر هورمون‌های تستوسترون، کورتیزول و رشد بزاقی در مردان تمرین‌کرده

علیرضا امتیاز^۱، سید علیرضا حسینی کاخک^۲، امیرحسین حقیقی^۳

۱ گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲ گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

زمینه و هدف: تمرین مقاومتی با بار متغیر نوعی شیوه تمرینی است که با استفاده از مقاومت اضافی خارجی مانند زنجیر و نوارهای الاستیکی، به بهبود قدرت و عملکرد عضلانی کمک می‌کند. مقایسه اثر تمرینات مقاومتی با بار ثابت در برابر بار متغیر بر پاسخ‌های هورمونی کمتر بررسی شده است. از این رو در این پژوهش تأثیرات حاد و مزمن تمرین مقاومتی با بار متغیر در مقابل تمرین مقاومتی با بار ثابت بر پاسخ هورمون‌های تستوسترون، رشد و کورتیزول در مردان تمرین‌کرده بررسی شده است.

مواد و روش‌ها: ۳۰ مرد جوان دارای تجربه تمرین مقاومتی برای این تحقیق انتخاب شدند و به‌طور تصادفی در یکی از سه گروه، تمرین مقاومتی با بار متغیر، تمرین مقاومتی با بار ثابت و گروه کنترل قرار گرفتند. آزمودنی‌های هر دو گروه تمرینی، تمرین را با شدت ۶۵ تا ۸۵ درصد 1RM در سه نوبت و به مدت ده هفته (سه جلسه در هفته) انجام دادند. برنامه تمرینی اغلب شامل انجام حرکات اصلی بالاتنه و پایین‌تنه و استراحت بین نوبت‌ها و حرکات به ترتیب یک و دو تا سه دقیقه بود. افزون بر این، گروه تمرین مقاومتی با بار متغیر از زنجیر ۷/۵ کیلوگرمی به‌عنوان بار مقاومت متغیر استفاده کردند. نمونه‌های بزاق برای سنجش غلظت هورمون‌های تستوسترون، کورتیزول و رشد در پیش و پس از اولین جلسه (پاسخ حاد) و آخرین جلسه (پاسخ مزمن) جمع‌آوری و سپس به روش الایزا اندازه‌گیری شد. از روش آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی بنفرونی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد و سطح معناداری نیز $P \leq 0/05$ در نظر گرفته شد.

نتایج: نتایج حاکی از آن بود که در مورد اثر حاد، تنها تغییرات تستوسترون معنادار بود ($P=0/003$)، به طوری که افزایش معناداری در تستوسترون بزاقی در تمرین مقاومتی با بار متغیر در مقایسه با گروه تمرین مقاومتی با بار ثابت ($P=0/001$) و گروه کنترل ($P=0/003$) مشاهده شد. ولی در سطح کورتیزول ($P=0/064$)، هورمون رشد ($P=0/052$) و نسبت تستوسترون به کورتیزول ($P=0/49$) تغییر معناداری مشاهده نشد. در مورد پاسخ سازگاری نیز بین گروه‌ها اختلاف معناداری در تستوسترون بزاقی ($P=0/377$)، کورتیزول ($P=0/570$)، هورمون رشد ($P=0/200$) و نسبت تستوسترون به کورتیزول ($P=0/91$) مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که یک جلسه تمرین مقاومتی با بار متغیر نسبت به بار ثابت موجب افزایش هورمون تستوسترون بلافاصله پس از تمرین می‌شود، ولی ده هفته تمرین مقاومتی با بار ثابت و متغیر تأثیری بر مقادیر هورمون‌های تستوسترون، کورتیزول و رشد ندارد. به نظر می‌رسد چنانچه تمرینات مقاومتی با بار متغیر با حجم یا شدت بالاتر انجام گیرند، پاسخ‌های هورمونی بیشتری در پاسخ به تمرین اتفاق بیفتد و در نتیجه اثربخشی این تمرینات بیشتر شود.

واژه‌های کلیدی: تمرین مقاومتی با بار متغیر، تمرین مقاومتی با بار ثابت، پاسخ‌های هورمونی

نحوه استناد به این مقاله: امتیاز، حسینی کاخک س ع، حقیقی ا. مقایسه تأثیرات تمرین مقاومتی با بار متغیر و بار ثابت بر هورمون‌های تستوسترون، کورتیزول و رشد بزاقی در مردان تمرین‌کرده. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۸۰-۹۳.

* رایانامه نویسنده مسئول: hosseinik@um.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳

مقدمه

هورمون‌ها تا حد زیادی مسئول ارتباطات یکپارچه‌سازی چندین دستگاه فیزیولوژیکی اند و نقش مهمی در تعدیل رشد و توسعه سلولی دارند. هورمون تستوسترون از آندروژن‌های اصلی است که با اتصال به گیرنده در هسته سلول عضلانی موجب فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیک و در نهایت سنتز پروتئین می‌شود. در نقطه مقابل هورمون تستوسترون، هورمون کورتیزول است که از غده فوق‌کلیوی تحت تأثیر هورمون آدرنوکورتیکوتروپیک هیپوفیز قدامی ترشح می‌شود. هورمون کورتیزول نقش مهمی در کاتابولیسم پروتئین، لیپولیز و گلوکونئوژنز کبدی دارد. هورمون کورتیزول با اتصال به گیرنده در هسته سلول عضلانی فرایندهای کاتابولیکی از جمله تولید مایوستاتین را موجب می‌شود. این هورمون در فرایندهای پیام‌رسانی آنابولیک می‌تواند اختلال ایجاد کند، به طوری که سطوح بالای آن موجب کاهش سنتز عامل رشد شبه‌انسولین یک (IGF-1) عضلانی از طریق تنظیم منفی در رونویسی IGF-1 می‌شود (۱).

به خوبی نشان داده شده است که تمرینات مقاومتی پاسخ‌های هورمونی بی‌شماری را به دنبال دارند. از این رو چنانچه برنامه تمرین مقاومتی به خوبی طراحی و اجرا شود، می‌توان انتظار داشت که پاسخ‌ها و سازگاری‌های هورمونی به نحوی رخ دهد که پیامد آن افزایش سنتز پروتئین عضلانی و هایپرتروفی عضلات باشد. ولی باید توجه داشت که تمرینات مقاومتی با توجه به متغیرهای حاد برنامه تمرینی (مانند تعداد نوبت‌ها، شدت، فواصل استراحتی، نوع انقباضات عضلانی، ترتیب حرکات و غیره) می‌تواند تأثیرات گوناگونی بر پاسخ‌های هورمونی داشته باشد (۲،۳). تمرینات مقاومتی سنتی به طور معمول با استفاده از بارهای ثابت اجرا می‌شود، به طوری که وزنه به کاررفته در طول اجرای حرکت ثابت است. بررسی پاسخ‌های هورمونی به این نوع تمرینات مقاومتی با بار ثابت همواره از موضوعات مورد علاقه پژوهشگران بوده است، هرچند تناقض زیادی بین نتایج پژوهش‌ها به چشم می‌خورد. برای نمونه در تحقیقی نشان داده شد تمرین مقاومتی (صرف نظر از شدت آن) اثری بر غلظت تستوسترون و کورتیزول ورزشکاران اندام‌پرور بلافاصله و یک ساعت پس از تمرین ندارد (۴). درحالی‌که نتایج تحقیق دیگری حاکی از آن بود که یک

جلسه تمرین مقاومتی سوپرست با شدت ۷۵ درصد IRM در مردان میانسال تمرین‌کرده تنها به افزایش معنادار تستوسترون آزاد سرمی (و نه تستوسترون تام) پس از تمرین منجر می‌شود، ولی بر سطوح کورتیزول اثری ندارد (۵). همچنین بیون و همکاران (۲۰۱۱) با تحقیق روی بازیکنان نیمه حرفه‌ای راگی به این نتیجه رسیدند که یک جلسه تمرین ترکیبی (مقاومتی-توانی) به افزایش اندک در تستوسترون و افزایش شایان توجه در کورتیزول بزاقی منجر می‌شود (۶). در تحقیق فرای و همکاران (۲۰۱۰) نیز پس از یک جلسه تمرین مقاومتی توانی بار ثابت، با وجود افزایش معنادار در سطح اسید لاکتیک، تغییر معناداری در سطح هورمون تستوسترون و کورتیزول بلافاصله پس از تمرین اتفاق نیفتاد (۷). ریتنج و همکاران (۲۰۱۴) نیز با مقایسه پاسخ‌های هورمونی به دو جلسه تمرین مقاومتی با شدت متوسط (۷۰ درصد IRM) و شدت بالا (۹۰ درصد IRM) به این نتیجه رسیدند که شدت متوسط برای تأثیر معنادار بر غلظت تستوسترون کافی است و نیازی به اعمال شدت‌های بالای تمرین نیست (۸). در یکی از جدیدترین تحقیقات میراندا و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که پس از یک جلسه تمرین مقاومتی سنتی در برابر تمرین یک‌سستی همزمان عضلات آگونیسست و آنتاگونیسست، تفاوتی از لحاظ تأثیر بر تستوسترون بلافاصله پس از تمرین مشاهده نشد و هر دو برنامه به یک نسبت موجب افزایش تستوسترون می‌شود (۹). در تحقیق جدید و جامع دیگری، تأثیرات کوتاه‌مدت تمرین مقاومتی با بار ثابت یکطرفه (تک‌پا) در برابر دوطرفه (دوپا) بر تغییرات هورمونی در مردان تمرین‌کرده بررسی شد. نتایج نشان داد افزایش هورمون تستوسترون و کورتیزول در هر دو نوع تمرین بود و تفاوتی بین دو شیوه تمرین وجود نداشت (۱۰). به نظر می‌رسد با توجه به متغیرهای حاد برنامه تمرینی و همچنین سن، پاسخ‌ها و سازگاری‌های هورمونی کاملاً می‌تواند متفاوت و حتی متناقض باشد. برای نمونه در پژوهش اراضی و همکاران (۲۰۱۳)، هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت متوسط موجب افزایش هورمون رشد و تستوسترون هم در مردان جوان و هم میانسال شد، هرچند افزایش تستوسترون در مردان جوان بیشتر از مردان میانسال بود. همچنین سطح کورتیزول در هر دو گروه سنی کاهش یافت (۱۱). در تحقیق دیگری روی مردان جوان تمرین‌کرده مشخص

این پژوهش‌ها نشان داده شد که تفاوت معناداری بین تمرین مقاومتی با بار ثابت در برابر بار متغیر (با شدت متوسط) در پاسخ‌های هورمون‌های رشد، تستوسترون و غلظت لاکتات، در دو و ۲۴ ساعت پس از تمرین در مردان مسن وجود ندارد، هرچند غلظت کورتیزول بلافاصله پس از تمرین در هر دو نوع تمرین کاهش یافت (۲۱). در تحقیقی دیگر گزارش شد که تمرین مقاومتی با بار متغیر در مقایسه با بار ثابت سبب افزایش غلظت هورمون‌های تستوسترون، رشد و کورتیزول بلافاصله پس از تمرین می‌شود، درحالی‌که تمرین با بار ثابت تنها موجب افزایش هورمون رشد می‌شود. ولی در ۳۰ دقیقه پس از تمرین، هورمون رشد و کورتیزول در هر دو نوع تمرین همچنان در حال افزایش باقی ماند و بین دو نوع تمرین تفاوتی وجود نداشت (۱۸). همچنین نشان داده شده است که تمرین مقاومتی با بار متغیر در برابر بار ثابت به پاسخ هورمون‌های تستوسترون و کورتیزول بیشتری در مردان منجر می‌شود (۲۲)، ولی مارانچ و همکاران (۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که تفاوتی بین تمرین مقاومتی با بار ثابت در برابر بار متغیر بر پاسخ‌های بزاقی هورمون‌های تستوسترون و کورتیزول و نسبت آن‌ها در مردان تمرین‌کرده مقاومتی وجود ندارد (۲۳). با توجه به متناقض بودن تحقیقات گذشته و عدم توافق پژوهشگران در زمینه سازگاری‌های هورمونی در پی تمرینات مقاومتی با بار متغیر در مقابل تمرینات مقاومتی با بار ثابت نیاز است که مطالعات بیشتر در این زمینه انجام گیرد. بنابراین هدف پژوهش حاضر بررسی تفاوت تأثیر تمرین مقاومتی با بار متغیر در مقابل بار ثابت بر پاسخ‌های حاد و مزمن هورمون‌های آنابولیک-کاتابولیک در مردان تمرین‌کرده بود.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: این تحقیق به صورت کاربردی و از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون انجام گرفت. ۳۰ مرد تمرین‌کرده داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند و به‌طور تصادفی به سه گروه تمرین مقاومتی با بار متغیر (۱۰ نفر)، گروه تمرین مقاومتی با بار ثابت (۱۰ نفر) و گروه کنترل (۱۰ نفر) تقسیم شدند. حجم نمونه به کمک نرم‌افزار G-Power نسخه ۳٫۱٫۱ و بر اساس توان آماری ۰/۸۰، خطای ۰/۰۵ و تعداد سه گروه و دو مرحله اندازه‌گیری برآورد شد.

شد که کورتیزول پس از شش و ۱۱ هفته تمرین مقاومتی معمولی کاهش معنادار پیدا کرد، درحالی‌که در گروه تمرینی تا سر حد خستگی این اتفاق نیفتاد. همچنین تستوسترون پس از شش هفته تغییری نکرد، ولی پس از ۱۱ هفته تمرین مقاومتی معمولی افزایش یافت (۱۲). درحالی‌که در پژوهش دیگری نشان داده شد که ده هفته تمرین مقاومتی دایره‌ای در مردان جوان اثری بر غلظت هورمون‌های تستوسترون و کورتیزول و نسبت این دو نداشت (۱۳). در تحقیقی مشابه نیز مشخص شد که ده هفته تمرین مقاومتی با حجم‌های گوناگون (سه نوبت در برابر شش نوبت) اثری بر غلظت تستوسترون و کورتیزول اداری مردان جوان تمرین‌کرده ندارد (۱۴). از طرفی، تمرین مقاومتی با بار متغیر، یکی دیگر از شیوه‌های تمرینی مقاومتی انطباقی است. در این شیوه تمرینی برخلاف تمرین سنتی با بار ثابت، از زنجیر یا نوار الاستیکی برای تغییر در بار اعمال‌شده روی عضله استفاده می‌شود. این شیوه تمرین می‌تواند به طرز مؤثرتری ضعیف‌ترین نقطه از دامنه حرکتی را تحریک کند، همچنین با اعمال بار متغیر، مقاومت بیشتری را در نواحی با قدرت زیادتر ایجاد کند تا منحنی‌های تولید نیروی عضلات اسکلتی در محدوده وسیع‌تری عمل کنند (۱۵). این در حالی است که تمرین با مقاومت ثابت، تحریک عضلانی مؤثر در ضعیف‌ترین نقطه از دامنه حرکتی ایجاد نمی‌کند (۱۶)، ولی تمرین مقاومتی با بار متغیر سبب افزایش فراخوانی واحد حرکتی و میزان نرخ تحریک و تأثیرات بیشتر تمرین می‌شود (۱۷). از طرفی تمرین مقاومتی با بار متغیر موجب تحریک بیشتر عضلات در مرحله برون‌گرا می‌شود و در نتیجه سرعت توسعه نیرو را افزایش می‌دهد. در پی سازگاری عصبی-عضلانی با تمرین مقاومتی با بار متغیر، تارهای عضلانی و واحدهای حرکتی بیشتری برای مشارکت در انقباض درگیر می‌شوند که میزان تنش در مرحله برون‌گرا و درون‌گرا را افزایش می‌دهد (۱۶). گزارش‌ها نشان می‌دهد که تمرین مقاومتی با بار متغیر نسبت به ثابت از طریق القای خستگی عامل بهبود پاسخ‌های هورمونی در مردان است (۱۸). همچنین برخی تحقیقات نشان داده‌اند که تمرین مقاومتی با بار متغیر در بهبود قدرت بیشینه مؤثرتر است (۱۹،۲۰). تحقیقات انجام‌گرفته در زمینه پاسخ‌های هورمونی به شیوه‌های تمرین مقاومتی با بار متغیر محدود است. در یکی از

تغذیه خود را تغییر ندهند، البته برای اطمینان از همسان بودن رژیم غذایی آزمودنی‌ها، پرسشنامه یادآمد غذایی ۲۴ ساعته تکمیل شد. به این صورت که در هفته اول از آزمودنی‌ها خواسته شد در سه روز غیرمتوالی رژیم غذایی خود را یادداشت کنند. در هفته آخر نیز دقیقاً همین کار تکرار شد. تجزیه و تحلیل مواد غذایی توسط کارشناس تغذیه و به کمک نرم‌افزار Nutrition ۴ انجام گرفت و نتایج نشان داد بین گروه‌ها تفاوت معناداری وجود ندارد.

نمونه‌گیری بزاقی برای سنجش تستوسترون، کورتیزول و هورمون رشد پیش و پس از ده هفته تمرین انجام گرفت. مراحل اندازه‌گیری پیش و پس از اولین و آخرین جلسه تمرین با وزنه بود. طرحواره مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

معیارهای ورود به پژوهش عبارت بود از تجربه تمرین با وزنه بین یک تا دو سال، تجربه تمرین با وزنه دست‌کم سه جلسه در هفته در سال گذشته، عدم مصرف داروهای نیروزا، عدم آسیب دیدگی و مصدومیت و دامنه سنی بین ۲۰ تا ۳۰ سال. معیارهای خروج از پژوهش نیز عبارت بود از غیبت بیش از دو جلسه در تمرینات، مصدومیت و استفاده از مکمل‌ها یا داروها. پیش از شروع دوره تمرین، از هر شرکت‌کننده خواسته شد که برگه رضایت‌نامه پژوهش را مطالعه و امضا کند. پرسشنامه‌های سلامت عمومی گلدبرگ نیز تکمیل شد. مجوز اخلاقی توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه حکیم سبزواری با کد IR.NUMS.REC.1398.001 نیز اخذ شد و مطالعه تحت استانداردهای اخلاقی بیابیه هلسینکی انجام گرفت. به آزمودنی‌ها تأکید شد که

جدول ۱. طرحواره طرح پژوهش

نمونه‌گیری	۳۰ نفر مرد دارای سابقه تمرین با وزنه
گروه‌بندی	تقسیم به روش تصادفی ساده: کنترل (۱۰ نفر)، تمرین مقاومتی متغیر (۱۰ نفر)، تمرین مقاومتی ثابت (۱۰ نفر)
برآورد قدرت عضلانی	از طریق فرمول برزسکی
نمونه‌گیری بزاق (پاسخ حاد)	نمونه‌گیری بزاق پیش از تمرین - انجام برنامه تمرین - نمونه‌گیری بزاق پس از تمرین
برنامه تمرین	مدت دوره تمرین: ۱۰ هفته تعداد جلسات هفتگی: سه جلسه در هفته شدت: ۶۵ تا ۸۵ درصد IRM (زنجر ۷/۵ کیلوگرمی به طول ۳/۷۰ متر) استراحت بین نوبت و حرکت: ۱ و ۳ دقیقه حرکات: اسکوات از پشت، پرس سینه روی میز و جلو بازو در وضعیت ایستاده، کشش زیر بغل از بالای سر، پرس پا با دستگاه، پرس شانه با دستگاه و پشت بازو سیم‌کش در وضعیت ایستاده
نمونه‌گیری بزاق (پاسخ به سازگاری)	نمونه‌گیری بزاق پیش از تمرین - انجام برنامه تمرین - نمونه‌گیری بزاق پس از تمرین

بیشینه) استفاده شد. یک تکرار بیشینه حرکات در نظر گرفته شده برای شیوه تمرین مقاومتی تعیین شد. این فرمول برآورد معقولی از یک تکرار بیشینه ارائه می‌دهد، به شرطی که تعداد تکرارها از ده مرتبه بیشتر نباشد. از هر شرکت‌کننده خواسته شد وزنه‌ای را انتخاب کند که تعداد تکرار از ده مرتبه بیشتر نشود و در صورت نیاز به میزان بار اضافه شد (۲۴).

تمرین مقاومتی: برنامه تمرینی به مدت ده هفته و با تواتر سه جلسه در هفته انجام گرفت. پیش از انجام تمرین اصلی، هریک از شرکت‌کنندگان برنامه گرم کردن را در دو بخش عمومی و اختصاصی انجام دادند. برنامه

روش اجرای پژوهش: اندازه‌گیری شاخص‌های تن‌سنجی: قد و وزن هر شرکت‌کننده، توسط دستگاه سنسجش قد و وزن برند سکا ساخت آلمان اندازه‌گیری شد. میزان حساسیت سنسجش قد ۰/۰۱ متر و برای وزن ۱۰۰ گرم بود و برای شاخص توده بدن، از مجذور قد (متر) بر کیلوگرم وزن بدن به کیلوگرم بر مترمربع استفاده و ثبت شد.

اندازه‌گیری یک تکرار بیشینه: برای اندازه‌گیری یک تکرار بیشینه، ۱۵ دقیقه گرم کردن عمومی و تخصصی صورت گرفت، سپس با استفاده از فرمول برزسکی ((تعداد تکرار $\times (0/0278 - (1/0278) \div$ مقدار وزنه (kg) = یک تکرار

بود. شدت تمرین برای هر دو گروه بین ۶۵ تا ۸۵ درصد یک تکرار بیشینه بود. تنها برای گروه تمرین مقاومتی با بار متغیر یک زنجیر ۷/۵ کیلوگرمی به طول ۳/۷ متر اضافه شد. به این ترتیب که این زنجیر به میله هالتر وصل می‌شد و با بالا بردن میله خلاف جاذبه، طول بیشتری از زنجیر تحمل می‌شد و از این رو وزن افزایش می‌یافت و برعکس با پایین آوردن میله طول بیشتری از زنجیر روی زمین قرار می‌گرفت و وزن آن کاهش می‌یافت. در طول دامنه حرکت وزن جابه‌جاشده متغیر بود (۲۵). برنامه کامل تمرینی در جدول ۲ نشان داده شده است.

گرم کردن عمومی شامل دویدن با شدت کم، و برنامه گرم کردن اختصاصی شامل دو نوبت ۲۰ تکراری با ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه با فواصل استراحت ۳۰ ثانیه‌ای بین هر نوبت و ۴۵ ثانیه‌ای پس از هر حرکت بود، شایان ذکر است حرکات انتخاب شده در گرم کردن اختصاصی مشابه برنامه تمرین اصلی در نظر گرفته شده بود. برنامه تمرینی شامل حرکات اسکوات پا با هالتر، پرس سینه با هالتر، پرس پا با دستگاه، پرس سرشانه با دستگاه، کشش زیر بغل با دستگاه لت، جلوپازو با هالتر ایستاده و پشت بازو با سیم‌کش ایستاده بود. استراحت پس از هر نوبت و هر حرکت به ترتیب یک دقیقه و دو تا سه دقیقه

جدول ۲. برنامه تمرین مقاومتی با بار متغیر و با بار ثابت

هفته	شدت (درصد یک تکرار بیشینه)	تعداد نوبت	تعداد تکرار	مقاومتی اضافه شده در گروه تمرین مقاومتی با بار متغیر
اول	۶۵ تا ۷۰	۳	۱۰ تا ۱۲	زنجیر ۷/۵ کیلوگرمی اضافه شده
دوم	۶۵ تا ۷۰		۱۰ تا ۱۲	
سوم	۶۵ تا ۷۰		۱۰ تا ۱۲	
چهارم	۷۰ تا ۷۵		۸ تا ۱۰	
پنجم	۷۰ تا ۷۵		۸ تا ۱۰	
ششم	۷۰ تا ۷۵		۸ تا ۱۰	
هفتم	۷۵ تا ۸۰		۶ تا ۸	
هشتم	۷۵ تا ۸۰		۶ تا ۸	
نهم	۸۰ تا ۸۵		۴ تا ۶	
دهم	۸۰ تا ۸۵		۴ تا ۶	

استریل ۵۰ میلی‌لیتری وارد کند. نمونه بزاقی روی ظرف یخ قرار داده شد. سپس نمونه‌های بزاقی سانتریفیوژ شده و ماده رویی یا سوپرناتانت به میکروتیوب‌های ۱/۵ سی‌سی منتقل و سپس در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۲۶). اندازه‌گیری غلظت بزاقی هورمون تستوسترون، کورتیزول و هورمون رشد با روش الیزا انجام گرفت. افزون بر این، به منظور اندازه‌گیری تستوسترون و کورتیزول از کیت دیامترا ساخت ایتالیا با حساسیت ۳/۲۸ پیکوگرم در میلی‌لیتر، ۱۲/۰ نانوگرم بر میلی‌لیتر و همچنین درصد ضریب تغییر درون‌سنجشی کورتیزول ۱۰۷ < نانوگرم در میلی‌لیتر و درصد ضریب تغییر درون‌سنجشی تستوسترون ۸۰ تا ۹۰ درصد استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری هورمون رشد کیت

روش‌های آزمایشگاهی: اندازه‌گیری تستوسترون، کورتیزول و هورمون رشد: برای اندازه‌گیری سطوح سرمی تستوسترون، کورتیزول و هورمون رشد، نمونه‌گیری به روش بزاقی انجام گرفت. برای تهیه نمونه‌های بزاقی، پیش و پس از اولین و آخرین جلسه تمرین از هر شرکت‌کننده خواسته شد دست‌کم به مدت یک ساعت پیش از نمونه‌گیری هیچ نوع مواد غذایی را مصرف نکند و مسواک بزند. سپس از آنها خواسته شد که چندین بار دهان خود را دست‌کم به مدت یک دقیقه با آب مقطر شست‌وشو دهند و سپس پنج دقیقه استراحت کنند. در ضمن از آنها درخواست شد ۲۴ ساعت پیش از نمونه‌گیری از فعالیت بدنی شدید اجتناب ورزند. از هر شرکت‌کننده خواسته شد آب دهان خود را در لوله

که اثر تعاملی زمان و گروه معنادار بود، برای مقایسه‌های چندگانه از آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد. همه تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزاری آماری SPSS نسخه ۲۳ صورت پذیرفت و سطح معناداری کوچک‌تر یا مساوی از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

شاخص‌های تن‌سنجی مانند سن، قد، وزن و شاخص توده بدن در هر سه گروه در جدول ۳ گزارش شده است.

ایست بیوفارم ساخت چین با حساسیت ۰/۲۸ نانوگرم بر میلی‌لیتر و درصد ضریب تغییر درون‌سنجشی یک میلی‌گرم استفاده شد.

تحلیل آماری: به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. پیش‌فرض‌های این آزمون شامل همگنی واریانس‌ها و طبیعی بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون‌های مربوط (آزمون کرویت موخلی، لوین، کولموگروف اسمیرنوف و شاپیروویلیک) بررسی و تأیید شد. در این روش، اثر زمان، اثر گروه و اثر تعاملی زمان و گروه تحلیل شد. در مواردی

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار شاخص‌های تن‌سنجی شرکت‌کنندگان به تفکیک گروه

متغیر	گروه کنترل (میانگین و انحراف معیار)	گروه تمرین مقاومتی ثابت (میانگین و انحراف معیار)	گروه تمرین مقاومتی با بار متغیر (میانگین و انحراف معیار)
سن (سال)	۲۲/۵ ± ۲/۵	۲۳/۸ ± ۱/۳	۲۴/۳ ± ۳/۸
قد (متر)	۱/۷۷۹ ± ۰/۰۸	۱/۷۷۵ ± ۰/۰۵	۱/۷۷۹ ± ۰/۰۹۶
وزن (کیلوگرم)	۸۲/۶۰ ± ۱۰/۹	۷۸/۳۰ ± ۵/۵۲	۷۹/۸۰ ± ۱۱/۰۷
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۵/۵۴ ± ۲/۱۴	۲۵/۴۲ ± ۰/۲۱	۲۴/۷۳ ± ۲/۵۸

واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد اثر تعاملی (گروه × زمان) برای هورمون‌های تستوسترون ($P=0/377$ ؛ $\eta^2=0/90$)، کورتیزول ($P=0/570$ ؛ $\eta^2=0/50$) و هورمون رشد بزاقی ($P=0/200$ ؛ $\eta^2=0/150$) و نسبت تستوسترون به کورتیزول ($P=0/919$ ؛ $\eta^2=0/420$) معنادار نیست. به عبارتی، نتایج نشان می‌دهد که بین دو شیوه تمرین نسبت به گروه کنترل تفاوت معنادار در هورمون‌ها وجود ندارد (جدول ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر حاد و مزمن تمرین مقاومتی با بار متغیر در برابر بار ثابت بر پاسخ‌های هورمونی تستوسترون، کورتیزول و رشد در مردان تمرین‌کرده انجام گرفت. تحقیق حاضر از لحاظ روش پژوهش دارای ویژگی و جنبه نوآوری است، چراکه پاسخ‌های هورمونی هم در پاسخ به تمرین و هم در سازگاری به تمرین بررسی شد. نتایج نشان داد که هورمون تستوسترون بزاقی حاد در گروه تمرین مقاومتی با بار متغیر (۵۱ درصد) در مقایسه با گروه‌های تمرین مقاومتی با بار ثابت (۱۹ درصد) و گروه کنترل (۱۰ درصد) به طور معناداری افزایش یافته است. در مورد کورتیزول

نتایج پاسخ حاد (پس از یک جلسه) هورمون‌های تستوسترون، کورتیزول و رشد: با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر، نتایج نشان داد اثر تعاملی (گروه × زمان) برای هورمون تستوسترون بزاقی ($P=0/03$ ؛ $\eta^2=0/430$) معنادار است، ولی برای هورمون‌های کورتیزول ($P=0/640$ ؛ $\eta^2=0/40$) و رشد بزاقی ($P=0/491$ ؛ $\eta^2=0/70$) و نسبت تستوسترون به کورتیزول ($P=0/527$ ؛ $\eta^2=0/60$) معنادار نبود (جدول ۴). بنابراین آزمون تعقیبی بنفرونی برای بررسی تغییرات درون‌گروهی و بین‌گروهی هورمون تستوسترون استفاده شد و نتایج نشان داد که در گروه تمرین مقاومتی با بار متغیر در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون، تغییرات تستوسترون بزاقی افزایش معناداری داشته است ($P=0/46$). همچنین در تغییرات بین‌گروهی مشاهده شد که تمرین مقاومتی با بار متغیر نسبت به گروه کنترل در پس‌آزمون معنادار است ($P=0/03$)، همچنین با گروه تمرین مقاومتی ثابت ($P=0/01$) تفاوت معناداری وجود دارد.

نتایج پاسخ سازگاری هورمون‌های تستوسترون، کورتیزول و رشد: پس از ده هفته شرکت در برنامه‌های تمرین مقاومتی با بار متغیر و ثابت، پاسخ به سازگاری یک جلسه تمرین بررسی شد. نتایج آزمون تحلیل

جدول ۴. نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر مقادیر هورمون تستوسترون، کورتیزول، هورمون رشد و نسبت تستوسترون به کورتیزول در پیش‌آزمون و پس‌آزمون بین گروه‌ها

متغیر	گروه	پیش‌آزمون		ضرب تغییرات	پس‌آزمون		پاسخ حاد
		(انحراف معیار ± میانگین)	(انحراف معیار ± میانگین)		(انحراف معیار ± میانگین)	(انحراف معیار ± میانگین)	
تستوسترون (میکروگرم بر میلی‌لیتر)	کنترل	۱۵۷/۱۸ ± ۴۲/۷۲	۱۲۵/۸۵ ± ۵۷/۱۰	-۱۰/۱	۱۲۵/۸۵ ± ۵۷/۱۰	۱۹۵/۰۸ ± ۹۴/۴۰	۱۲۵/۸۵ ± ۵۷/۱۰
		۲۴۴/۳۵ ± ۱۴۵/۱۰	۲۷۴/۶۶ ± ۲۲۵/۵۷	-۱۹/۱	۲۷۴/۶۶ ± ۲۲۵/۵۷	۲۷۴/۶۶ ± ۲۲۵/۵۷	۲۷۴/۶۶ ± ۲۲۵/۵۷
		۱۸۱/۴۷ ± ۹۳/۷۸	۱۱۷/۰۷ ± ۶/۹۹	+۵۱/۳	۱۸۱/۴۷ ± ۹۳/۷۸	۱۸۱/۴۷ ± ۹۳/۷۸	۱۸۱/۴۷ ± ۹۳/۷۸
کورتیزول (نانوگرم بر میلی‌لیتر)	کنترل	۱۱/۱۷ ± ۵/۲۳	۷/۵۰ ± ۲/۳۹	-۳۲/۸	۷/۵۰ ± ۲/۳۹	۹/۳۵ ± ۹/۳۵	۷/۵۰ ± ۲/۳۹
		۱۲/۲۱ ± ۱۵/۶۵	۲/۷۲ ± ۱/۹۸	-۲۳/۴	۲/۷۲ ± ۱/۹۸	۲/۷۲ ± ۱/۹۸	۲/۷۲ ± ۱/۹۸
		۲/۵۱ ± ۱/۶۲	۲/۳۵ ± ۰/۹۷	+۸/۳	۲/۵۱ ± ۱/۶۲	۲/۳۵ ± ۰/۹۷	۲/۵۱ ± ۱/۶۲
هورمون رشد (نانوگرم بر میلی‌لیتر)	کنترل	۲/۶۲ ± ۲/۴۰	۱/۸۱ ± ۰/۴۴	-۳۰/۹	۱/۸۱ ± ۰/۴۴	۲/۶۲ ± ۲/۴۰	۱/۸۱ ± ۰/۴۴
		۱۶/۲۲ ± ۶/۵۴	۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰	+۲۶/۷	۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰	۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰	۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰
		۲۳/۶۰ ± ۱۶/۳۸	۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴	+۱۹/۸	۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴	۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴	۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴
نسبت تستوسترون به کورتیزول	کنترل	۲۶/۸۰ ± ۱۸/۳۲	۳۸/۷۸ ± ۳۵/۸۳	+۴۴/۷	۳۸/۷۸ ± ۳۵/۸۳	۳۸/۷۸ ± ۳۵/۸۳	۳۸/۷۸ ± ۳۵/۸۳
		۱۶/۲۲ ± ۶/۵۴	۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰	+۲۶/۷	۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰	۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰	۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰
		۲۳/۶۰ ± ۱۶/۳۸	۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴	+۱۹/۸	۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴	۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴	۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴

سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ است.

ادامه جدول ۴. نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر مقادیر هورمون تستوسترون، کورتیزول، هورمون رشد و نسبت تستوسترون به کورتیزول در پیش‌آزمون و پس‌آزمون بین گروه‌ها

اثر متقابل	نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری		پس‌آزمون		پیش‌آزمون		گروه	منفبر
	گروه	زمان	ضریب تغییرات	انحراف معیار ± میانگین	انحراف معیار ± میانگین	انحراف معیار ± میانگین		
$p = 0/377$ $(\eta^2 = 0/090)$	$p = 0/993$ $(\eta^2 = 0/001)$	$*p = 0/019$ $(\eta^2 = 0/240)$	- ۲۲/۹	باسخ سازگاری		۳۲۳/۶۸ ± ۲۸۱/۰۰	کنترل	تستوسترون (پیگروگرم بر میلی لیتر)
				۲۴۹/۵۲ ± ۱۴۴/۲۵	تمرین مقاومتی با بار ثابت			
				۲۹۵/۷۵ ± ۱۶۹/۰۸	تمرین مقاومتی با بار متغیر			
$p = 0/570$ $(\eta^2 = 0/050)$	$*p = 0/001$ $(\eta^2 = 0/500)$	$*p = 0/002$ $(\eta^2 = 0/510)$	- ۲۵/۸	کنترل		۱۲/۶۴ ± ۶/۷۰	کنترل	کورتیزول (نانوگرم بر میلی لیتر)
				۹/۳۷ ± ۶/۳۰	تمرین مقاومتی با بار ثابت			
				۹/۴۳ ± ۳/۴۱	تمرین مقاومتی با بار متغیر			
$p = 0/600$ $(\eta^2 = 0/150)$	$*p = 0/005$ $(\eta^2 = 0/410)$	$*p = 0/015$ $(\eta^2 = 0/260)$	- ۱۸/۱	کنترل		۲/۵۴ ± ۲/۵۸	کنترل	هورمون رشد (نانوگرم بر میلی لیتر)
				۲/۰۸ ± ۰/۹۸	تمرین مقاومتی با بار ثابت			
				۲/۴۵ ± ۱/۲۲	تمرین مقاومتی با بار متغیر			
$p = 0/919$ $(\eta^2 = 0/460)$	$p = 0/115$ $(\eta^2 = 0/500)$	$*p = 0/013$ $(\eta^2 = 0/270)$	+ ۲۸/۵	کنترل		۱۶/۳۲ ± ۶/۵۴	کنترل	نسبت تستوسترون به کورتیزول
				۲۰/۶۹ ± ۷/۱۰	تمرین مقاومتی با بار ثابت			
				۲۸/۲۹ ± ۱۷/۰۴	تمرین مقاومتی با بار متغیر			
			+ ۴۲/۷			۲۳/۶۰ ± ۱۶/۳۸		
			+ ۴۱/۴			۲۶/۸۰ ± ۱۸/۳۲		

سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ است.

آن است که تمرینات مقاومتی با شدت بالا و دوره‌های کوتاه استراحت و به‌کارگیری عضلات بزرگ به پاسخ‌های هورمونی بیشتری نسبت به تمرینات مقاومتی با حجم کم و دوره‌های طولانی استراحت منجر می‌شود (۲۷). درحالی‌که بیشتر پژوهش‌ها حاکی از آن است که شدت تمرین عامل اصلی اثرگذاری روی هورمون‌هاست، در یکی از پژوهش‌ها با هدف مقایسه پاسخ‌های هورمونی به تمرینات مقاومتی با شدت متوسط و شدت بالا، عنوان شد که شدت متوسط نیز برای تأثیر معنادار بر غلظت تستوسترون کافی است و نیازی به اعمال شدت‌های بالای تمرین نیست (۸). درحالی‌که در تحقیقی دیگر، تغییر معناداری در سطح هورمون تستوسترون و کورتیزول بلافاصله پس از تمرین مقاومتی توانی با شدت بالا و بار ثابت اتفاق نیفتاد (۷). همچنین درحالی‌که به‌نظر می‌رسد حجم عضلات درگیر عامل مهم در تأثیرگذاری بر هورمون‌ها باشد، در تحقیقی نشان داده شد بین دو نوع تمرین مقاومتی یکطرفه (تک پا) و دوطرفه (دوپا) تفاوتی از لحاظ تأثیر بر هورمون تستوسترون و کورتیزول وجود ندارد و هر دو نوع تمرین موجب افزایش مشابهی در این هورمون‌ها در مردان تمرین‌کرده می‌شوند (۱۰). در بعضی پژوهش‌ها نیز نشان داده شده است که تغییرات تستوسترون تحت تأثیر حجم و شدت تمرین نیست، ولی تغییرات کورتیزول به شدت بالای تمرین وابسته است. این محققان تغییرات لاکتات خون، کاهش یون هیدروژن، افزایش فعالیت آدرنرژیک و کاتکولامینی را سازوکار اثرگذار بر تغییرات هورمونی می‌دانند (۲۹). البته این موضوع مورد توافق همه پژوهشگران نیست، چراکه همبستگی و رابطه مستقیم معنادار بین شدت تمرین، تولید اسید لاکتیک و ترشح تستوسترون و هورمون رشد در پژوهش‌های دیگر در پاسخ به تمرین تأیید شده است (۳۰، ۳۱). از این رو هرچند در این تحقیق اسید لاکتیک اندازه‌گیری نشد که می‌تواند از محدودیت‌های پژوهش حاضر باشد، ولی می‌توان احتمال داد که افزایش تستوسترون پس از تمرین ناشی از افزایش اسید لاکتیک باشد، چراکه این موضوع در پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده شده است (۳۰، ۳۱). افزایش تستوسترون در پی تمرین مقاومتی در مرحله حاد را می‌توان به دلیل تبدیل آندروستندیون به تستوسترون به دنبال تمرین مقاومتی و کاهش جذب کبدی یا کاهش جریان خون کبدی و تحریک مستقیم عصبی بیضه برای آزادسازی

با اینکه کاهش را در گروه تمرین مقاومتی با بار ثابت (۳۲ درصد)، تمرین مقاومتی با بار متغیر (۲۳ درصد) و گروه کنترل (۴۰ درصد) مشاهده شد، ولی اختلاف معنادار نبود. افزایش تقریباً دوبرابری در نسبت بزاقی تستوسترون به کورتیزول در گروه تمرین مقاومتی با بار متغیر (۴۴ درصد) در مقایسه با دو گروه تمرین مقاومتی (۱۹ درصد) و کنترل (۲۶ درصد) مشاهده شد، ولی اختلاف معنادار نبود. همچنین تغییرات حاد هورمون رشد بین گروه‌ها معنادار نبود. نتایج پاسخ به سازگاری پس از ده هفته نشان داد که اختلاف معناداری بین گروه‌ها در هورمون تستوسترون، کورتیزول، رشد و نسبت تستوسترون به کورتیزول وجود ندارد. با این همه، تغییرات ۹/۷، ۱۰/۹ و ۲۳ درصدی برای تستوسترون، تغییرات ۴۵، ۴۴ و ۲۵ درصدی برای کورتیزول، تغییرات ۳۲/۶، ۴۳ و ۲۸ درصدی نسبت تستوسترون به کورتیزول و تغییرات ۹، ۲۰ و ۲۵ درصدی برای هورمون رشد در گروه‌های تمرین مقاومتی با بار متغیر، با بار ثابت و گروه کنترل مشاهده شد.

همسو و مشابه پژوهش حاضر، در تحقیقی نشان داده شد یک وهله تمرین مقاومتی با شدت بالا به افزایش معنادار تستوسترون در مردان جوان پس از تمرین منجر شد (۲۸). همچنین نتایج تحقیق دیگری حاکی از آن بود که یک جلسه تمرین مقاومتی سوپرست با شدت متوسط در مردان میانسال تمرین‌کرده پاسخ افزایشی معنادار تستوسترون را پس از تمرین به همراه دارد، ولی تأثیری بر سطوح کورتیزول ندارد (۵). در مقابل، در تحقیقی نشان داده شد دو شیوه تمرین مقاومتی با شدت متوسط و بالا اثری بر غلظت تستوسترون و کورتیزول ورزشکاران پرورش اندام بلافاصله و یک ساعت پس از تمرین ندارد (۴). در بررسی اثر یک جلسه تمرین ترکیبی (مقاومتی-توانی) در بازیکنان نیمه حرفه‌ای راگبی نیز مشخص شد تستوسترون بزاقی افزایش اندک، درحالی‌که کورتیزول بزاقی افزایش چشمگیر را نشان می‌دهد (۶). عوامل گوناگونی بر پاسخ‌های حاد هورمون تستوسترون به تمرین مقاومتی دخیل است. نشان داده شده است میزان افزایش تستوسترون (سرمی) به توده عضلانی، شدت و حجم تمرین، وضعیت تغذیه‌ای و تجربه تمرینی فرد وابسته است. در این بین بر اساس نتایج برخی پژوهش‌ها توده عضلانی درگیر سهم بیشتری در پاسخ تستوسترون دارد. پژوهش‌ها حاکی از

تمرین مقاومتی گزارش کردند. آنها کاهش کورتیزول را به کاهش میزان تجزیه پروتئین و فعالیت هورمون آدرنوکورتیکوتروپیک نسبت دادند (۳۷). با توجه به اینکه تمرین مقاومتی میزان تجزیه پروتئین را کاهش می‌دهد، به نظر می‌رسد عدم تغییرات معنادار هورمون کورتیزول به وضعیت تمرینی افراد شرکت‌کننده وابسته باشد که به تمرین مقاومتی سازگار شده‌اند. نتایج پژوهش اراضی و همکاران (۲۰۲۰) و واکر و همکاران (۲۰۱۳) نیز مغایر نتایج پژوهش حاضر بود. اراضی و همکاران (۲۰۲۰) پس از هشت هفته تمرین مقاومتی با بار متغیر در مقابل تمرین مقاومتی ثابت به این نتیجه رسیدند که برنامه تمرینی با شیوه متغیر می‌تواند بر پاسخ‌های هورمونی و مایوکاینی اثرگذار باشد (۳۷). واکر و همکاران (۲۰۱۳) نیز استدلال کردند که غلظت تستوسترون، کورتیزول و هورمون رشد پس از ده هفته تمرین مقاومتی با بار متغیر تأثیر معناداری داشته است (۲۲)، به نظر می‌رسد که تغییرات غلظت هورمونی در افراد تمرین‌کرده ناشی از اثر سقف تمرینی است که می‌تواند خود به دلیل سازگاری به تمرین، تغییر در تعداد گیرنده‌های آندروژنیک و شدت ناکافی تمرین باشد (۵).

نتایج پژوهش حاضر افزایش معنادار تستوسترون و کاهش غیرمعنادار کورتیزول (در پاسخ به تمرین حاد) و افزایش غیرمعنادار نسبت تستوسترون به کورتیزول را به دنبال تمرین مقاومتی با بار متغیر در برابر تمرین ثابت نشان داد که تا حدی می‌تواند تأییدکننده تأثیرات حاد تمرین مقاومتی با بار متغیر باشد که طی آن تنش اضافه‌شده ناشی از زنجیر توانسته است از طریق فشار مکانیکی و فراخوانی بیشتر تارهای تندانقباض نقش مؤثر در تحریک هورمون‌ها به صورت مستقل داشته باشد (۳۹). بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان گفت افزایش تستوسترون در پی تمرین مقاومتی با بار متغیر احتمالاً در فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیک به‌ویژه فسفوریلاسیون پروتئین MAPK (ERK1/2) پس از جلسه تمرین نقش مؤثری داشته باشد (۲۱). با این همه، اطلاعات کمی در مورد پاسخ‌های هورمونی به دنبال تمرین مقاومتی با بار متغیر وجود دارد و نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه پاسخ‌های هورمونی به این نوع تمرینی وجود دارد. تحقیق حاضر نیز مانند هر پژوهش دیگری محدودیت‌هایی داشت که از جمله می‌توان به عدم اندازه‌گیری لاکتات در مرحله پاسخ

تستوسترون نیز دانست (۱۰). ولی با توجه به اینکه در این پژوهش از افراد تمرین‌کرده استفاده شد و به دلیل اینکه افراد تمرین‌کرده در مقایسه با افراد تمرین‌نکرده در بروز سازگاری‌ها به اثر سقف یا پنجره سازگاری رسیده‌اند (۳۴)، تصور می‌شود اگر شدت تمرین بیشتر یا زمان استراحت بین نوبت‌ها یا حرکات کمتر بود، شاهد تغییرات در سطوح هورمونی در هر دو گروه بودیم.

اما نتایج پژوهش حاضر در بخش پاسخ به سازگاری نیز جالب و در نوع خود جدید بود. نتایج نشان داد که ده هفته تمرین مقاومتی با بار ثابت و بار متغیر تأثیری در غلظت هورمون‌های تستوسترون، رشد و کورتیزول نداشت. مشابه با پژوهش حاضر، مارنگ و همکاران (۲۰۱۸) تفاوت معناداری در غلظت هورمون تستوسترون و کورتیزول در مردان تمرین مقاومتی با بار متغیر مشاهده نکردند (۲۳). اما آنتین و همکاران (۲۰۰۵) اثر تمرین مقاومتی با شدت ده تکرار بیشینه را با دو فاصله استراحتی دو و پنج دقیقه‌ای بین نوبت‌ها بر تغییرات هورمونی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که هر دو شیوه تمرین سبب افزایش هورمون تستوسترون، کورتیزول و هورمون رشد می‌شود، ولی بین دو شیوه تمرین تفاوت معنادار وجود ندارد. این پژوهشگران علت این نتایج را کاهش پاسخ فشار و یا کاهش تولید هورمون در افراد تمرین‌کرده در اثر تمرین بیان کردند (۳۵). مانجین و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که تمرین با حجم بالا (چهار نوبت ۱۰ تا ۱۲ تکراری با ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه و یک دقیقه استراحت بین هر ست) در مقابل تمرین با شدت بالا (چهار نوبت سه تا پنج تکراری با ۹۰ درصد یک تکرار بیشینه و سه دقیقه استراحت بین هر ست) می‌تواند با تغییرات متفاوتی بر سطوح هورمونی پس از تمرین بر روی افراد تمرین‌کرده همراه باشد. آنان استدلال کردند که ده هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا در پی انجام تمرین مقاومتی با حجم بالا افزایش سطوح هورمون تستوسترون، کورتیزول و هورمون رشد تا ۶۰ دقیقه پس از ده هفته تمرین مشاهده می‌شود که تغییرات افزایشی لاکتات خون را مؤثر دانستند. البته ایشان عدم تغییرات در تمرین با شدت بالا را به استراحت بیشتر و سازگاری افراد تمرین‌کرده به تمرینات شدید نسبت دادند (۳۶). اراضی و همکاران (۲۰۱۲) نیز برخلاف تحقیق حاضر، افزایش معنادار هورمون رشد و تستوسترون و کاهش کورتیزول را پس از هشت هفته

- derson JM, Volek JS, Maresh CM. Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements. *Sports Med.* 2010 Dec 1;40(12):1037-53.
4. Haghghi A H, Mahmoudi M, Delgosha H. Hormonal responses to two programs of exhaustive resistance training of different intensities in male body builders. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism* 2012; 14 (3) :267-274. (In Persian)
 5. Cadore EL, Lhullier FL, Brentano MA, da Silva EM, Ambrosini MB, Spinelli R, Silva RF, Kruel LF. Hormonal responses to resistance exercise in long-term trained and untrained middle-aged men. *J Strength Cond Res.* 2008 Sep;22(5):1617-24.
 6. Beaven CM, Gill ND, Ingram JR, Hopkins WG. Acute salivary hormone responses to complex exercise bouts. *J Strength Cond Res.* 2011 Apr;25(4):1072-8.
 7. Fry A, Lohnes C. Acute testosterone and cortisol responses to high power resistance exercise. *Human physiology.* 2010;36(4):457-61.
 8. Rietjens R. Acute Testosterone Responses to Different Resistance Exercise Intensities. University of Nevada, Las Vegas. UNLV Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones, 2014.8(1): 10-15.
 9. Miranda H, De Souza JAA, Scudese E, Paz GA, Salerno VP, dos Santos Vigório P, et al. Acute hormone responses subsequent to agonist-antagonist paired set vs. traditional straight set resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2020;34(6):1591-9.
 10. Walker S, Häkkinen K, Newton RU, Markworth JF, Pundir S, Haff GG, et al. Acute responses of comprehensive gonadosteroids and corticosteroids to resistance exercise before and after 10 weeks of supervised strength training. *Experimental Physiology.* 2020;105(3):438-48.
 11. Arazi H, Damirchi A, Asadi A. Age-related hormonal adaptations, muscle circumference and strength development with 8 weeks moderate intensity resistance training. *Ann Endocrinol (Paris).* 2013 Feb;74(1):30-5.
 12. Izquierdo M, Ibáñez J, González-Badillo JJ, Häkkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, French DN, Eslava J, Altadill A, Asaín X, Gorostiaga EM. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* (1985). 2006 May;100(5):1647-56.
 13. Harber MP, Fry AC, Rubin MR, Smith
- اشاره کرد. همچنین با توجه به اینکه بخشی از برنامه تمرین مصادف با همه‌گیری کرونا شد، در دو هفته آخر تمرین، نظم آزمودنی‌ها در شرکت در برنامه تمرینی با اختلال مواجه شد، هرچند همه آزمودنی‌ها بیش از ۷۰ درصد جلسات تمرینی را تکمیل کردند.
- نتایج به دست آمده از تغییرات حاد و مزمن هورمون‌های تستوسترون، کورتیزول و هورمون رشد نشان داد که افزایش هورمون تستوسترون در وضعیت حاد رفتاری مستقل از دیگر هورمون‌ها در پی تمرین مقاومتی با بار متغیر بود، ولی در بلندمدت تغییرات هورمونی بین دو شیوه تمرین مقاومتی با بار متغیر و تمرین مقاومتی با بار ثابت یکسان بودند. بنابراین شاید تنش یا انقباض عضلانی بیشتر در دامنه حرکتی انجام حرکت به دنبال تمرین مقاومتی با بار متغیر، یک متغیر قابل دستکاری تعیین‌کننده در مقایسه با دیگر متغیرهای تمرینی، تحریک‌کننده هورمونی در بلندمدت نیست و نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه کماکان وجود دارد.
- تشکر و قدردانی**
- از آزمودنی‌های این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.
- حامی / حامیان مالی**
- این مقاله برگرفته از رساله دانشجوی دکتری است و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه حکیم سبزواری انجام گرفته است.
- مشارکت نویسندگان**
- همه نویسندگان در مقاله سهم یکسان دارند.
- تعارض منافع**
- هیچ‌گونه تعارض منافی بین نویسندگان وجود ندارد.
- منابع**
1. Kraemer WJ, Ratamess NA, Hymer WC, Nindl BC, Fragala MS. Growth hormone (s), testosterone, insulin-like growth factors, and cortisol: roles and integration for cellular development and growth with exercise. *Frontiers in endocrinology.* 2020: 33(11):1-25.
 2. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med.* 2005;35(10):841-51.
 3. Vingren JL, Kraemer WJ, Ratamess NA, An-

- JC, Weiss LW. Skeletal muscle and hormonal adaptations to circuit weight training in untrained men. *Scand J Med Sci Sports*. 2004 Jun;14(3):176-85.
14. Ostrowski KJ, Greg WJ.; Weatherby, Murphy R, Lyttle PW, Lyttle LD. The Effect of Weight Training Volume on Hormonal Output and Muscular Size and Function. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1997, 11(3): 148-154.
 15. Smith CM, Housh TJ, Hill EC, Keller JL, Anders JPV, Johnson GO, et al. Variable resistance training versus traditional weight training on the reflex pathway following four weeks of leg press training. *Somatosensory & motor research*. 2019;36(3):223-9.
 16. Lin Y, Xu Y, Hong F, Li J, Ye W, Korivi M. Effects of variable-resistance training versus constant-resistance training on maximum strength: a systematic review and meta-analysis. *International journal of environmental research and public health*. 2022;19(14):8559.
 17. Wilson J, Kritiz M. Practical guidelines and considerations for the use of elastic bands in strength and conditioning. *Strength & Conditioning Journal*. 2014;36(5):1-9.
 18. Walker S, Taipale RS, Nyman K, Kraemer WJ, Häkkinen K. Neuromuscular and hormonal responses to constant and variable resistance loadings. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(1):26-33.
 19. Dos Santos WDN, Gentil P, de Araújo Ribeiro AL, Vieira CA, Martins WR. Effects of variable resistance training on maximal strength: a meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(11):e52-e5.
 20. Andersen V, Prieske O, Stien N, Cumming K, Solstad TEJ, Paulsen G, et al. Comparing the effects of variable and traditional resistance training on maximal strength and muscle power in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2022;25(12):1023-1032.
 21. Paunksnis MR, Evangelista AL, La Scala Teixeira CV, Alegretti Joro G, Pitta RM, Alonso AC, et al. Metabolic and hormonal responses to different resistance training systems in elderly men. *The Aging Male*. 2018;21(2):106-10.
 22. Walker S, Hulmi JJ, Wernbom M, Nyman K, Kraemer WJ, Ahtiainen JP, et al. Variable resistance training promotes greater fatigue resistance but not hypertrophy versus constant resistance training. *European journal of applied physiology*. 2013;113(9):2233-44.
 23. Marang CP. The effects of elastic variable resistance training on chronic endocrine adaptations in resistance-trained men: Southern Connecticut State University; 2018;239(18):1-12.
 24. Brzycki M. Strength testing, predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of physical education, recreation & dance*. 1993;64(1):88-90.
 25. McMaster DT, Cronin J, McGuigan M. Forms of variable resistance training. *Strength and Conditioning Journal* 2009, 31(1): 50-64.
 26. Henson BS, Wong DT. Collection, storage, and processing of saliva samples for downstream molecular applications. *Oral Biology: Springer*; 2010. p. 21-30.
 27. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med*. 2005;35(4):339-61.
 28. Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RU, Nindl BC, Volek JS, McCormick M, Gotshalk LA, Gordon SE, Fleck SJ, Campbell WW, Putukian M, Evans WJ. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol* (1985). 1999 Sep;87(3):982-92.
 29. Leite R, Prestes J, Rosa C, De Salles B, Maior A, Miranda H, et al. Acute effect of resistance training volume on hormonal responses in trained men. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2011;51(2):222-21.
 30. Vakili J, Nikookheslat S, Pakzad Hassanlou F. The effect of four weeks of resistance training with and without blood flow restriction on levels of anabolic and catabolic hormonal markers in middle-aged sedentary males. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2022, 15 (1): 45-56.(In Persian).
 31. Tartibian B, Derafshi B, Abbasi A. Responses of metabolic and anabolic hormones to upper and lower body incremental exercise in young professional karate players. *Journal of Sport and Exercise Physiology*, 2009, 2 (1): 189-198. (In Persian).
 32. Brown GA, McKenzie D. Acute resistance exercise does not change the hormonal response to sublingual androstenediol intake. *European journal of applied physiology*. 2006;97(4):404-12.
 33. Chen CC, Chen CW, Lin PH, Chou JC, Weng TC, Jian CY, et al. Interactive effect of corticosterone and lactate on reg-

- ulation of testosterone production in rat Leydig cells. *Journal of Cellular Physiology*. 2017;232(8):2135-44.
34. Schoenfeld B, Grgic J. Evidence-based guidelines for resistance training volume to maximize muscle hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal*. 2018;40(4):107-12.
35. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Häkkinen K. Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2005;19(3):572-82.
36. Mangine GT, Hoffman JR, Gonzalez AM, Townsend JR, Wells AJ, Jajtner AR, et al. The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men. *Physiological reports*. 2015;3(8):e12472.
37. Arazi H, Damirchi A, Faraji H, Rahimi R. Hormonal responses to acute and chronic resistance exercise in middle-age versus young men. *Sport Sciences for Health*. 2012;8. 56-65 :(1).
38. Arazi H, Salek L, Nikfal E, Izadi M, Tufano JJ, Elliott BT, et al. Comparable endocrine and neuromuscular adaptations to variable vs. constant gravity-dependent resistance training among young women. *Journal of Translational Medicine*. 2020;18 1-12 :(1).
39. Wallace BJ, Bergstrom HC, Butterfield TA. Muscular bases and mechanisms of variable resistance training efficacy. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2018;13(6):1177-88.

Original Article

Comparison of the effect of Tabata training on soft and hard surfaces on left ventricular structure and function and some physical fitness factors in elite beach soccer playersHamed Mohamadi Bazneshin^{ORCID}, Arsalan Damirchi^{ORCID}, Hamid Arazi^{ORCID}

Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Abstract

Background and Purpose: Repeated exercise on sand may lead to overreaching due to higher energy costs than hard surfaces. Therefore, it will be necessary to create variety in training. Tabata training is a type of high-intensity interval training (HIIT), which has been reported to improve some physical fitness factors in team sport players. However, no research has been done regarding its effects on the fitness of beach soccer players. Thus, the aim of the present study was to compare the effect of six weeks of Tabata training on indoor hardcourt vs. sand on some physical fitness factors and the structure and function of the left ventricle in elite beach soccer players.

Materials and Methods: Sixteen players from one of the Iran Premier Beach Soccer League teams were randomly divided into two equal groups including the sand group and the indoor group. Except for the type of training surface, other training variables were similar between the groups. Each exercise set was performed for 4 min (20 s exercise: 10 s rest). The protocol was performed in three sessions a week and the duration of each session was 34 to 39 minutes (7 to 8 sets). Cardiac variables (two-dimensional echocardiography) and physical fitness factors were measured at 72 h and 48 h, before and after the training period respectively. Moreover, the food consumed by the players on the test days was similar. The analysis of covariance (ANCOVA) test was used to determine the differences between the groups at $P < 0.05$.

Results: The increase in stroke volume (SV; $P < 0.001$) and the left ventricular end-diastolic volume ($P = 0.003$), and the decrease in the relative left ventricular posterior wall thickness ($P = 0.042$) were significantly higher in the sand group than in the indoor group. Except for peak anaerobic power in the indoor group ($P = 0.604$), the improvement observed in other physical fitness factors was significant in both groups ($P < 0.05$). However, no significant difference was observed between the groups in terms of relative VO_2max ($P = 0.58$), peak ($P = 0.134$), minimum ($P = 0.913$), and average ($P = 0.50$) anaerobic power, explosive power ($P = 0.702$), 30-m sprint ($P = 0.23$) and agility ($P = 0.884$).

Conclusion: Compared to indoor hardcourt, it seems that six weeks of Tabata training on sand increases the SV of elite beach soccer players through a greater venous return to the heart. However, no difference was observed between training on sand or indoor hardcourt in terms of aerobic power, anaerobic power parameters, explosive power, speed of movement, and agility performance. Therefore, the use of Tabata training protocol on a standard indoor hardcourt is recommended to create a variety of conditioning programs for beach soccer players or in situations where there is no access to a sand surface.

Keywords: Aerobic Fitness, Anaerobic Power, Sprint, Agility, Sand

How to cite this article: Mohamadi Bazneshin H, Damirchi A, Arazi H. Comparison of the effect of Tabata training on soft and hard surfaces on left ventricular structure and function, and physical fitness in elite beach soccer players. *J Sport Exerc Physiol.* 2023; 16(2): 94-104.

*Corresponding Author's E-mail: damirchi@guilan.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103588>

Received: 11/02/2023

Revised: 02/05/2023

Accepted: 10/05/2023



مقایسه اثر تمرینات تاباتا روی سطوح نرم و سخت بر ساختار و عملکرد بطن چپ و برخی عوامل آمادگی جسمانی بازیکنان زبده فوتبال ساحلی

حامد محمدی بازنشین^{۱۵}، ارسلان دمیرچی*^{۱۵}، حمید اراضی^{۱۵}

گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

چکیده

زمینه و هدف: تمرین مداوم روی ماسه به دلیل هزینه انرژی بیشتر نسبت به سطوح سخت ممکن است به تمرین زدگی منجر شود. بنابراین ایجاد تنوع در تمرینات ضروری خواهد بود. تمرینات تاباتا نوعی از تمرینات تناوبی با شدت بالاست که تأثیر آن بر بهبود برخی عوامل آمادگی جسمانی بازیکنان رشته‌های تیمی گزارش شده است. با این همه، پژوهشی درباره تأثیر آن بر آمادگی بازیکنان فوتبال ساحلی انجام نگرفته است. در نتیجه، هدف پژوهش حاضر مقایسه اثر شش هفته تمرینات تاباتا روی کفپوش سالنی نسبت به ماسه بر برخی عوامل آمادگی جسمانی و ساختار و عملکرد بطن چپ فوتبالیست‌های ساحلی زبده بود.

مواد و روش‌ها: ۱۶ بازیکن از یکی از تیم‌های لیگ برتری کشور به طور تصادفی به دو گروه مساوی شامل گروه ماسه و سالن تقسیم شدند. به جز جنس زمین تمرین، سایر متغیرهای تمرینی بین دو گروه مشابه بود. هر نوبت تمرینی به مدت چهار دقیقه (۲۰ ثانیه فعالیت: ۱۰ ثانیه استراحت) انجام گرفت. تمرینات سه جلسه در هفته انجام گرفت و مدت هر جلسه ۳۴ تا ۳۹ دقیقه (هفت تا هشت ست) بود. شاخص‌های قلبی (اکوکاردیوگرافی دوبعدی) و عوامل آمادگی جسمانی، به ترتیب ۷۲ ساعت و ۴۸ ساعت پیش و پس از دوره تمرینی اندازه‌گیری شدند. همچنین غذای مصرفی بازیکنان در روزهای انجام آزمون، مشابه بود. از آزمون تحلیل کوواریانس برای بررسی تفاوت‌های بین گروهی در سطح $P < 0.05$ استفاده شد.

نتایج: افزایش حجم ضربه‌ای (SV؛ $P < 0.001$) و حجم پایان دیاستولی بطن چپ ($P = 0.003$) و کاهش ضخامت نسبی دیواره خلفی بطن چپ ($P = 0.042$) در گروه ماسه به طور معناداری بیشتر از گروه سالن بود. به جز توان بی‌هوازی اوج در گروه سالن ($P = 0.064$)، بهبود مشاهده شده در سایر عوامل آمادگی جسمانی هر دو گروه معنادار بود ($P < 0.05$). با این همه، از نظر مقادیر نسبی VO_{2max} ($P = 0.058$)، توان بی‌هوازی اوج ($P = 0.134$)، کمینه ($P = 0.913$) و متوسط ($P = 0.05$)، توان انفجاری ($P = 0.702$)، دوی سرعت ۳۰ متر ($P = 0.23$) و چابکی ($P = 0.884$) تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد شش هفته تمرینات تاباتا روی ماسه نسبت به کفپوش سالنی موجب افزایش بیشتر SV بازیکنان زبده فوتبال ساحلی از طریق بازگشت بیشتر خون وریدی به قلب می‌شود. با این همه، از نظر توان هوازی، شاخص‌های توان بی‌هوازی، توان انفجاری، سرعت حرکت و عملکرد چابکی، تفاوتی بین انجام تمرینات روی ماسه یا کفپوش سالنی مشاهده نشد. در نتیجه، استفاده از شیوه تمرینات تاباتا روی کفپوش سالنی استاندارد برای ایجاد تنوع در برنامه آماده‌سازی بازیکنان فوتبال ساحلی یا در شرایطی که به سطح ماسه دسترسی وجود ندارد، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آمادگی هوازی، توان بی‌هوازی، سرعت، چابکی، سطح ماسه.

نحوه استناد به این مقاله: محمدی بازنشین ح، دمیرچی ا، اراضی ح. مقایسه اثر تمرینات تاباتا روی سطوح نرم و سخت بر ساختار و عملکرد بطن چپ و برخی عوامل آمادگی جسمانی بازیکنان زبده فوتبال ساحلی. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۹۴-۱۰۴.

* رایانامه نویسنده مسئول: damirchi@guilan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲

مقدمه

گرفته می‌شود که نیازهای انرژی بالایی دارد و دستگاه بی‌هوایی در تأمین نیازهای انرژی آن از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌طور متوسط، یک بازیکن فوتبال ساحلی مسافتی در حدود ۱۰۰ متر را در هر دقیقه از بازی طی می‌کند. سرعت زیاد و نسبت فعالیت به استراحت برابر ۸۴ به ۶۰ ثانیه (۱/۴ دقیقه فعالیت در برابر یک دقیقه استراحت) نشان‌دهنده آن است که این رشته ورزشی از شدت بالایی برخوردار است (۵،۶). با توجه به اصل ویژگی تمرین، باید از تمریناتی برای آماده‌سازی فوتبالیست‌های ساحلی استفاده شود که مطابق با نیازمندی‌های ویژه این رشته ورزشی تدوین و جهت‌گیری شده باشد. به نظر می‌رسد تمرینات تاباتا می‌تواند گزینه مناسبی در این باره باشد، ولی تاکنون پژوهشی درباره بررسی اثربخشی این نوع تمرینات HIIT بر عوامل آمادگی جسمانی فوتبالیست‌های ساحلی انجام نگرفته است.

از جمله سازگاری‌هایی که در ارتباط با تمرینات HIIT مطرح شده، بهبود ساختار و عملکرد قلبی و ظرفیت هوایی ورزشی است (۷). با توجه به ظرفیت تمرینات HIIT در بهبود VO2max بازیکنان فوتبال (۸-۱۰)، بخشی از این افزایش در توان هوایی بازیکنان می‌تواند به دلیل تغییرات ساختار و عملکرد قلبی باشد؛ چراکه نتایج پژوهش‌ها نشان داده است تمرینات HIIT می‌تواند در مقایسه با تمرینات تداومی با شدت متوسط، سازگاری‌های قلبی مشابه و حتی بیشتری را هم در ورزشکاران استقامتی (۱۱) و هم در افراد سالم تمرین‌نکرده (۱۲) ایجاد کند. به‌طور معمول، حجم کلی تمرین در شیوه‌های HIIT کمتر از تمرینات تداومی است و در نتیجه، از نظر مدت هر جلسه تمرین، جایگزینی کارآمد برای این نوع تمرینات محسوب می‌شود (۱۲). با این همه، برخلاف پژوهش‌های فراوانی که تأثیرات ناشی از تمرینات مداوم طولانی‌مدت را بر سازگاری‌های قلبی ورزشکاران و سایر جمعیت‌ها بررسی کرده‌اند (۱۲)، اطلاعات محدودی درباره تأثیر تمرینات HIIT و به‌ویژه، تمرینات تاباتا بر ورزشکاران رشته‌های تیمی وجود دارد. در نتیجه، بررسی تأثیرات احتمالی تمرینات HIIT بر ساختار و عملکرد قلب بازیکنان رشته فوتبال ساحلی، به‌عنوان یک رشته ورزشی با ویژگی اجرای فعالیت‌های تناوبی شدید، می‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد. در خصوص روند ایجاد سازگاری در ورزشکاران، جنس

تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) که به‌عنوان یکی از روش‌های تمرینی نسبتاً جدید مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، شامل وهله‌های کوتاه تکراری از فعالیت شدید با فواصل استراحتی بین هر وهله است (۱). در سال ۱۹۹۶، تاباتا و همکاران نوعی از تمرینات HIIT چهاردقیقه‌ای را معرفی کردند که نسبت به تمرینات با شدت متوسط یک‌ساعته، تأثیرات مشابه یا حتی بیشتری بر آمادگی هوایی و بی‌هوایی مردان جوان داشت (۲). برنامه ارائه‌شده توسط این تیم پژوهشی شامل چهار دقیقه انجام مداوم وهله‌های ۲۰ ثانیه‌ای از تمرینات با شدت ۱۷۰ درصد اکسیژن مصرفی بیشینه (VO2max) بود که ۱۰ ثانیه استراحت بین این وهله‌های فعالیت شدید در نظر گرفته شده بود. این شیوه تمرینی در مقایسه با تمرینات با شدت ۷۰ درصد VO2max موجب بهبود مشابهی در آمادگی هوایی شد و ظرفیت بی‌هوایی را نیز به مقدار ۲۸ درصد بیشتر افزایش داد (۲). پس از گزارش این نتایج، سرمربی تیم اسکیت سرعت ژاپن استفاده از این شیوه تمرینی را تحت عنوان شیوه «تمرینات تاباتا» برای آماده‌سازی ورزشکاران خود آغاز کرد. امروزه استفاده از تمرینات تاباتا در پروژه‌های پژوهشی و همچنین توسط عموم مردم در حال گسترش است، ولی به پژوهش‌های بیشتری برای شناخت جنبه‌های گوناگون این تمرینات نیاز است.

بر اساس نتایج پژوهش‌ها استفاده از تمرینات HIIT در دوره آماده‌سازی ورزشکاران رشته‌های تیمی نظیر فوتبال می‌تواند به بهبود بیشتر برخی عوامل آمادگی جسمانی فوتبالیست‌ها منجر شود (۳) و در مقایسه با تمرینات سنتی فوتبال، بهبود مشابهی را در استقامت این ورزشکاران ایجاد کند (۴). فوتبال ساحلی یکی از رشته‌های تیمی است که در سال‌های اخیر به دلیل درخشش تیم ملی ایران در رقابت‌های آسیایی و جهانی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، ولی پژوهش‌های اندکی روی فوتبالیست‌های ساحلی انجام گرفته است و اطلاعات کمی درباره جنبه‌های فیزیولوژیکی این رشته ورزشی وجود دارد. بر اساس نتایج بررسی‌ها در حدود ۶۰ درصد از زمان بازی، بازیکنان با بیش از ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه (HRmax) خود در حال فعالیت هستند. بر همین اساس، فوتبال ساحلی به‌عنوان یک رشته ورزشی تناوبی با شدت بالا در نظر

دیگری که اهمیت این پژوهش را دوچندان می‌کند، توجه به این موضوع است که دسترسی به سطح ماسه برای انجام تمرینات منظم ممکن است همه روزه برای تمامی بازیکنان در تمام فصول سال امکان‌پذیر نباشد، از این رو معرفی شیوه تمرین روی سطوح در دسترسی که بتواند کارایی مناسبی درباره بهبود عوامل آمادگی و فیزیولوژیکی بازیکنان داشته باشد، پیام کاربردی مهمی در حیطه علم تمرین خواهد داشت.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون بود. جامعه آماری پژوهش، بازیکنان فوتبال ساحلی استان گیلان بودند که ۱۶ نفر از آن‌ها به صورت نمونه در دسترس با سابقه دست‌کم چهار سال حضور در لیگ‌های برتر جوانان و بزرگسالان از بازیکنان تیم لیگ برتری شاهین خزر رودسر در این پژوهش شرکت کردند (جدول ۱). همه بازیکنان در خارج از فصل مسابقات قرار داشتند و به طور منظم در دو تا سه جلسه تمرین هفتگی شامل کار با توپ و تمرینات مقاومتی شرکت کردند. نداشتن مصدومیت اثرگذار بر عملکرد، عدم ابتلا به بیماری و انجام آزمایش کرونا پیش از حضور در تمرینات، اصلی‌ترین معیارهای انتخاب بازیکنان بود. اطلاعات لازم درباره اهداف و روند اجرای پژوهش در اختیار بازیکنان قرار گرفت و همه آنها بر گه رضایت‌نامه آگاهانه را امضا کردند. شایان ذکر است که طرح پژوهش حاضر به تأیید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه گیلان با شناسه IR.GUILAN.REC.1400.037 رسید.

زمین تمرین، عامل دیگری است که می‌تواند بر کیفیت دوره تمرینات آماده‌سازی مؤثر باشد (۱۳-۱۶). انجام تمرینات و بازی‌های مداوم روی ماسه و صرف انرژی بیشتر به دلیل کار مکانیکی بیشتر، شاید سازگاری‌هایی را در بازیکنان فوتبال ساحلی توسعه می‌دهد که به دلیل ثبات کمتر سطح ماسه نسبت به سطوح سخت‌تر است (۱۷). در مقایسه با سطوح سخت‌تر، مصرف انرژی حین یک فعالیت مشابه در ماسه به مراتب بیشتر است که در پژوهش‌های گوناگون از ۱/۳ تا ۲/۷ برابر گزارش شده است (۱۶-۱۸). در نتیجه، فعالیت در ماسه می‌تواند از طریق جذب ضربه و فشار موجب به‌کارگیری واحدهای حرکتی بیشتر و در نتیجه، فشار بیشتر نسبت به سطوح سخت شود (۱۶، ۱۷). در این زمینه ایجاد تنوع در تمرینات از مهم‌ترین اصول تمرین در جهت جلوگیری از یکنواختی دوره آماده‌سازی و دزدگی بازیکنان و در نتیجه، پیشگیری از بروز بیش‌تمرینی در بازیکنان فوتبال ساحلی محسوب می‌شود. از این رو تمرین بر سطوح سخت‌تر می‌تواند یکی از راهکارهای در دسترس و ساده برای ایجاد تنوع در برنامه آماده‌سازی بازیکنان فوتبال ساحلی تلقی شود (۱۹). با این همه، تاکنون پژوهشی بر روی بازیکنان فوتبال ساحلی به منظور مقایسه اثربخشی تمرینات بر سطوحی سخت‌تر از ماسه که بازیکنان ثبات بیشتری را در زمان تمرین تجربه می‌کنند، انجام نگرفته است. بنابراین هدف پژوهش حاضر بررسی و مقایسه اثر یک دوره تمرینات تاباتا روی کفپوش سالی نسبت به ماسه بر ساختار و عملکرد بطن چپ و برخی عوامل آمادگی جسمانی فوتبالیست‌های ساحلی زبده بود. افزون بر اهمیت نتایج این پژوهش در مورد ایجاد تنوع در تمرینات به عنوان یکی از اصول تمرین، جنبه

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های فردی بازیکنان فوتبال ساحلی

متغیرها	میانگین	انحراف استاندارد
سن (سال)	۲۳/۲۵	۲/۵۳
قد (سانتی‌متر)	۱۷۷/۴۷	۶/۱
وزن (کیلوگرم)	۷۵/۹۴	۶/۵
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۴/۱	۱/۴۱

شیوه تمرینات شامل سه جلسه در هفته اجرای حرکات تمرینی منتخب به مدت شش هفته بر اساس روش پیشنهادی تاباتا و همکاران (۱۹۹۶) بود (۲)؛ به این صورت که هر نوبت تمرینی به مدت چهار دقیقه و به صورت ۲۰ ثانیه فعالیت و ۱۰ ثانیه استراحت (نسبت کار به استراحت دو به یک) انجام گرفت. هر نوبت شامل دو حرکت تمرینی بود که در هشت تکرار به صورت یکی در میان اجرا شد و استراحت بین نوبت‌ها یک دقیقه در نظر گرفته شد. مدت جلسه تمرینی طی دوره پژوهش ۳۴ تا ۳۹ دقیقه بود که بر اساس زمان یک بازی رسمی فوتبال ساحلی در حالت عادی (۳۶ دقیقه) و در صورت کشیده شدن بازی به وقت اضافه (۳۹ دقیقه) تعیین شد. پیش از آغاز دوره تمرین، بازیکنان طی یک جلسه به طور کامل با تمرینات و شاخص ۲۰ امتیازی درک فشار بورگ (RPE-20) آشنا شدند. جزئیات بیشتر شیوه تمرینی در جدول ۲ ارائه شده است.

روش اجرای پژوهش: بازیکنان انتخاب شده به صورت تصادفی به دو گروه مساوی شامل تمرینات تاباتا روی ماسه (گروه ماسه، هشت نفر) و تمرینات تاباتا روی کفیوش سالنی (گروه سالن، هشت نفر) تقسیم شدند. تمام متغیرهای تمرینی بین دو گروه مشابه بود، به جز اینکه گروه ماسه تمرینات خود را روی ماسه ساحلی و گروه سالن تمرینات خود را داخل سالن و روی کفیوش استاندارد مسابقات فوتسال انجام دادند. از همه بازیکنان خواسته شد رژیم غذایی معمول خود را طی دوره تمرینات تغییر ندهند. همچنین صبحانه (دو کف دست نان بربری، یک قوطی کبریت پنیر، دو عدد گردو، دو قاشق مرباخوری عسل و دو عدد تخم مرغ) و ناهار (یک عدد سینه مرغ متوسط و ۱۲ قاشق برنج) بازیکنان در روزهای انجام آزمون‌های آمادگی جسمانی مشابه بود. دوره تمرینی صبح‌ها انجام گرفت و ساعت اندازه‌گیری‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشابه بود.

جدول ۲. شیوه تمرینات تاباتا در پژوهش حاضر

هفته	حرکات تمرینی هر نوبت	مدت هر جلسه	شدت (RPE-20)
۲-۱	۱. دویدن رو به جلو و عقب (Forward and Backward Running) + لمس پاشنه‌ها (Heel Touch Crunch)	۳۴ دقیقه	۱۷-۱۸
	۲. اسکوات پا باز (Sumo Squat) + پلانک با باز و بسته کردن پاها (Plank Jacks)		
	۳. پرش پهلو از روی مانع (Lateral Barrier Jump) + انقباض شکم و ضربه زدن (Flutter Kicks)		
	۴. دویدن سریع در جا (Sprint) + لانچ با پرش (Jumping Lunges)		
	۵. اسکوات با پرش و چرخش (Squat Jump with Rotation) + از حالت نشستن روی دو زانو رفتن به اسکوات (Knee to Squat)		
۳-۴	۶. بورپی با پرش رو به جلو (Burpee whit Long Jump) + دراز و نشست و رساندن دست‌ها به پنجه پا (Toe Touches Sit up)	۳۹ دقیقه	۱۹-۲۰
	۷. دویدن از پهلو (Side to Side Shuffles) + کرانچ متقاطع (Cross-Crunches)		
	نوبت‌های ۱ تا ۷ مشابه حرکات تمرینی هفته ۱-۲		
۵-۶	۸. پروانه دست‌ها روبه‌رو باز و بسته (Seal Jack) + لمس سرشانه (Shoulder tap)	۳۴ دقیقه	۱۹-۲۰
	حرکات تمرینی مشابه با هفته ۱-۲		

RPE-۲۰: شاخص ۲۰ امتیازی درک فشار بورگ

در حالت استراحتی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری، ورزشکار به پهلوئی چپ روی تخت دراز کشید و در این وضعیت، مناسب‌ترین تصویر از بطن چپ در وضعیت استراحتی طی دوره‌های سیستول و دیاستول انتخاب شد. همچنین توده بطن چپ به روش دوبعدی محاسبه شد. اندازه‌گیری‌های عوامل آمادگی جسمانی

روش‌های آزمایشگاهی: همه اندازه‌گیری‌های انجام‌گرفته در پژوهش حاضر در شرایط مشابه بین دو گروه صورت گرفت. متغیرهای قلبی ۷۲ ساعت پیش و پس از دوره تمرینی توسط پزشک متخصص قلب و عروق با استفاده از دستگاه اکوکاردیوگراف داپلر (Philips Affiniti۵۰)، ساخت هلند) در اتاق مخصوص و

پس آزمون (مقادیر پیش آزمون - مقادیر پس آزمون = تغییرات) بین دو گروه استفاده شد و مقادیر پیش آزمون به عنوان کوواریانس قرار گرفت. همچنین آزمون t وابسته برای مشخص کردن تفاوت های درون گروهی استفاده شد. تمام مراحل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت و سطح معناداری آزمون ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

شاخص های فیزیولوژیکی و عملکردی: پس از حذف اثر مقادیر پیش آزمون (به عنوان کوواریانس در آزمون ANCOVA)، از نظر تغییرات مشاهده شده در توان هوازی (P=۰/۵۸)، توان بی هوازی اوج (P=۰/۱۳۴)، کمینه (P=۰/۹۱۳) و متوسط (P=۰/۵)، و رکوردهای پرش افقی (P=۰/۷۰۲)، دوی سرعت ۳۰ متر (P=۰/۲۳) و چابکی (P=۰/۸۸۴) تفاوت معناداری بین گروه های پژوهش مشاهده نشد (جدول ۳). با این همه، بر اساس نتایج آزمون آماری t وابسته برای مقایسه تغییرات درون گروهی، به جز عدم بهبود معنادار توان بی هوازی اوج در گروه سالن (P=۰/۶۰۴)، سایر تغییرات مشاهده شده در عوامل فیزیولوژیکی و عملکردی بازیکنان هر دو گروه پس از دوره شش هفته ای تمرینات تاباتا از نظر آماری معنادار بود (P<۰/۰۵).

۴۸ ساعت پیش و پس از دوره تمرینی، در دو نوبت صبح و عصر و روی کفپوش سالنی انجام گرفت. آزمون های پرش طول، سرعت، چابکی و RAST (توان بی هوازی) در نوبت صبح و آزمون شاتل ران (آزمون بیپ) برای سنجش توان هوازی در نوبت عصر انجام گرفت. آزمون شاتل ران یک آزمون چند مرحله ای رفت و برگشت در مسیر ۲۰ متری بر اساس ضرباهنگ مشخص است. پس از تکمیل آزمون، مقادیر VO2max با استفاده از جدول ارائه شده توسط رامسباتوم و همکاران (۱۹۸۸) محاسبه شد (۲۰). متغیرهای توان بی هوازی با لاکتیک شامل توان اوج، کمینه و متوسط با استفاده از رکوردهای ثبت شده از بازیکنان در آزمون RAST محاسبه شد. این آزمون شامل شش تکرار از دویدن با حداکثر سرعت در مسافت ۳۵ متری است که بین هر تکرار استراحت ده ثانیه ای وجود دارد. آزمون پرش طول درجا به منظور ارزیابی توان انفجاری عضلات پایین تنه آزمودنی ها استفاده شد و رکورد آنان بر حسب سانتی متر ثبت شد. سرعت حرکت و چابکی، به ترتیب با استفاده از آزمون های دوی ۳۰ متر و چابکی T و بر حسب ثانیه اندازه گیری شد.

تحلیل آماری: در ابتدا، طبیعی بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون شاپیروویلیک تعیین شد. آزمون تحلیل کوواریانس (ANCOVA) برای بررسی تفاوت های مشاهده شده بین تغییرات هر متغیر از پیش آزمون تا

جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای فیزیولوژیکی و عملکردی در گروه های پژوهش

متغیرها	گروه ماسه		گروه سالن	
	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون
VO2max (mL/kg/min)	۵۴/۱۲ ± ۳/۷	۵۴/۵ ± ۵/۴	۵۴/۱۳ ± ۳/۷	۶۵/۷ ± ۲/۳
توان بی هوازی اوج (وات)	۸۳۶/۵ ± ۱۵۱/۳۴	۹۴۱ ± ۱۳۵/۶۳	۸۶۲/۱۷ ± ۱۳۸/۶	۸۸۲ ± ۹۲/۴۱
توان بی هوازی کمینه (وات)	۵۲۴/۳۳ ± ۹۰/۳۵	۵۹۷ ± ۸۵/۴	۵۰۶ ± ۴۳/۶	۵۷۷/۷ ± ۶۵/۶۳
توان بی هوازی متوسط (وات)	۶۶۷/۱۷ ± ۱۱۹/۲	۷۵۹/۵ ± ۱۰۶/۵۶	۶۳۸/۳۳ ± ۷۱/۷۸	۷۱۵/۱۷ ± ۷۰/۷۸
پرش افقی (سانتی متر)	۲۳۳/۶۷ ± ۱۱/۲۷	۲۵۵ ± ۱۱/۱۲	۲۲۶/۶۷ ± ۵/۶	۲۴۷/۶۸ ± ۷/۴
دوی ۳۰ متر (ثانیه)	۴/۲۴ ± ۰/۱۲	۴/۰۴ ± ۰/۱	۴/۲۲ ± ۰/۰۸	۴/۰۸ ± ۰/۰۶
چابکی T (ثانیه)	۱۰/۴ ± ۰/۴۳	۹/۵ ± ۰/۴۳	۱۰/۴ ± ۰/۳	۹/۵ ± ۰/۳۱

تفاوت معنادار پس آزمون نسبت به پیش آزمون، *** در سطح P<۰/۰۰۱؛ ** در سطح P<۰/۰۱؛ * در سطح P<۰/۰۵

شاخص های ساختاری و عملکردی بطن چپ: مشاهده شده در شاخص توده بطن چپ (LVMI؛ نتایج آزمون ANCOVA نشان داد که با حذف اثر مقادیر پیش آزمون (به عنوان کوواریانس)، از نظر تغییرات ضخامت دیواره خلفی بطن چپ (PW؛ P=۰/۵۶۸)، حجم پایان سیستولی بطن چپ (LVESV؛ P=۰/۲۸۸)

۴). همچنین مقایسه تغییرات درون‌گروهی با استفاده از آزمون t وابسته نشان داد، به جز عدم تغییر معنادار شاخص RWT گروه‌های پژوهش پس از دوره تمرین نسبت به مقادیر پیش از دوره ($P > 0.05$)، سایر تغییرات مشاهده شده در شاخص‌های ساختاری و عملکردی بازیکنان هر دو گروه از نظر آماری معنادار بود ($P < 0.05$).

کسر کوتاه‌شدگی (FS) ($P = 0.0562$) و کسر تزریقی بطن چپ (EF) ($P = 0.167$) تفاوت معناداری بین گروه‌های پژوهش مشاهده نشد. با این همه، افزایش حجم ضربه‌ای (SV) ($P < 0.001$) و حجم پایان دیاستولی بطن چپ (LVEDV) ($P = 0.003$) و کاهش ضخامت نسبی دیواره خلفی بطن چپ (RWT) ($P = 0.042$) در گروه ماسه به‌طور معناداری بیشتر از گروه سالن بود (جدول

جدول ۴. میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های ساختاری و عملکردی بطن چپ در گروه‌های پژوهش

متغیرها	گروه ماسه		گروه سالن	
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
LVMI (g/m^2)	۷۳/۰۴ ± ۴/۱۵	*** ۸۸/۳۲ ± ۶/۴	۶۹/۱۱ ± ۳/۰۴	** ۸۰/۸۷ ± ۶/۸۲
RWT (g/m^2)	۰/۳۰ ± ۰/۰۱۴	† ۰/۲۹۰ ± ۰/۰۰۹	۰/۳۰ ± ۰/۰۱۸	۰/۳۰ ± ۰/۰۱۳
PW (mm)	۷/۷ ± ۰/۰۵	* ۸ ± ۰/۳۵	۷/۶۱ ± ۰/۰۵۲	** ۸/۱ ± ۰/۰۴
LVEDV (mL)	۱۰۴/۵۳ ± ۱۴/۴	†††** ۱۱۴/۱۵ ± ۱۱/۲۵	۱۰۲/۷۷ ± ۱۱/۴۵	** ۱۰۸/۴ ± ۱۰/۱۵
LVESV (mL)	۳۳/۲ ± ۳/۱۵	* ۳۰/۱۳ ± ۴/۵	۳۱/۱۳ ± ۲/۲	* ۲۸/۴۳ ± ۲/۹
SV (mL)	۷۱/۳۳ ± ۱۳/۷	†††** ۸۴/۰۲ ± ۹/۶۳	۷۱/۶۳ ± ۱۱/۷۸	** ۷۹/۹۵ ± ۸/۶
FS (%)	۳۷/۶ ± ۲/۵۲	* ۴۰/۴۵ ± ۲/۸	۳۹/۹ ± ۱/۴	* ۴۲/۶۳ ± ۱/۵
EF (%)	۶۷/۴ ± ۳/۶۲	** ۷۳/۱۵ ± ۳/۰۲	۶۹/۸۳ ± ۳/۱	** ۷۳/۳۳ ± ۱/۷۵

LVMI: شاخص توده بطن چپ؛ RWT: ضخامت نسبی دیواره خلفی بطن چپ؛ PW: ضخامت دیواره خلفی بطن چپ؛ LVEDV: حجم پایان دیاستولی بطن چپ؛ LVESV: حجم پایان سیستولی بطن چپ؛ SV: حجم ضربه‌ای بطن چپ؛ FS: کسر کوتاه‌شدگی؛ EF: کسر تزریقی. تفاوت معنادار پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون، *** در سطح $P < 0.001$ ؛ ** در سطح $P < 0.01$ ؛ * در سطح $P < 0.05$. تفاوت معنادار گروه ماسه نسبت به سالن، ††† در سطح $P < 0.001$ ؛ †† در سطح $P < 0.01$ ؛ † در سطح $P < 0.05$.

بحث و نتیجه‌گیری

گروه در محدوده طبیعی قرار داشت و از این نظر تفاوتی بین دو گروه مشاهده نشد. همچنین یافته‌های حاضر پیشنهاد می‌کند تمرینات تاباتا روی ماسه یا کفیوش سالنی تأثیری بر مورفولوژی بطن چپ نداشت و با وجود کاهش معنادار ۳/۲ درصدی RWT در گروه ماسه نسبت به گروه سالن، این تغییرات در محدوده هیپرتروفی اکسنتریک نبود. با توجه به اینکه از نظر کاهش LVESV در پایان دوره تمرینات، تفاوت معناداری بین گروه ماسه (۹/۵ درصد) و سالن (۸/۷ درصد) مشاهده نشد، ولی مقادیر LVEDV گروه ماسه به‌طور معناداری بیشتر از گروه سالن بود. در نتیجه، به نظر می‌رسد انجام تمرینات تاباتا در ماسه توانسته موجب بازگشت خون وریدی بیشتر به قلب در مرحله دیاستول شود و از این طریق، SV بطن چپ را افزایش داده که این اثر در مقایسه با انجام تمرینات مشابه روی کفیوش سالنی بیشتر بوده است. این یافته‌ها پیشنهاد می‌کند یک دوره شش هفته‌ای

در پژوهش حاضر، اثر شش هفته تمرینات تاباتا روی کفیوش سالنی نسبت به ماسه بر ساختار و عملکرد بطن چپ و برخی عوامل آمادگی جسمانی فوتبالیست‌های ساحلی زبده مقایسه شد. نتایج نشان داد تمرینات در هر دو گروه موجب بهبود شاخص‌های ساختاری و عملکردی بطن چپ، به جز RWT شد. با این همه، افزایش SV (۱۹/۴ در مقابل ۱۲/۴ درصد) و LVEDV (۹/۷ در مقابل ۵/۶ درصد) و همچنین کاهش RWT در گروه ماسه به‌طور معناداری بیشتر از گروه سالن بود. دسته‌بندی ارائه شده برای مورفولوژی بطن چپ عبارت است از وضعیت طبیعی ($RWT < 0.42$) و $LVMI \leq 115$ گرم در مترمربع)، هیپرتروفی کانسنتریک ($RWT \geq 0.42$) و $LVMI > 115$ گرم در مترمربع)، و هیپرتروفی اکسنتریک ($RWT < 0.42$) و $LVMI > 115$ گرم در مترمربع) (۲۱). بر اساس این دسته‌بندی، مورفولوژی بازیکنان هر دو

فقط به دلیل افزایش SV و سایر شاخص های قلبی نبوده و شاید سازوکارهای دیگری نیز در این تغییرات نقش داشته‌اند که از آن جمله می‌توان به افزایش ظرفیت اکسایشی و بافری عضله، سازگاری های میتوکندریایی و سایر تغییرات بیوشیمیایی اشاره کرد (۲۳). با توجه به عدم اندازه‌گیری متغیرهای ذکر شده در پژوهش حاضر، انجام پژوهش های آینده می‌تواند به درک سازوکارهای احتمالی مرتبط با این متغیرها در اثر تمرینات تاباتا کمک کند.

همسو با یافته‌های حاضر، سایر پژوهش‌ها نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. تاباتا و همکاران (۱۹۹۶) اثر شش هفته تمرینات تاباتا را بررسی کردند و نشان دادند مقادیر نسبی VO₂max پس از دوره تمرین به‌طور معناداری به اندازه هفت میلی‌لیتر در کیلوگرم در دقیقه افزایش پیدا کرد (۲). همچنین صفانیا و همکاران (۲۰۱۱) و ایمپلیزری و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۸) با بررسی اثر یک دوره تمرینات HIIT روی بازیکنان فوتبال گزارش کردند انجام این نوع تمرینات موجب افزایش معنادار VO₂max شد (۸-۱۰). افزون بر این، اسپرلیچ و همکاران (۲۰۱۱) و هلگرود و همکاران (۲۰۰۱)، هفت تا ۱۱ درصد بهبود در VO₂max را پس از پنج تا هشت هفته تمرینات HIIT در بازیکنان فوتبال گزارش کردند (۲۴، ۲۵).

در مقابل، برخی پژوهشگران نتایج ناهمسوایی را گزارش کرده‌اند. برای نمونه بینی و همکاران (۲۰۱۴) با مقایسه سطوح ماسه و چمن نشان دادند بهبود مقادیر نسبی VO₂max گروه ماسه پس از دوره تمرین بیشتر از گروه چمن بود (۲۶). این تفاوت در نتایج می‌تواند به دلیل مدت طولانی‌تر دوره تمرینی پژوهش مذکور نسبت به پژوهش حاضر (هشت هفته نسبت به شش هفته) و همچنین تفاوت در جنسیت آزمودنی‌ها (زنان ورزشکار در مقابل بازیکنان مرد پژوهش حاضر) باشد. برای نمونه در پژوهشی پس از مقایسه اثر تمرینات HIIT بین زنان و مردان تمرین کرده، پژوهشگران نتیجه گرفتند که باید شیوه‌های HIIT ویژه زنان و مردان طراحی شود، زیرا تفاوت‌های آنروپومتریکی و فیزیولوژیکی بین آن‌ها می‌تواند بر عملکرد ورزشی در محیط‌های دنیای واقعی اثر بگذارد (۲۷).

در پژوهش حاضر، شاخص‌های گوناگون توان بی‌هوازی شامل توان اوج، کمینه و متوسط (آزمون RAST) و توان انفجاری (آزمون پرش افقی) بازیکنان هر دو گروه

تمرینات تاباتا روی ماسه در مقایسه با سطح سخت‌تر مانند کفپوش سالنی ممکن است بتواند تأثیرات مثبتی بر SV، اغلب از طریق افزایش بازگشت وریدی داشته باشد. شاید بتوان بخشی از دلایل یافته‌های حاضر را به کار مکانیکی بالاتر طی اجرای فعالیت در ماسه نسبت داد؛ چراکه نشان داده شده وضعیت بی‌ثباتی روی ماسه می‌تواند شدت‌های تمرینی بالاتری را در مقایسه با سطوح سخت‌تر ایجاد کند. در سرعت مشابه، دویدن روی ماسه به ۱/۱۵ برابر کار مکانیکی بیشتر و ۱/۴ برابر هزینه انرژی بیشتر نسبت به سطوح سخت‌تر نیاز دارد (۱۷). افزون بر این، بر اساس معادله EF (SV / LVEDV) به نظر می‌رسد بالاتر بودن SV پس از دوره تمرینات در گروه ماسه نسبت به گروه سالن، فقط به علت بهبود عملکرد دیاستولی بطن چپ نبوده است. در این باره، نتایج حاضر نشان داد که میانگین بهبود مقادیر FS گروه ماسه نسبت به گروه سالن بیشتر بود (۸/۶ در مقابل ۵/۱ درصد). بر اساس معادله ((LVEDD/(LVEDD - LVEDV)) FS معرف درصد تغییرات قطر بطن چپ و شاخصی از عملکرد سیستولی آن است و بالاتر بودن آن ممکن است بخشی از افزایش بیشتر SV در گروه ماسه پس از دوره تمرینات را از طریق بهبود نسبی قدرت انقباض عضله بطن چپ طی دوره سیستول توجیه کند؛ هرچند تفاوت مشاهده شده در FS دو گروه از نظر آماری معنادار نبود. این یافته‌ها با نتایج شیخ‌لووند و همکاران (۲۰۲۲) همسوست. این پژوهشگران نشان دادند مقادیر SV (در حدود ۱۲ درصد)، LVEDV (در حدود ۹/۵ درصد) و EF (در حدود پنج درصد) ورزشکاران مرد رشته قایق‌رانی کایاک پس از هشت هفته تمرینات HIIT به شکل معناداری افزایش پیدا کرد (۲۲).

در پژوهش حاضر، شش هفته تمرینات تاباتا، هم روی کفپوش سالنی (۲۱/۶ درصد) و هم روی ماسه (۲۳ درصد)، موجب بهبود معنادار مقادیر VO₂max بازیکنان شد. تغییرات مشاهده شده در ساختار و عملکرد سیستولی و دیاستولی بطن چپ بازیکنان دو گروه، به ویژه بهبود SV، می‌تواند دلیل بخشی از این افزایش در شاخص توان هوازی باشد. ولی با وجود بالاتر بودن مقادیر SV گروه ماسه نسبت به سالن، از نظر افزایش مشاهده شده در VO₂max پس از دوره تمرین، تفاوتی بین دو گروه دیده نشد. این موضوع نشان می‌دهد که بهبود شاخص توان هوازی بازیکنان در پژوهش حاضر،

و سرعت ۲۰ متر در ورزشکاران زن شد و از این نظر تفاوتی بین سطوح ماسه و چمن دیده نشد (۲۶). در پژوهشی دیگر، بهبود عملکرد چابکی فوتبالیست‌های جوان پس از تمرینات تاباتا به مدت هشت هفته مشخص شد (۲۸). نشان داده شده است که خاصیت جذب ضربه توسط ماسه می‌تواند سرعت بیشینه و عملکرد چابکی را محدود کند (۱۸، ۲۸). از طرفی، هزینه انرژی (۱/۳ تا ۲/۷ برابر) و نیازهای متابولیکی (۱/۱ برابر) انجام کارهای سرعتی روی ماسه بیشتر از سطوح سخت است (۱۶، ۱۸). در نتیجه، انتظار می‌رفت همین بالاتر بودن نیازهای متابولیکی و تحریک عضلانی بیشتر (۱/۱۵ برابر) تمرین روی ماسه نسبت به سطوح سخت‌تر (۱۷) نظیر کفپوش سالنی به شکل‌گیری محرک‌های قوی‌تری برای سازگاری‌های عضلانی و در نتیجه، بهبود بیشتر سرعت حرکت و چابکی بازیکنان منجر شود. با این همه، یافته‌های حاضر نشان داد شش هفته اجرای تمرینات HIIT به روش تاباتا به خودی خود می‌تواند تأثیرات مثبتی بر این دو عامل مهم داشته باشد و این اثر مستقل از جنس زمین تمرین است. شاید دوره‌های طولانی‌تری از تمرینات (بیشتر از شش هفته) نیاز باشد تا بتوان درباره تفاوت تأثیر تمرینات تاباتا روی ماسه و کفپوش سالنی بر رکوردهای سرعت و چابکی نتیجه‌گیری دقیق‌تری ارائه کرد.

در مجموع، یافته‌های حاضر نشان داد شش هفته تمرینات تاباتا روی ماسه نسبت به کفپوش سالنی ممکن است مقادیر SV بازیکنان زبده فوتبال ساحلی را به‌طور معناداری افزایش دهد که شاید دلیل اصلی آن بازگشت بیشتر خون وریدی به قلب بوده است. بنابراین به نظر می‌رسد انجام این نوع تمرینات روی ماسه سازگاری‌های ساختاری و عملکردی مطلوب‌تری را در بطن چپ این بازیکنان ایجاد کرده است. با این همه، از نظر مقادیر نسبی VO_{2max} ، شاخص‌های توان بی‌هوازی، توان انفجاری، سرعت حرکت و عملکرد چابکی، تفاوتی بین انجام تمرینات روی ماسه یا کفپوش سالنی مشاهده نشد. در نتیجه، شاید بتوان از شیوه تمرینات تاباتا روی کفپوش سالنی استاندارد برای ایجاد تنوع در برنامه آماده‌سازی بازیکنان یا در شرایطی که به سطح ماسه دسترسی وجود ندارد، استفاده کرد. انجام پژوهش‌های بیشتر با دوره‌های طولانی‌تر از شش هفته نیاز است تا نتایج حاضر را تأیید کند و سازگاری‌های

پس از دوره شش‌هفته‌ای تمرینات به‌طور معناداری افزایش یافت و از این نظر تفاوت معناداری بین سطح ماسه و کفپوش سالنی مشاهده نشد. بهبود توان بی‌هوازی در آزمون RAST پس از یک دوره تمرینات HIIT در سایر پژوهش‌ها نیز تأیید شده است. صفانی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند شش هفته تمرینات HIIT با شدت ۷۰ تا ۹۵ درصد HR_{max} توان اوج و متوسط فوتبالیست‌های جوان را به‌طور معناداری افزایش داد (۸). اراضی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند اجرای تمرینات HIIT به مدت شش هفته اثر معناداری بر توان کمینه و متوسط فوتبالیست‌های زن داشت (۲۳). همچنین افیون و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند اجرای تمرینات عملکردی به روش تاباتا موجب بهبود معنادار رکورد پرش افقی بازیکنان جوان فوتبال شد (۲۸). با توجه به ماهیت تمرینات تاباتا به‌عنوان نوعی از تمرینات HIIT که شامل ۲۰ ثانیه اجرای فعالیت شدید و ۱۰ ثانیه استراحت بین این وهله‌هاست، سازوکارهای احتمالی برای افزایش شاخص‌های بی‌هوازی پس از این تمرینات می‌تواند مربوط به درگیری دستگاه‌های فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی در طول وهله‌های تمرین باشد که به سازگاری‌های بی‌هوازی منجر شده است (۲۹). در همین زمینه ترمبلی و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند ۱۶ هفته تمرینات HIIT به‌طور معناداری سبب افزایش سطوح آنزیم فسفو فروکتو کیناز (PFK)، به‌عنوان یک آنزیم اصلی و مهم محدودکننده سرعت در مسیر گلیکولیز بی‌هوازی، می‌شود (۳۰). پژوهش‌های بعدی نشان داد دوره‌های کوتاه‌تر تمرینات HIIT نظیر هفت هفته (۳۱) نیز می‌تواند مقادیر PFK عضلانی را افزایش دهد.

از دیگر یافته‌های پژوهش حاضر که از اهمیت زیادی در رشته‌های تیمی برخوردار است، بهبود رکورد دوی ۳۰ متر (کاهش ۴/۷ درصدی در گروه ماسه و ۳/۳ درصدی در گروه سالن) و چابکی (کاهش ۸/۵ درصدی در گروه ماسه و ۸/۴ درصدی در گروه سالن) بازیکنان هر دو گروه نسبت به مقادیر پیش‌آزمون بود. همسو با یافته‌های حاضر، اسپرلیچ و همکاران (۲۰۱۱) بهبود رکورد سرعت ۳۰ متر بازیکنان نوجوان فوتبال را پس از پنج هفته تمرینات HIIT با شدت ۹۰ تا ۹۵ درصد HR_{max} گزارش کردند (۲۴). بینی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند هشت هفته تمرینات HIIT موجب بهبود معنادار رکورد چابکی

- and motion analysis by GPS in beach soccer. *J Sports Sci Med*. 2010;9(1):98.
7. Gaeini A, Javidi M, Kordi M, Soleimani M, Fallahi A. The effect of 8 weeks of high intensity interval training on mir-29 gene family expression and cardiac hypertrophy of healthy male rats. *J Adv Med Biomed Res*. 2015;23(99):14-24.
 8. Safania AM, Alizadeh R, Nourshahi M. A comparison of small-side games and interval training on same selected physical fitness factors in amateur soccer players. *Journal of Social Sciences*. 2011;7(3):349.
 9. Impellizzeri FM, Marcora SM, Castagna C, Reilly T, Sassi A, Iaia F, et al. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International Journal of Sports Medicine*. 2006;27(06):483-92.
 10. Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti NA, Castagna C, Bizzini M, Wisluff U. Effects of aerobic training on the exercise-induced decline in short-passing ability in junior soccer players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2008;33(6):1192-8.
 11. Mahjoub H, Le Blanc O, Paquette M, Imhoff S, Labrecque L, Drapeau A, et al. Cardiac remodeling after six weeks of high-intensity interval training to exhaustion in endurance-trained men. *American Journal of Physiology-Heart Circulatory Physiology*. 2019;317(4):H685-H94.
 12. Esfandiari S, Sasson Z, Goodman JM. Short-term high-intensity interval and continuous moderate-intensity training improve maximal aerobic power and diastolic filling during exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2014;114:331-43.
 13. Mohamadpanah M, Hoseininejad SE, Salari Esker F. Effect of Surface Type on Impact Force, Loading Rate, and Free Moment during Stance Phase of Running. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2021;10(2):234-45.
 14. Binnie MJ, Dawson B, Arnot MA, Pinnington H, Landers G, Peeling P. Effect of sand versus grass training surfaces during an 8-week pre-season conditioning programme in team sport athletes. *Journal of sports sciences*. 2014;32(11):1001-12.
 15. Binnie MJ, Peeling P, Pinnington H, Landers G, Dawson B. Effect of surface-specific training on 20-m sprint performance on sand and grass surfaces. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(12):3515-20.
- ناشی از انجام طولانی مدت تمرینات تاباتا روی سطوح گوناگون ارزیابی شود.
- تشکر و قدردانی**
- از همه بازیکنان و مربیان محترمی که صمیمانه ما را در اجرای این پژوهش همراهی کردند، سپاسگزاریم.
- حامی / حامیان مالی**
- این مقاله حاصل رساله دکتری دانشگاه گیلان است و حامی مالی ندارد.
- مشارکت نویسندگان**
- تمام نویسندگان در طرح موضوع، مفاهیم و مقدمات مشارکت داشته‌اند. فرایند میدانی شامل انتخاب آزمودنی‌ها، جمع‌آوری و دسته‌بندی داده‌ها و همچنین تحلیل داده‌ها و نگارش متن اولیه مقاله و اصلاحات خواسته شده، توسط نویسنده اول انجام گرفت. بازیینی و بررسی محتوای مقاله توسط نویسندگان دوم و سوم صورت گرفت.
- تعارض منافع**
- هیچ تعارض منافی وجود ندارد.
- منابع**
1. Rami M, Azimpour M, Khoramipour K. The effect of 8 weeks of High Intensity Interval Training on the Levels of Wnt and NF- κ B proteins in the heart tissue of male Wistar rats with type 2 diabetes. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2022;15(4):19-30.
 2. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(10):1327-30.
 3. Dupont G, Akakpo K, Berthoin S. The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J Strength Cond Res*. 2004;18(3):584-9.
 4. Howard N, Stavrianeas S. In-season high-intensity interval training improves conditioning in high school soccer players. *Int J Exerc Sci*. 2017;10(5):713.
 5. Scarfone R, Tessitore A, Minganti C, Ferragina A, Capranica L, Ammendolia A, editors. Match demands of beach soccer: a case study. *Book of abstracts of 14th Annual Congress of the European College of Sport Science*; 2009.
 6. Castellano J, Casamichana D. Heart rate

16. Rokhsati S, Salimi Avansar A, Ebrahim K, Ahmadizad S. Comparing the effect of six weeks of specific volleyball training on hard and soft surfaces on anaerobic power, vertical jump, agility and fat percentage of volleyball players. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2014;7(1):1005-12. (In Persian)
17. Zamparo P, Perini R, Orizio C, Sacher M, Ferretti G. The energy cost of walking or running on sand. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1992;65(2):183-7.
18. Gaudino P, Gaudino C, Alberti G, Minetti AE. Biomechanics and predicted energetics of sprinting on sand: hints for soccer training. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2013;16(3):271-5.
19. Rago V, Rebelo AN, Pizzuto F, Barreira D. Small-sided soccer games on sand are more physically demanding but less technically specific compared to games on artificial turf. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2016;58(4):385-91.
20. Ramsbottom R, Brewer J, Williams C. A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*. 1988;22(4):141-4.
21. Slankamenac J, Milovancev A, Klasnja A, Gavrilovic T, Sekulic D, Kesic MG, et al. Echocardiographic Characterization of Left Heart Morphology and Function in Highly Trained Male Judo Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(14):8842.
22. Sheykhlovand M, Arazi H, Astorino TA, Suzuki K. Effects of a New Form of Resistance-Type High-Intensity Interval Training on Cardiac Structure, Hemodynamics, and Physiological and Performance Adaptations in Well-Trained Kayak Sprint Athletes. *Frontiers in Physiology*. 2022;13.
23. Arazi H, Keihaniyan A, EatemadyBoroujeni A, Oftade A, Takhsha S, Asadi A, et al. Effects of heart rate vs. Speed-based high intensity interval training on aerobic and anaerobic capacity of female soccer players. *Sports*. 2017;5(3):57.
24. Sperlich B, De Marães M, Koehler K, Linville J, Holmberg HC, Mester J. Effects of 5 weeks of high-intensity interval training vs. volume training in 14-year-old soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2011;25(5):1271-8.
25. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(11):1925-31.
26. Binnie MJ, Dawson B, Arnot MA, Pinnington H, Landers G, Peeling P. Effect of sand versus grass training surfaces during an 8-week pre-season conditioning programme in team sport athletes. *Journal of sports sciences*. 2014;32(11):1001-12.
27. Schmitz B, Niehues H, Thorwesten L, Klose A, Krüger M, Brand S-M. Sex Differences in High-Intensity Interval Training—Are HIIT Protocols Interchangeable Between Females and Males? *Frontiers in Physiology*. 2020;11.
28. Afyon YA, Mülazimoğlu O, Zelikbilek S, Kalafat 3. The effect of Tabata training program on physical and motoric characteristics of soccer players. *Progress in Nutrition*. 2021;23(S2):e2021255-e.
29. Boutcher SH. High-Intensity Intermittent Exercise and Fat Loss. *Journal of Obesity*. 2011;2011:868305.
30. Tremblay A, Simoneau J-A, Bouchard C. Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism*. 1994;43(7):814-8.
31. MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology*. 1998;84(6):2138-42.

Review Article

The effect of resistance training on endothelial function in young and older with chronic diseases and those with health conditions: a systematic review and meta-analysis

Musa Khalafi¹, Pejman Taghibeikzadehbadr², Behzad Aria³, Zahra Mohammadi⁴

1 Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Humanities, University of Kashan, Kashan, Iran.

2 Department of Sports Physiology, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

3 Department of Physical Education and Sports Science, School of Psychology and Educational Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

4 Department of Cell and Molecular Biology Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: Endothelial dysfunction plays an important role in the development of cardiovascular diseases. Exercise training may lead to improved endothelial function. However, the effect of resistance training on endothelial function is not clearly understood. In addition, the age and health status of individuals may also play a role in endothelial function, and these factors have not been investigated in response to resistance training. Therefore, the aim of the present meta-analysis is to investigate the effect of resistance training on endothelial function in young and older adults with and without chronic diseases.

Materials and Methods: Main databases including PubMed and Web of Science were searched through January 13, 2023, for resistance training studies on the flow mediated dilation (FMD) index. The inclusion criteria for the current research included studies with an exercise training group, human subjects with an average age older than 18 years, measuring endothelial function using FMD, and published in English and Persian language journals. Weighted mean difference (WMD) and 95% confidence interval were used to determine the effect size using CMA2 software. The level of heterogeneity was assessed using the I² test and the publication bias was also assessed with Egger's test. Subgroup analyses were performed for age (older adults including people over 50 years old and young adults including people under 50 years old), health status (with chronic disease and healthy), and type of study (one-group and two-group). All analyzes were performed using CMA2 software.

Results: Twenty-one studies including 701 participants were included in the meta-analysis. The results of data analysis showed that resistance training resulted in a significant increase in FMD [2.07, (CI: 1.26 to 2.88) P=0.001]. Examination of heterogeneity using the I² test showed that there was a significant heterogeneity (I²=82.92, p=0.001), while Egger's test results (P=0.73) did not confirm the publication bias. Subgroup analysis based on age showed that resistance training in both groups of young [WMD: 2.06, P=0.001] and older [WMD: 1.87, P=0.001] individuals leads to an increase in FMD. In addition, resistance training in both groups of healthy [WMD: 1.770 P=0.001] and patients [WMD: 2.406 P=0.001] individuals lead to an increase in FMD. In addition, the analysis based on the type of study showed that FMD is increased in both single-group [WMD: 1.18, P=0.029] and two-group [WMD: 2.51, P=0.001] studies.

Conclusion: In general, the findings of the present meta-analysis show that resistance training is an effective exercise intervention for improving endothelial function, whose beneficial effects occur independent of the age and health status of adults. Therefore, resistance training should be included in the exercise program for adults.

Keywords: Resistance training, Endothelial function, Cardiovascular disease, FMD

How to cite this article: Khalafi M, Taghibeikzadehbadr P, Aria B, Mohammadi Z. The effect of resistance training on endothelial function in young and older adults with and without chronic diseases: a systematic review and meta-analysis. *J Sport Exerc Physiol.* 2023; 16(2): 105-120.

*Corresponding Author's E-mail: mousa.khalafi@kashanu.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103589>

Received: 04/03/2023

Revised: 06/05/2023

Accepted: 08/05/2023



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

تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال در بزرگسالان سالمند و جوان با بیماری‌های مزمن و سالم: مروری نظام‌مند و فراتحلیل

موسی خلفی^۱، پژمان تقی بیگ‌زاده بدر^۲، بهزاد آریا^۳، زهرا محمدی^۴

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۴. گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: اختلال در عملکرد اندوتلیال نقش مهمی در توسعه بیماری‌های قلبی-عروقی ایفا می‌کند. تمرینات ورزشی ممکن است به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر شود. با این همه تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال به وضوح شناخته نشده است. افزون بر این سن و وضعیت سلامت افراد نیز ممکن است در عملکرد اندوتلیال نقش داشته باشد که این عوامل نیز در پاسخ اندوتلیال به تمرین مقاومتی بررسی نشده است. از این رو هدف فراتحلیل حاضر بررسی تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال در بزرگسالان سالمند و جوان دارای بیماری‌های مزمن و سالم است. **مواد و روش‌ها:** جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی اصلی شامل پایب مد و وب او ساینس تا تاریخ ۲۳ دی ۱۴۰۱ (۱۳ ژانویه ۲۰۲۳) برای مطالعات تمرین مقاومتی بر روی شاخص FMD صورت گرفت. معیارهای ورود به پژوهش شامل مطالعات دارای گروه تمرین ورزشی، آزمودنی انسان با میانگین سن بزرگ‌تر از ۱۸ سال، اندازه‌گیری عملکرد اندوتلیال با استفاده از FMD و چاپ شده در نشریه‌های انگلیسی زبان بود. تفاوت میانگین وزنی (WMD) و فاصله اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار CMA2 به منظور تعیین اندازه اثر استفاده شد. سطح ناهمگونی با استفاده از آزمون I^2 و سوگیری انتشار نیز با آزمون Egger بررسی شد. همچنین تحلیل زیرگروهی برای سن (بزرگسال سالمند شامل افراد بالای ۵۰ سال و بزرگسالان جوان شامل افراد کمتر از ۵۰ سال)، وضعیت سلامتی (دارای بیماری مزمن و سالم) و نوع مطالعه (تک‌گروهی و دوگروهی) انجام گرفت. همه تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار CMA2 انجام پذیرفت. **نتایج:** ۲۱ تحقیق شامل ۷۰۱ آزمودنی وارد فراتحلیل شدند. نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی به افزایش معناداری FMD منجر شد [$P=0/001$ ، $CI(2/07)$ تا $1/26$]. بررسی ناهمگونی با استفاده از آزمون I^2 نشان داد که ناهمگونی معناداری وجود داشت ($I^2=82/92$ ، $PT=0/001$)، در حالی که نتایج آزمون Egger ($P=0/73$) سوگیری انتشار را تأیید نکرد. تحلیل زیرگروهی بر اساس سن نشان داد که تمرین مقاومتی در هر دو گروه افراد جوان [$WMD: 2/06$ ، $P=0/001$] و سالمند [$WMD: 1/87$ ، $P=0/001$] به افزایش FMD منجر می‌شود. همچنین تمرین مقاومتی در هر دو گروه افراد سالم [$WMD: 1/77$ ، $P=0/001$] و بیمار [$WMD: 2/40$ ، $P=0/001$] به افزایش FMD منجر می‌شود. افزون بر این تحلیل بر اساس نوع پژوهش نشان داد که مقادیر FMD در هر دو مطالعات تک‌گروهی [$WMD: 1/18$ ، $P=0/029$] و دوگروهی [$WMD: 2/51$ ، $P=0/001$] افزایش می‌یابد. **نتیجه‌گیری:** به طور کلی یافته‌های فراتحلیل حاضر نشان می‌دهد که تمرین مقاومتی مداخله ورزشی مؤثری برای بهبود عملکرد اندوتلیال است که تأثیرات مفید آن مستقل از سن و وضعیت سلامت آزمودنی‌ها اتفاق می‌افتد. از این رو تمرین مقاومتی باید در برنامه تمرین ورزشی بزرگسالان گنجانده شود.

واژه‌های کلیدی: تمرین مقاومتی، عملکرد اندوتلیال، بیماری قلبی-عروقی، FMD

نحوه استناد به این مقاله: خلفی م، تقی بیگ‌زاده بدر پ، آریا ب، محمدی ز. تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال در بزرگسالان سالمند و جوان با بیماری‌های مزمن و سالم: مروری نظام‌مند و فراتحلیل. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۲): ۱۰۵-۱۲۰.

* رایانامه نویسنده مسئول: mousa.khalafi@kashanu.ac.ir

مقدمه

بهبود در عملکرد اندوتلیال در نتیجه تمرین مقاومتی نیز ممکن است عامل مهمی در کاهش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی باشد. ولی در مورد تمرینات مقاومتی با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته اتفاق نظری در مورد تأثیرات آن بر عملکرد اندوتلیال به‌ویژه با توجه به سن و وضعیت سلامتی آزمودنی‌ها وجود ندارد (۱۹). یافته‌های متناقض در مورد اثر تمرین مقاومتی در چند پژوهش بر عملکرد اندوتلیال نشان از عدم تأثیر (۲۰) یا حتی اثر منفی (۲۱) بر عملکرد اندوتلیال داشت.

بر اساس نتایج فراتحلیل‌های پیشین تمرینات ورزشی به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر می‌شوند. در همین زمینه، اخیراً خلفی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تمرین تناوبی با شدت بالا به افزایش FMD به میزان ۳/۸ درصد در بزرگسالان با و بدون بیماری‌های مزمن منجر می‌شود (۷). در فراتحلیلی دیگر، گزارش شده است که تمرین مقاومتی ممکن است به بهبود عملکرد اندوتلیال در بزرگسالان منجر شود (۴). این احتمال وجود دارد که تمرین مقاومتی به‌واسطه افزایش گذرا در فشار خون، ایجاد ایسکمی موضعی و همچنین ایجاد نوسانات تنش برشی (۲۲) به بهبود عملکرد اندوتلیال بینجامد. با این همه، سن و وضعیت سلامت آزمودنی‌ها نقش مهمی در سازگاری به تمرینات ورزشی ایفا می‌کند. بیماری‌های متابولیکی مانند دیابت، سندروم متابولیک و چاقی به اختلال در عملکرد اندوتلیال منجر می‌شوند. در این زمینه رابطه قوی بین چاقی شکمی و گسترش مقاومت به انسولین با اختلال در عملکرد اندوتلیال گزارش شده است (۲۳، ۲۴)، به طوری که مقاومت به انسولین با تأثیرات منفی بر عملکرد عروقی حتی در بیماران بدون بیماری عروق کرونر همراه است (۲۵). سن نیز به‌عنوان عامل مهمی در عملکرد اندوتلیال نقش دارد که ممکن است به‌واسطه کاهش گشادشدگی وابسته به اندوتلیوم شریان محیطی در پاسخ به محرک‌های شیمیایی مانند استیل کولین یا محرک مکانیکی مانند نیروی برشی باشد (۲۶). همچنین کاهش فراهمی زیستی مولکول گشادکننده نیتریک اکسید سنتز شده از طریق اندوتلیوم در نتیجه فشار اکسایشی سازوکار اصلی و مهم دیگر برای کاهش گشادشدگی وابسته به اندوتلیوم با افزایش سن است (۲۶). از این رو هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تمرین مقاومتی بر شاخص FMD با مدنظر قرار دادن وضعیت

اندوتلیوم نقش مهمی در تعدیل عملکرد عروقی با سنتز و آزاد کردن عوامل تنظیم‌کننده مشتق از اندوتلیوم، از جمله پروستاگلندین و نیتریک اکساید ایفا می‌کند. عملکرد نامناسب اندوتلیال اغلب به دلیل کاهش تولید یا عمل این تنظیم‌کننده‌هاست (۱، ۲). شواهد علمی نشان داده‌اند که عملکرد طبیعی اندوتلیال برای اطمینان از حفظ شرایط مناسب عروقی ضروری است و اختلال در عملکرد اندوتلیال مشخصه دامنه گسترده‌ای از بیماری‌های قلبی-عروقی است (۱). در شرایط بالینی، ارزیابی عملکرد اندوتلیال با توجه به رابطه آن با بیماری‌های قلبی-عروقی مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. عملکرد اندوتلیال عروقی را می‌توان با استفاده از گشادشدگی عروقی حاصل از جریان خون (FMD) اندازه‌گیری کرد که بازتابی از گشادشدگی آندوتلیال وابسته به نیتریک اکساید در پاسخ به یک محرک ایسکمیک گذراست (۳). تحقیقات انجام‌گرفته نشان داده‌اند که افزایش یک درصدی در FMD می‌تواند به کاهش تا ۱۲ درصدی بیماری‌های قلبی-عروقی منجر شود (۴). از این رو FMD به‌عنوان عامل اصلی و مهم در توسعه بیماری‌های قلبی-عروقی و همچنین هدف درمانی برای این بیماری‌ها معرفی شده است. تمرینات ورزشی منظم نقش مؤثری در بهبود نشانگرهای سلامت قلبی-عروقی از جمله چربی احشایی، چربی کبدی، التهاب، شاخص‌های گلیسمی و همچنین عملکرد اندوتلیال دارد (۵-۸). از سویی تمرینات ورزشی منظم به بهبود عملکرد اندوتلیال و عروق منجر می‌شود (۴، ۹، ۱۰). با این همه، آثار تمرینات ورزشی به مؤلفه‌های تمرین از جمله نوع تمرین ورزشی وابسته است که ممکن است به سازگاری‌های متفاوتی منجر شود (۱۱، ۱۲). در پژوهش‌های متنوعی نشان داده شده است که تمرینات هوازی می‌تواند به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر شود (۱۳، ۱۴). در این زمینه، افزایش ۱/۴۵ درصدی در مقدار FMD پس از تمرین هوازی در بیماران با فشار خون بالا مشاهده شده است (۱۳). با وجود این تمرینات مقاومتی نیز روش تمرین مناسبی برای کاهش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی به‌واسطه بهبود عوامل خطرزای قلبی-عروقی مانند کاهش فشار خون، مقاومت به انسولین، توده چربی احشایی و همچنین عوامل التهابی است (۱۵-۱۸). از سوی دیگر،

سلامت و سن آزمودنی‌ها بود.

روش پژوهش

روش اجرای پژوهش: تحقیق حاضر بر اساس راهنمای کاکرین و شیوه‌نامه موارد ترجیحی در گزارش مقالات مرور نظام‌مند و فراتحلیل (PRISMA) انجام گرفت (۲۷). به منظور استخراج مقالات اصیل، جست‌وجویی در پایگاه‌های اطلاعات الکترونیکی PubMed، Web of Science با استفاده از کلیدواژه‌های تمرین ورزشی، تمرین مقاومتی، اندوتلیال عروقی، ساختار عروقی و FMD از زمان شروع تا تاریخ ۲۳ دی ۱۴۰۱ (۱۳ ژانویه ۲۰۲۳) انجام گرفت. جست‌وجوی انجام‌گرفته در پایگاه‌های اطلاعاتی محدود به مطالعات انسانی و زبان انگلیسی بود. کلیدواژه‌های به‌کار گرفته‌شده و نحوه دقیق جست‌وجو برای استخراج مقالات از پایگاه‌های Medline از طریق PubMed به صورت زیر بود:

(StrengthtrainingORresistancetrainingORresistance exercise OR strength exercise OR weight training) AND (“brachial artery,” “brachial artery dilation,” “low mediated dilation,” “endothelial function,” “endothelium,” “artery blood flow,” “artery dilation,” “flow-mediated,” “flow-mediated,” “vascular,” “vascular endothelium,” “vascular reactivity,” and “vasodilation”)

افزون بر این، جست‌وجوی دستی با استفاده از موتور جست‌وجوی Google scholar انجام گرفت. فهرست منابع مقالات استخراج‌شده نیز مورد جست‌وجوی دستی قرار گرفت. همه مراحل جست‌وجوی مقالات به صورت مستقل توسط دو نفر از نویسندگان (م.خ و پ.ت) انجام گرفت و هر نوع اختلاف نظر از طریق مشورت با نفر سوم (ب، الف) حل شد.

معیارهای انتخاب مقاله: معیارهای ورود به پژوهش شامل موارد زیر بود: الف) مقالات چاپ‌شده در مجلات انگلیسی‌زبان، ب) پژوهش انسانی روی افراد بزرگ‌تر از ۱۸ سال، ج) بررسی اثر تمرین مقاومتی با طول مداخله بیشتر از دو هفته، د) اندازه‌گیری عملکرد اندوتلیال با استفاده از FMD. در مورد نوع تحقیقات، مطالعات دوگروهی تمرین مقاومتی در برابر کنترل یا تک‌گروهی دارای گروه تمرین مقاومتی وارد تحقیق حاضر شدند. در خصوص آزمودنی‌ها بدون هیچ محدودیتی افراد

بالای ۱۸ سال وارد پژوهش شدند. در خصوص تمرین ورزشی، هر نوع تمرین مقاومتی از جمله تمرین ایزومتریک، تمرین مقاومتی سنتی، تمرین با کنترل بال، تمرین با کش‌های مقاومتی وارد پژوهش حاضر شدند. در مورد شدت تمرینات انجام‌گرفته محدودیتی در پژوهش حاضر در نظر گرفته نشد. معیارهای خروج از پژوهش شامل تحقیقات انجام‌گرفته روی نمونه‌های غیرانسانی، مقالات غیراصیل شامل مقالات مروری و فراتحلیل، مطالعاتی انجام‌گرفته با محدودیت جریان خون و مداخلات دارویی همراه با تمرین مقاومتی و مطالعات انجام‌گرفته با ویرایش بود. فرایند بررسی مقالات شامل بررسی مقالات بر اساس عنوان و چکیده و همچنین بررسی کامل مقالات بر اساس معیارهای ورود و خروج پژوهش توسط دو نویسنده (م.خ و پ.ت) به صورت مستقل انجام گرفت و هر نوع اختلاف نظر از طریق مشورت با نویسنده سوم (ب، الف) حل شد.

استخراج داده‌ها: داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از هریک از مقالات استخراج شد. این داده‌ها و اطلاعات مشتمل بر موارد زیر بود: الف) ویژگی پژوهش شامل نوع مطالعه و حجم نمونه، ب) ویژگی آزمودنی‌ها شامل جنسیت، وضعیت سلامت، سن و BMI، ج) ویژگی برنامه تمرین مقاومتی شامل نوع تمرین، طول تمرین، تعداد جلسات و شدت و مدت هر جلسه تمرین، د) مقادیر FMD. همچنین به منظور محاسبه اندازه اثر، داده‌های مربوط به FMD شامل میانگین و انحراف استاندارد برای هر دو گروه تمرین و کنترل در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون، استخراج شد. برای مطالعات تک‌گروهی، تنها داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه تمرین استخراج شد. در صورت نبود داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از میانگین تغییرات (پس‌آزمون-پیش‌آزمون) و انحراف استاندارد مربوط استفاده شد. استخراج داده‌ها توسط دو نویسنده (م.خ و پ.ت) به صورت مستقل انجام گرفت و هر نوع اختلاف نظر از طریق مشورت با یکدیگر حل شد.

بررسی کیفیت تحقیقات: به منظور ارزیابی کیفیت مطالعات وارد شده به پژوهش از فهرست Pedro استفاده شد که ابزاری معتبر برای مطالعات بالینی است (۲۸). این ابزار شامل ۱۱ معیار است. با توجه به اینکه معیار کور کردن شرکت‌کنندگان و کور کردن مداخله‌گر برای مداخلات ورزشی قابل اجرا نبود، از ارزیابی کنار گذاشته

معناداری برای آزمون Egger $p < 0/1$ در نظر گرفته شد. افزون بر این، با توجه به اهداف تحقیق حاضر، تحلیل زیرگروهی بر اساس وضعیت سلامت (افراد سالم و افراد با بیماری های مزمن)، سن (افراد مسن و افراد جوان) و نوع مطالعه (تک گروهی و دو گروهی) صورت گرفت. همه آزمون ها با استفاده از نرم افزار CMA2 صورت گرفت.

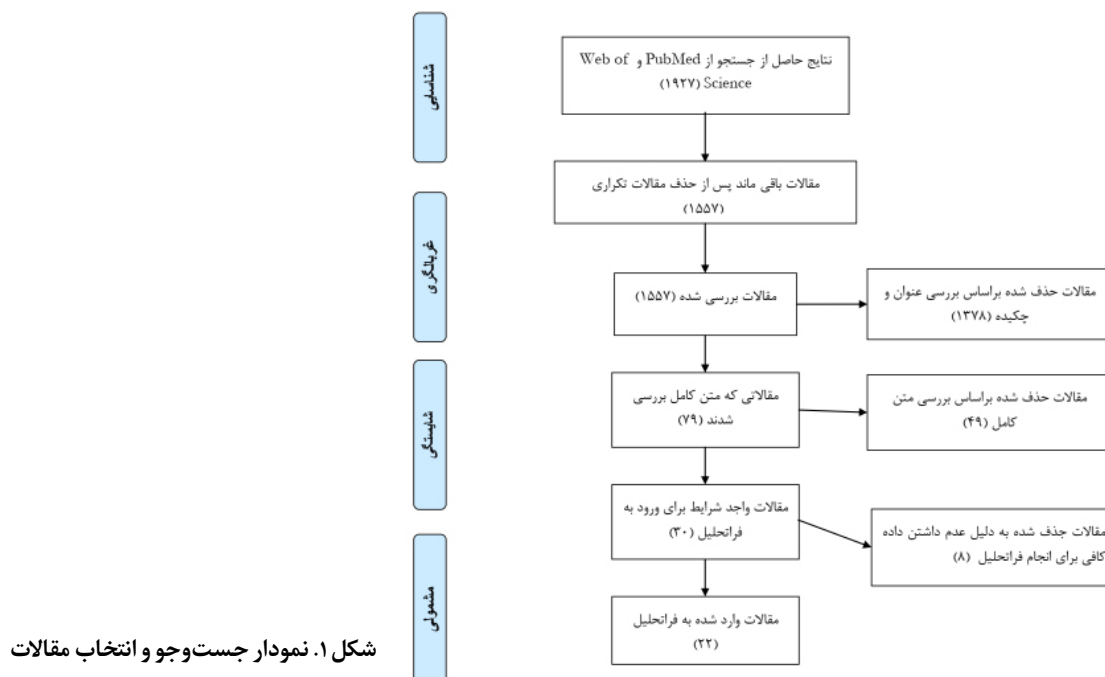
نتایج

جست و جوی: بر اساس جست و جوی در پایگاه های اطلاعاتی، ۹۵۶ مقاله از پایب مد و ۹۷۱ مقاله از وب او ساینس به دست آمد که پس از حذف مقالات تکراری، ۱۵۵۷ مقاله برای بررسی های بیشتر باقی ماندند. پس از بررسی مقالات بر اساس عنوان و چکیده، ۷۹ مقاله به منظور مطالعه متن کامل انتخاب شدند. پس از بررسی متن کامل مقالات، در نهایت ۲۱ مقاله وارد فرایند فراتحلیل شدند (۱۹، ۲۰، ۲۹-۴۷) و ۵۸ مقاله حذف شدند. همه مطالعات وارد شده به پژوهش دارای گروه های تمرین مقاومتی تنها (۱۹، ۲۰، ۲۹، ۳۹، ۴۱، ۴۲، ۴۵) یا گروه های تمرین مقاومتی در برابر گروه کنترل بودند. همچنین از بین تحقیقات وارد شده، یک مطالعه دارای بیش از یک گروه تمرین ورزشی بودند (۳۷) که مداخلات تمرین مقاومتی به صورت مجزا وارد فراتحلیل شد. بنابراین ۲۱ مطالعه دارای ۲۲ مداخله ورزشی مستقل وارد فراتحلیل حاضر شدند. اطلاعات کامل تحقیقات وارد شده به پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

شدند. بنابراین ارزیابی کیفیت مطالعات با استفاده از نه معیار انجام گرفت که دارای دامنه امتیاز صفر تا نه به ترتیب نشان دهنده کیفیت پایین و کیفیت بالا برای مطالعات بود. معیارهای ارزیابی در جدول ۲ ارائه شده است. ارزیابی کیفیت تحقیقات توسط دو نویسنده (م.خ و پ.ت) به صورت مستقل انجام گرفت و هر نوع اختلاف نظر از طریق مشورت با یکدیگر حل شد.

تحلیل آماری: فراتحلیل حاضر به منظور بررسی اثر

تمرین مقاومتی بر FMD انجام گرفت. با توجه به گزارش مقادیر FMD با واحد یکسان، برای محاسبه اندازه از تفاوت میانگین وزنی WMD و فاصله اطمینان ۹۵ درصد (CIs) با استفاده از مدل اثر تصادفی صورت گرفت. تفسیر اندازه اثر بر اساس شیوه نامه کاکرین به شرح زیر صورت گرفت: صفر تا ۰/۱۹، ۰/۲ تا ۰/۴۹، ۰/۵ تا ۰/۷۹، ۰/۸ و بزرگ تر از ۰/۸ به ترتیب نشان دهنده اندازه اثر خفیف، کوچک، متوسط و بزرگ بود. به منظور بررسی ناهمگونی (عدم تجانس) از آزمون I^2 استفاده شد که تفسیر آن بر اساس شیوه نامه کاکرین به صورت زیر انجام گرفت: کمتر از ۲۵ درصد، بیشتر از ۲۵ درصد، بیشتر از ۵۰ درصد و بیشتر از ۷۵ درصد به ترتیب نشان دهنده ناهمگونی خفیف، ناهمگونی کم، ناهمگونی متوسط و ناهمگونی بالا بود. بررسی سوگیری انتشار با استفاده از تحلیل بصری فونل پلات (با اضافه شدن یا نشدن مطالعات به سمت چپ و راست منحنی) و همچنین آزمون Egger به عنوان تعیین کننده ثانویه صورت گرفت، که سطح



و نه مطالعه در زیرگروه بزرگسال سالمند (۲۰، ۳۳، ۳۵، ۳۶، ۳۸، ۴۰، ۴۲، ۴۶، ۴۷) قرار گرفتند. جزئیات کاملی از ویژگی‌های آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. شیوه‌های تمرین مقاومتی: مطالعات واردشده به فراتحلیل حاضر، از انواع مختلف تمرین مقاومتی شامل تمرین مقاومتی پویا (۱۷ مطالعه) و تمرین مقاومتی ایستا (چهار مطالعه) استفاده کرده بودند. طول مداخلات تمرینی از چهار هفته تا یک سال بود که هشت هفته بیشترین استفاده را در بین مطالعات داشت. تعداد جلسات تمرینی در بیشتر مطالعات سه جلسه در هفته بود. جزئیات کامل برنامه‌های تمرینی در جدول ۱ آورده شده است.

فراتحلیل. ۲۱ مطالعه (شامل ۲۲ مداخله تمرین مقاومتی) برای بررسی اثر تمرینات مقاومتی بر روی FMD وارد فراتحلیل شدند. تحلیل داده‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی اثر معناداری بر افزایش FMD در بزرگسالان دارد [P=۰/۰۰۱، CI: ۲/۸۸۴ تا ۱/۲۶۷] (شکل ۱). بررسی ناهمگونی با استفاده از آزمون I² نشان داد که ناهمگونی بالا و معناداری وجود دارد (P=۰/۰۰۱، I²: ۸۲/۹۲۲). بررسی سوگیری انتشار با استفاده از تحلیل بصری فونل پلات نشان‌دهنده سوگیری انتشار بود که یک مطالعه به سمت چپ منحنی اضافه کرد، درحالی‌که نتایج آزمون Egger (P=۰/۷۳) آن را تأیید نکرد.

ویژگی آزمودنی‌ها: روی هم‌رفته ۷۰۱ آزمودنی در قالب ۲۱ مطالعه وارد پژوهش حاضر شدند. چهار مطالعه دارای آزمودنی زن (۳۰، ۳۶، ۳۸، ۴۸)، ۶ مطالعه دارای آزمودنی مرد (۱۹، ۲۹، ۳۵، ۳۷، ۴۵، ۴۹) و ۱۱ مطالعه دارای آزمودنی زن و مرد (۳۱، ۳۲، ۳۴، ۳۵، ۳۹-۴۲، ۴۶، ۴۷، ۵۰) بودند. محدوده سنی و شاخص توده بدنی آزمودنی‌ها به ترتیب تقریباً از ۱۸ تا ۷۱ سال و ۲۲ تا ۳۵ کیلوگرم بر مترمربع بود. تحلیل زیرگروهی بر اساس وضعیت سلامت آزمودنی‌های صورت گرفت، به نحوی که آزمودنی‌های مبتلا به جمله دیابت نوع دو، چاقی، سندروم تخمدان پلی‌کیستیک، فشار خون بالا، شریان محیطی، سندروم متابولیکی به عنوان زیرگروه بیماران مزمن قرار گرفتند. همچنین یک تحقیق روی زنان یائسه انجام گرفته بود که با توجه به تأثیرات یائسگی بر افزایش اختلال عملکرد اندوتلیال این مطالعه نیز در زیرگروه بیماری مزمن قرار گرفت. بر این اساس، آزمودنی‌های واردشده به فراتحلیل حاضر افراد سالم (۱۹، ۲۹، ۳۴، ۳۵، ۳۷، ۳۹، ۴۱، ۴۲، ۴۵، ۴۸، ۵۰) و دارای بیماری‌های مزمن (۳۰، ۳۲، ۳۵، ۳۶، ۳۸، ۴۰، ۴۶، ۴۷) بودند. همچنین تحلیل زیرگروهی بر اساس سن آزمودنی برای افراد بزرگسال جوان (میانگین سنی کمتر از ۵۰ سال) و بزرگسال سالمند (میانگین سنی بزرگ‌تر مساوی ۵۰ سال) انجام گرفت که ۱۲ مطالعه در زیرگروه بزرگسال جوان (۱۹، ۲۹-۳۲، ۳۴، ۳۷، ۳۹، ۴۱، ۴۳-۴۵)

جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها و شیوه تمرینی

طول مطالعه و نوع تمرین (جلسه در هفته)	توصیف مداخلات تمرینی و کنترل	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	سن (سال)	نوع تحقیق	ویژگی آزمودنی‌ها	نمونه (جنسیت)	سال مطالعه (سال)
چهار هفته تمرین مقاومتی (پنج جلسه)	۶۰ درصد از انقباض بیشینه داوطلبانه چنگ زدن دست سه ست، هشت تکرار با ۷۵ درصد شدت بیشینه و یک دقیقه استراحت بین نوبت‌ها (هشت دستگاه)	۲۶/۱۷۷	۲۶±۵/۷	تمرین مقاومتی	مردان سالم	۱۴ (مرد)	آئن و همکاران (۲۰۱۹) (۲۰۲۰)
ده هفته تمرین مقاومتی (جلسه)	گروه کنترل: به گروه کنترل توصیه شد که در هفته حدود ۱۵۰ دقیقه تمرین با شدت متوسط داشته باشند	۲۶/۷۴۶	۲۷/۲۴۵/۵	تمرین مقاومتی گروه کنترل	زنان مبتلا به سندروم تخمدان پلی‌کیستیک	۱۷ (زن)	آلمینگ و همکاران (۲۰۱۵) (۲۰۲۰)
هشت هفته تمرین مقاومتی و (سه جلسه)	تمرین مقاومتی: ۲ نوبت با ۸ تا ۱۲ تکرار تا خستگی ارادی، (هفت دستگاه)	تمرین مقاومتی ۲۷/۵۴۴/۱ گروه کنترل ۴±۲۷/۳	تمرین مقاومتی مقاومتی: ۲۷/۲۴۷/۵۱ گروه کنترل: ۲۰/۱۴/۱	تمرین مقاومتی	آزمودنی‌های سالم	۳۰ (مرد)	یک و همکاران (۲۰۱۳) (۲۰۲۱)
۱۲ هفته تمرین مقاومتی (۳ جلسه)	تمرین مقاومتی: دو تا سه نوبت با هشت تا ۲۰ تکرار زیر بیشینه (هشت دستگاه)	تمرین مقاومتی ۳۷/۴۵۵/۵ گروه کنترل ۳۵/۰۴۳/۱	تمرین مقاومتی ۵۹-۳۰	تمرین مقاومتی گروه کنترل	بیماران مبتلا به فشار خون بالا	۲۷ (زن، مرد)	پوئو و همکاران (۲۰۲۱) (۲۰۲۲)
چهار هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه)	چهار نوبت، ده تکرار، ۸۰ درصد تکرار بیشینه، بین نوبت‌ها دو دقیقه ریکاوری	۲۴/۱۴۳	۲۱±۲	تمرین مقاومتی	مردان جوان سالم	۱۷ (مرد)	پویدن و همکاران (۲۰۲۱) (۲۰۲۱)
۱۸ هفته تمرین مقاومتی (دو جلسه)	۱ نوبت با ۱۲ تکرار در شدت ۵۰ درصد یک تکرار بیشینه	۳۵/۵۴۳/۲	۵۸/۴۱/۵	تمرین مقاومتی	زنان سالم بی‌تحریک پس از یائسگی	۱۳ (مرد)	همکاران (۲۰۰۷) (۲۰۲۰)

ادامه جدول ۱. ویژگی آزمودنی ها و شیوه تمرینی

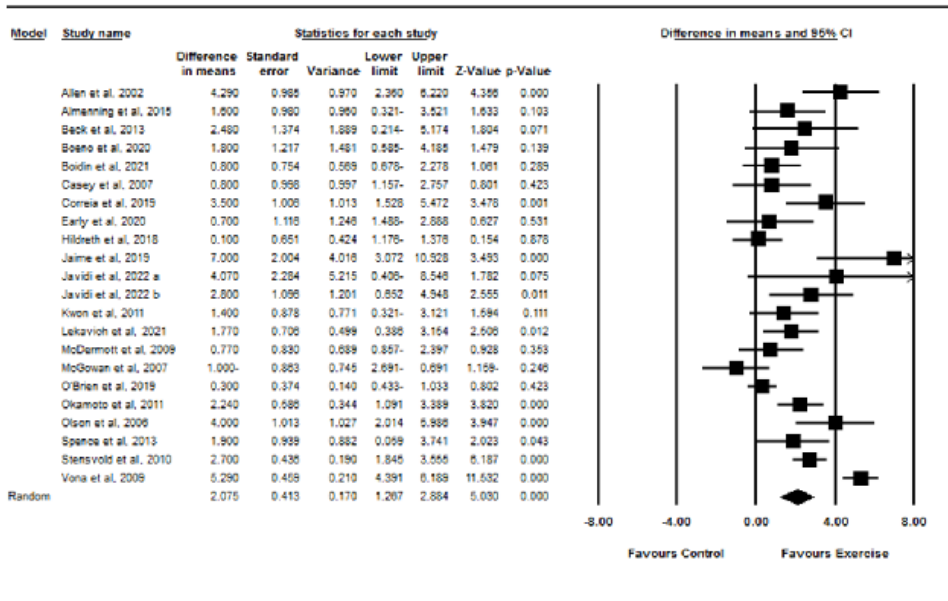
طول مداخله و نوع تمرین (جلسه در هفته)	توصیف مداخلات تمرینی و کنترل	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	سن (سال)	نوع تحقیق	ویژگی آزمودنی ها	نمونه (جنسیت)	مطالعه (سال)
هشت هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه)	چهار نوبت انقباض ایزومتریک به مدت دو دقیقه، با ۳۰ درصد حداکثر انقباض ارادی، و چهار دقیقه استراحت تناوبی بین نوبت ها	تمرین مقاومتی ۵±۲۷	تمرین مقاومتی: ۱۲±۶۶	تمرین مقاومتی	بیماران با بیماری شریان محیطی	۱۰۲ (زن، مرد)	کوریا و همکاران (۲۰۱۰) (۳۳)
	گروه کنترل: گروه کنترل یک توپ فشرده را به منظور شبیه سازی دارونما دریافت کرد	گروه کنترل ۷±۲۶	گروه کنترل: ۱۱±۶۶	گروه کنترل			
هشت هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه)	تمرین مقاومتی: سه نوبت، ۱۰ تکرار بیشینه برای هر دستگاه، ۲ تا ۳ دقیقه استراحت بین نوبت ها	تمرین مقاومتی ۲۷/۷±۸/۸	تمرین مقاومتی: ۳±۲۲	تمرین مقاومتی	آزمودنی های سالم	۱۰ (زن، مرد)	الی و همکاران (۲۰۱۰) (۳۴)
	گروه کنترل: حفظ فعالیت بدنی نرمال	گروه کنترل ۲۵/۴±۱	گروه کنترل: ۳±۲۲	گروه کنترل			
۱۲ هفته (دو جلسه)	سه نوبت با ۱۰ تا ۱۲ تکرار در ۵۰ تا ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه، سپس افزایش بار به ۸۰ درصد با ۸ تا ۸ تکرار در ۳ نوبت.	۲۸/۳±۹/۴	۵±۶۶	تمرین مقاومتی	مردان سالم	۴ (مرد)	هیلدرث و همکاران (۲۰۱۸) (۳۵)
	۴۰ درصد یک تکرار بیشینه با هدف حداکثر ۱۵ تکرار	تمرین مقاومتی ±۲۴۶/۶	تمرین مقاومتی: ۱±۶۴	تمرین مقاومتی	زنان یا سه	۲۰ (زن)	جیم و همکاران (۲۰۱۹) (۳۶)
۱۲ هفته (دو جلسه)		گروه کنترل ۲۲/۰±۵/۹	گروه کنترل: ۱±۶۷	گروه کنترل			

ادامه جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها و شیوه تمرینی

جلسه	طول مطالعه و نوع تمرین (جلسه در هفته)	توصیف مداخلات تمرینی و کنترل	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	سن (سال)	نوع تحقیق	ویژگی آزمودنی‌ها	نمونه (جنسیت)	مطالعه (سال)
هشت هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه)	تمرین مقاومتی (۱): هندگریپ با شدت ۶۰ درصد انقباض آزادی بیشینه تمرین مقاومتی (۲): هندگریپ با شدت ۳۰ درصد انقباض آزادی بیشینه گروه کنترل: فعالیت معمول زندگی	گزارش نشده	۴۶/۱±۴/۴	تمرین مقاومتی	تمرین مقاومتی	آزمودنی‌های عادی	۳۰ (مرد)	جاویدی و همکاران (۳۷) (۲۰۲۲)
هشت هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه)	تمرین مقاومتی: تمرین مقاومتی، ده تا ۱۵ تکرار با بندهای مقاومتی گروه کنترل: فعالیت معمول زندگی بدون رژیم ورزشی خاص	تمرین مقاومتی	۲۷/۲±۴/۸	تمرین مقاومتی	تمرین مقاومتی	آزمودنی‌های مبتلا به دیابت نوع دو	۲۷ (زن)	کی وون و همکاران (۲۸) (۲۰۱۱)
شش ماه (سه جلسه)	۳ نوبت، ۱۲ تا ۱۵ تکرار، ۷۰ تا ۸۵ درصد یک تکرار بیشینه	تمرین مقاومتی	۲۹/۲±۳/۳	تمرین مقاومتی	تمرین مقاومتی	آزمودنی‌های چاق و بی‌تحرك	۱۰ (زن، مرد)	لکاویچ و همکاران (۳۹) (۲۰۲۱)
۲۴ هفته (سه جلسه)	تمرین مقاومتی: سه نوبت، هشت تکرار (جلوپا، پرس پا و پشت پا) گروه کنترل: شرکت در آموزش‌های تغذیه‌ای	تمرین مقاومتی	۳۰/۷±۴/۴	تمرین مقاومتی	تمرین مقاومتی	افراد با بیماری شریانی محیطی	۱۰۵ (مرد)	مک درموت و همکاران (۴۰) (۲۰۰۹)
هشت هفته تمرین (سه جلسه)	چهار نوبت دو دقیقه‌ای هندگریپ با انقباض آزادی ایرومتریک	تمرین مقاومتی	۲۹/۷±۹/۱	تمرین مقاومتی	تمرین مقاومتی	افراد با فشار خون استراحتی عادی	۱۱ (زن، مرد)	مک گوان و همکاران (۴۱) (۲۰۰۷)

ادامه جدول ۱. ویژگی آزمودنی ها و شیوه تمرینی

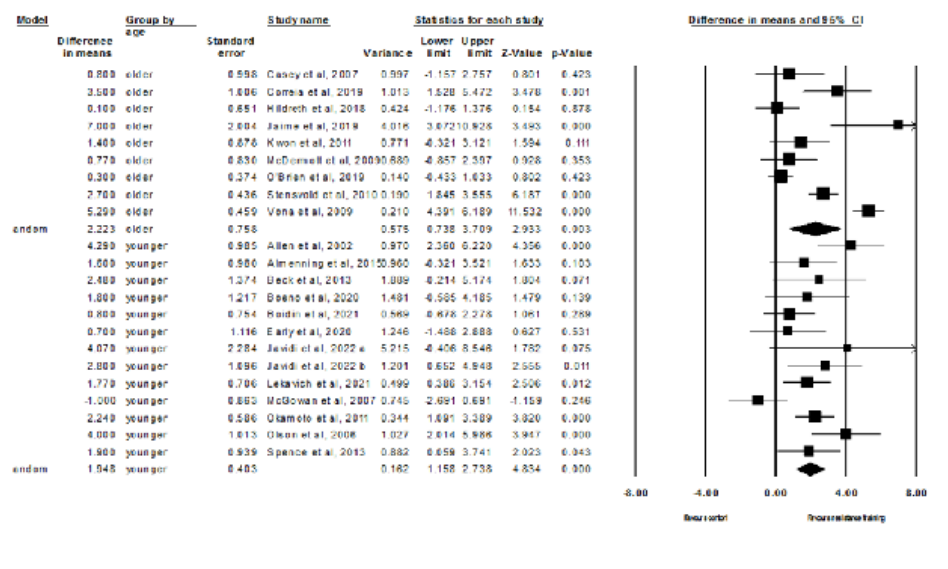
طول مداخله و نوع تمرین (جلسه در هفته)	توصیف مداخلات تمرینی و کنترل	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	سن (سال)	نوع تحقیق	ویژگی آزمودنی ها	نمونه (جنسیت)	مطالعه (سال)
گزارش نشده	هشت دستگاه، دو نوبت، ده تکرار	گزارش نشده	۶۷±۶	تمرین مقاومتی	آزمودنی های بزرگسال	۱۴ (زن، مرد)	اوپرین و همکاران (۲۰۱۰) (۴۲)
ده هفته تمرین (دو جلسه)	تمرین مقاومتی: پنج نوبت، ده تکرار، ۵۰ درصد شدت یک تکرار بیشینه با ۳ ثانیه استراحت بین نوبت ها گروه کنترل: انجام فعالیت روزمره بدون تمرینات خاص	تمرین مقاومتی ۲۳/۴±۳/۱ گروه کنترل ۲۲/۳±۲/۷	تمرین مقاومتی ۱۸/۰±۵/۵ گروه کنترل ۱۸/۰±۶/۶	تمرین مقاومتی گروه کنترل	آزمودنی های سالم	۲۶ (زن، مرد)	اوکاموتو و همکاران (۲۰۱۱) (۴۳)
یک سال تمرین (دو جلسه)	تمرین مقاومتی: سه نوبت، هشت تا ده تکرار گروه کنترل: توصیه به راه رفتن در جهت سلامتی قلبی	تمرین مقاومتی ۲۷/۰±۵/۹ گروه کنترل ۲۷/۰±۶/۷	تمرین مقاومتی ۱±۲۸ گروه کنترل ۱±۳۸	تمرین مقاومتی گروه کنترل	زنان دارای اضافه وزن	۳۰ (زن)	اولسن و همکاران (۲۰۰۶) (۴۴)
شش ماه تمرین	تمرین مقاومتی: افراد در سطح قهرمانی تمرین مقاومتی انجام دادند	گزارش نشده	۲۷±۵	تمرین مقاومتی	آزمودنی های سالم	۱۳ (مرد)	اسپنس و همکاران (۲۰۱۲) (۴۵)
۱۲ هفته تمرین (چهار جلسه)	تمرین مقاومتی: دو نوبت، ۱۵ تا ۲۰ تکرار، ۴۰ تا ۵۰ درصد یک تکرار بیشینه گروه کنترل: تغذیه و فعالیت بدنی عادی خود را ادامه دادند	گزارش نشده	تمرین مقاومتی ۵۰/۷±۹/۶ گروه کنترل ۴۷/۱±۳/۲	تمرین مقاومتی گروه کنترل	بیماران با سندروم متابولیکی	۲۲ (زن، مرد)	استنس ولد و همکاران (۲۰۱۰) (۴۶)
چهار هفته تمرین (چهار جلسه)	تمرین مقاومتی: چهار نوبت، ده تا ۱۲ تکرار، ۴۵ ثانیه تا یک دقیقه استراحت بین نوبت ها گروه کنترل: بدون تمرین	گزارش نشده	تمرین مقاومتی ۸±۵/۷ گروه کنترل ۷±۵/۸	تمرین مقاومتی گروه کنترل	بیمارانی که به منظور برنامه های توانبخشی قلبی مراجعه کرده بودند	۱۰۴ (زن، مرد)	وونا و همکاران (۲۰۰۹) (۴۷)



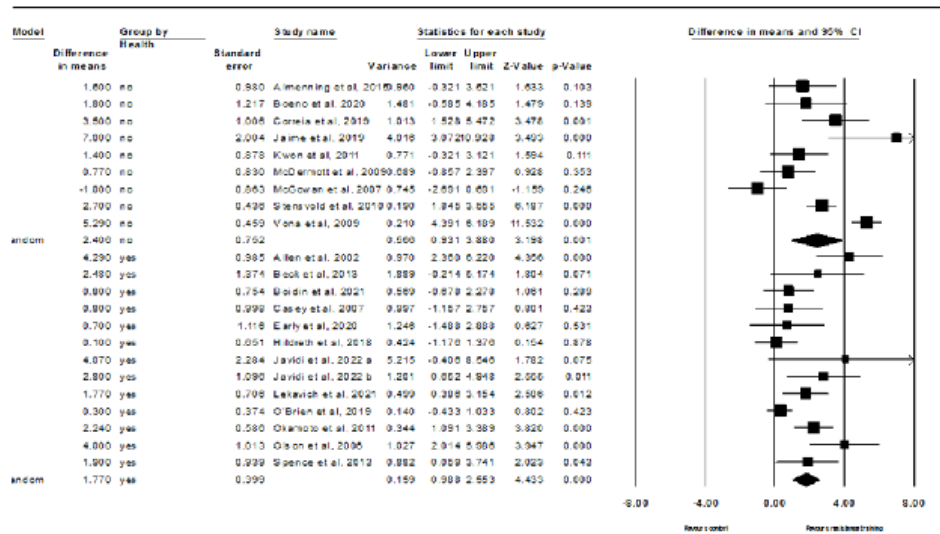
شکل ۲. نمودار انباشت (Forest Plot) تأثیر تمرین مقاومتی برای FMD

به افزایش FMD منجر می‌شود (نمودار ۴). افزون بر این تحلیل بر اساس نوع تحقیق نشان داد که مقادیر FMD در هر دو مطالعات تک‌گروهی (پس‌آزمون در برابر پیش‌آزمون) [WMD: ۱/۱۸، P=۰/۰۲۹] و دوگروهی (تمرین در برابر کنترل) [WMD: ۲/۵۱، P=۰/۰۰۱] افزایش می‌یابد (نمودار ۵).

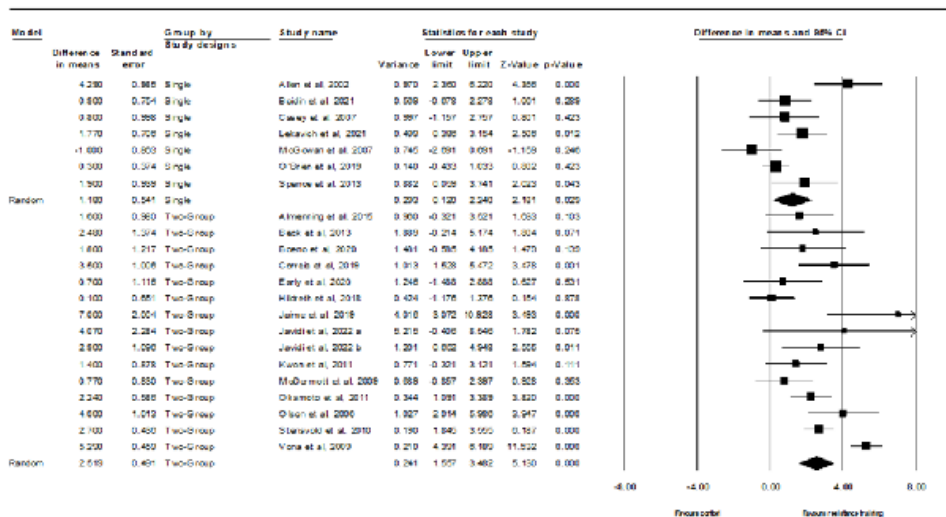
تحلیل زیرگروهی: نتایج تحلیل زیرگروهی بر اساس سن نشان داد که تمرین مقاومتی در هر دو گروه افراد جوان [WMD: ۲/۰۶، P=۰/۰۰۱] و سالمند [P=۰/۰۰۱، WMD: ۱/۸۷] به افزایش FMD می‌انجامد (نمودار ۳). همچنین تحلیل داده‌ها برای وضعیت سلامتی آزمودنی‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی در هر دو گروه سالم [WMD: ۲/۴۰، P=۰/۰۰۱] و بیمار [WMD: ۱/۷۷، P=۰/۰۰۱]



شکل ۳. نمودار انباشت (Forest Plot) تحلیل زیرگروهی برای سن در رابطه با تأثیر تمرین مقاومتی برای FMD



شکل ۴. نمودار انباشت (Forest Plot) تحلیل زیرگروهی برای وضعیت سلامت تأثیر تمرین مقاومتی برای FMD



شکل ۵. نمودار انباشت (Forest Plot) تحلیل زیرگروهی برای نوع مطالعه در رابطه با تأثیر تمرین مقاومتی برای FMD

بحث و نتیجه‌گیری

با FMD، در هر دو گروه افراد سالم و بیمار منجر می‌شود. همچنین تمرین مقاومتی عملکرد اندوتلیال را مستقل از سن آزمودنی‌ها بهبود می‌بخشد. توصیه شده است که تمرین مقاومتی به‌عنوان تعدیل‌کننده و بهبوددهنده FMD به بهبود عملکرد اندوتلیال و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی منجر می‌شود، ولی تعداد پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه محدود است (۴). به همین دلیل در پژوهش حاضر تلاش شد تأثیرات تمرین مقاومتی بر اندوتلیال عروقی با استفاده از داده‌های FMD به‌عنوان نشانگر

FMD نشانگر مهمی در سلامت عروقی است که اختلال در آن می‌تواند خطر بیماری‌های قلبی-عروقی را تا حد زیادی در افراد با سابقه بیماری‌های عروقی و افراد سالم - هر دو- افزایش دهد (۴). از سویی پژوهش‌های انجام‌گرفته به اتفاق نشان داده‌اند که بهبود و افزایش FMD می‌تواند تأثیرات مثبتی روی شاخصه‌های اندوتلیال عروقی افراد سالم و بیمار - هر دو - داشته باشد (۵۱). یافته‌های تحقیق حاضر نیز نشان داد که تمرین مقاومتی به بهبود عملکرد اندوتلیال، ارزیابی شده

برخوردارند (۵۳). با آگاهی از این موضوع، استفاده از این نوع تحقیقات همچنان در حوزه علوم ورزشی، سلامتی و پزشکی صورت می‌گیرد (۵۳). از این رو تحلیل زیرگروهی بر اساس نوع تحقیق صورت گرفت تا اهمیت بالینی و تعمیم‌پذیری داده‌های فراتحلیل حاضر بررسی شود. بر اساس این نتایج، تمرین مقاومتی نقش مؤثری در افزایش FMD داشت که این افزایش به صورت مجزا در هر دو نوع تحقیق مشاهده شد. با توجه به پژوهش‌های بالینی پیشین، با افزایش یک درصد FMD می‌توان انتظار داشت خطر بیماری‌های قلبی- عروقی ۹ تا ۱۷ درصد کاهش یابد (۳). افزون بر این وضعیت سلامت آزمودنی‌ها نیز ممکن است در پاسخ عملکرد اندوتلیال به تمرین ورزشی نقش داشته باشد. در همین زمینه، فراتحلیل پیشین توسط خلفی و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که تمرین ورزشی به بهبود عملکرد اندوتلیال تنها در افراد با اختلالات متابولیکی یا بیماری‌های قلبی- عروقی می‌انجامد و افراد سالم را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد (۷). با وجود این در فراتحلیل حاضر، نتایج نشان داد که تمرین مقاومتی در افراد سالم، ممکن است تأثیرات محافظتی و پیشگیری‌کننده و در افراد با سابقه بیماری یا اختلال تأثیرات درمانی داشته باشد. تمرین مقاومتی شاید رویکردی تقابلی با عملکرد نامناسب اندوتلیال (بدرت شدن سلامت عروقی) مرتبط با بیماری‌های قلبی- عروقی داشته باشد. همچنین تحلیل زیرگروهی بر اساس سن آزمودنی‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی مستقل از سن به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر می‌شود. افزایش سن به عنوان عامل خطررزی برای توسعه بیماری‌های قلبی- عروقی شناخته شده است که دست‌کم در بخشی به دلیل اختلال در عملکرد اندوتلیال از جمله کاهش پاسخ به محرک‌های شیمیایی و مکانیکی است (۲۶). با وجود تأثیرات منفی سن بر عملکرد اندوتلیال، به نظر می‌رسد که تمرین مقاومتی ممکن است از کاهش عملکرد اندوتلیال مرتبط با افزایش سن جلوگیری کند. این تأثیرات مفید تمرین ورزشی ممکن است به دلیل سرکوب سفت شدن شریان بزرگ الاستیک و اختلال عملکرد اندوتلیال عروقی باشد (۵۴). افزون بر این تمرین مقاومتی ممکن است به واسطه کاهش فشار اکسایشی و التهاب به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر شود (۵۵، ۵۶). همچنین نشان داده شده است که تمرین مقاومتی ممکن است تولید نیتریک اکساید را بدون سفت شدن

پیش‌بینی‌کننده آن بررسی شود. نتایج تحقیق حاضر، صرف نظر از نوع تمرین، با نتایج فراتحلیل‌های پیشین همخوانی دارد. برای مثال خلفی و همکاران (۲۰۲۲) در فراتحلیلی از ۳۶ مطالعه با ۱۴۳۷ آزمودنی با یا بدون بیماری قلبی متابولیکی گزارش کردند که تمرین تناوبی با شدت بالا در مقایسه با گروه کنترل به افزایش شاخص FMD به مقدار $3/80$ درصد منجر می‌شود (۷). در فراتحلیلی دیگر سیلوا و همکاران (۲۰۲۱) پس از بررسی ۲۳ پژوهش با شرکت ۷۸۵ آزمودنی سالمند نشان دادند که گروه تمرین مقاومتی در مقایسه با گروه کنترل شاخص FMD به مقدار $2/39$ درصد افزایش یافت (۴). بریسلان و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی با نه مطالعه و ۱۸۲ آزمودنی گزارش کردند تمرین هوازی به افزایش FMD در زنان یائسه منجر شد (۵۲). بررسی نتایج تحقیق حاضر و همچنین ادبیات موجود نشان می‌دهد که صرف نظر از نوع تمرین، تمرین ورزشی ممکن است به بهبود عملکرد اندوتلیال بینجامد. در مورد تمرین مقاومتی، بهبود عملکرد اندوتلیال ممکن است به واسطه سازگاری‌های موضعی و فعال‌سازی مسیر نیتریک اکسید (NO) وابسته به اندوتلیال باشد (۴). توانایی تمرین مقاومتی و همچنین سایر تمرینات ورزشی برای بازگرداندن هومئوستاز عروقی از طریق افزایش دسترسی به NO ناشی از فشار برشی ممکن است یکی دیگر از سازوکارهای مهم توضیح نقش حفاظتی تمرین ورزشی در برابر اختلالات عملکرد اندوتلیال باشد (۳، ۴). البته شایان ذکر است که تنوع تمرینی می‌تواند روی الگوهای فشار خون و جریان خون اثرات متفاوتی داشته باشد که این خود می‌تواند سازگاری‌های متفاوتی را در عروق ایجاد کند (۳، ۴). به همین دلیل سازوکارهای دقیق مسیرهای موضعی و عمومی و همچنین رابطه آنها با بهبود عملکرد اندوتلیالی با تمرینات مقاومتی می‌تواند در پژوهش‌های آینده مدنظر قرار گیرد.

مهم‌ترین یافته پژوهش حاضر، افزایش درصد FMD پس از تمرینات مقاومتی صرف نظر از سن، وضعیت سلامتی و نوع تحقیق بود. در خصوص نوع تحقیقات، محدودیتی اعمال نشد که همین موضوع به اضافه شدن مطالعات بدون گروه کنترل برای فراتحلیل منجر شد. مطالعات فاقد گروه کنترل از اهمیت بالینی کمتری به دلیل نگرانی‌های موجود در خصوص تعمیم‌پذیری نتایج آن به سبب عدم کنترل دقیق شرایط تحقیق

- Journal. 2014;35(45):3180-93.
- Vanhoutte P, Shimokawa H, Feletou M, Tang E. Endothelial dysfunction and vascular disease—a 30th anniversary update. *Acta physiologica*. 2017;219(1):22-96.
 - Paditsaeree K, Mitranun W. Does combining elastic and weight resistance acutely protect against the impairment of flow-mediated dilatation in untrained men? *Artery Research*. 2018;23:1-8.
 - Silva JKT, Meneses AL, Parmenter BJ, Ritti-Dias RM, Farah BQ. Effects of resistance training on endothelial function: a systematic review and meta-analysis. *Atherosclerosis*. 2021;333:91-9.
 - Khalafi M, Mojtahedi S, Ostovar A, Rosenkranz SK, Korivi M. High-intensity interval exercise versus moderate-intensity continuous exercise on postprandial glucose and insulin responses: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*. 2022:e13459.
 - Khalafi M, Ravasi AA, Malandish A, Rosenkranz SK. The impact of high-intensity interval training on postprandial glucose and insulin: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2022:109815.
 - Khalafi M, Sakhaei MH, Kazeminasab F, Symonds ME, Rosenkranz SK. The impact of high-intensity interval training on vascular function in adults: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022:1.
 - Khalafi M, Sakhaei MH, Kheradmand S, Symonds ME, Rosenkranz SK. The impact of exercise and dietary interventions on circulating leptin and adiponectin in individuals with overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis. *Advances in Nutrition*. 2022.
 - Nouri-habashi A, Ahmadizad S, Salimian M, Rahmani H. The effects of high intensity interval training on platelet aggregation and phosphorylation of VASPser239 in men with coronary heart disease. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2018;11(2):49-62. (In Persian)
 - Moradian H, Hosseinpour Delavar S, Zabet A. The effects of eight weeks circuit resistance training on some endothelial markers, blood pressure and lipid profiles in pre-hypertensive obese women. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2022;15(2):84-94. (In Persian)
 - Shiotsu Y, Watanabe Y, Tujii S, Yanagita M. Effect of exercise order of combined aerobic and resistance training on arterial stiffness in older men. *Experimental gerontology*. 2018;111:27-34.
 - Figueroa A, Okamoto T, Jaime SJ, Fahs CA. Impact of high-and low-intensity resistance training on arterial stiffness and blood pressure in adults across the lifespan: a review. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*. 2019;471(3):467-78.
- شریان‌های مرکزی در سالمندان افزایش دهد (۵۷) و میانجی مهمی برای بهبود عملکرد اندوتلیال به واسطه تمرین مقاومتی در سالمندان باشد. به نظر می‌رسد با وجود تأثیرات منفی سالمندی بر افت عملکرد اندوتلیال، تمرین مقاومتی مداخله مؤثر برای بهبود FMD مستقل از اثر سن باشد.
- با وجود یافته‌های بالینی مهم تحقیق حاضر، محدودیت‌هایی نیز وجود داشت که در تحلیل داده‌ها باید در نظر گرفته شود. نتایج حاصل از ۱۲، ناهمگونی بالایی را نشان داد که باید تفسیر نتایج با احتیاط بیشتری صورت گیرد. در تحلیل زیرگروهی بر اساس وضعیت سلامتی، افراد با وضعیت اختلالات مختلف در یک دسته‌بندی قرار گرفتند که لازم است تحقیقات بیشتری صورت گیرد تا بتوان به‌طور خاص روی هر بیماری متمرکز شد. با وجود پژوهش‌های ارزشمند در زمینه تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال، همچنان لازم است کارآزمایی‌های بالینی بیشتری انجام گیرد تا بتوان در خصوص مؤلفه‌های تمرین از جمله شدت تمرین بررسی‌های بیشتری انجام داد. با وجود این یافته‌های تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تمرین مقاومتی نقش مؤثری در بهبود عملکرد اندوتلیال دارد. آثار مفید تمرین مقاومتی مستقل از سن و وضعیت سلامت افراد است. از این رو تجویز برنامه تمرین مقاومتی برای افراد مختلف به‌ویژه افراد بالای ۵۰ سال و بیماران قلبی-عروقی و متابولیکی توصیه می‌شود.
- تشکر و قدردانی**
- از کسانی که در تهیه این مقاله یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.
- حامی / حامیان مالی**
- برای انجام پژوهش حاضر حمایت مالی دریافت نشده است.
- مشارکت نویسندگان**
- همه نویسندگان به‌طور مساوی در اجرا این پژوهش مشارکت داشتند.
- تعارض منافع**
- نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.
- منابع**
- Shimokawa H. 2014 Williams Harvey Lecture: importance of coronary vasomotion abnormalities—from bench to bedside. *European Heart*

13. Pedralli ML, Eibel B, Waclawovsky G, Schaun MI, Nisa-Castro-Neto W, Umpierre D, et al. Effects of exercise training on endothelial function in individuals with hypertension: a systematic review with meta-analysis. *Journal of the American Society of Hypertension*. 2018;12(12):e65-e75.
14. Pedralli ML, Marschner RA, Kollet DP, Neto SG, Eibel B, Tanaka H, et al. Different exercise training modalities produce similar endothelial function improvements in individuals with prehypertension or hypertension: A randomized clinical trial. *Scientific reports*. 2020;10(1):1-9.
15. Feigenbaum MS, Pollock ML. Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine and science in sports and exercise*. 1999;31(1):38-45.
16. Polito MD, Dias Jr JR, Papst RR. Resistance training to reduce resting blood pressure and increase muscle strength in users and non-users of anti-hypertensive medication: A meta-analysis. *Clinical and Experimental Hypertension*. 2021;43(5):474-85.
17. Phillips MD, Patrizi RM, Cheek DJ, Wooten JS, Barbee JJ, Mitchell JB. Resistance training reduces subclinical inflammation in obese, postmenopausal women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2012;44(11):2099-110.
18. Khalafi M, Malandish A, Rosenkranz SK, Ravasi AA. Effect of resistance training with and without caloric restriction on visceral fat: A systemic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*. 2021;22(9):e13275.
19. Boidin M, Erskine RM, Thijssen DH, Dawson EA. Exercise modality, but not exercise training, alters the acute effect of exercise on endothelial function in healthy men. *Journal of Applied Physiology*. 2021;130(6):1716-23.
20. Casey DP, Pierce GL, Howe KS, Mering MC, Braith RW. Effect of resistance training on arterial wave reflection and brachial artery reactivity in normotensive postmenopausal women. *European journal of applied physiology*. 2007;100(4):403-8.
21. Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, Takahashi K, Hayashi K, Yamazaki K, et al. Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation*. 2004;110(18):2858-63.
22. Dawson EA, Sheikhsaraf B, Boidin M, Erskine RM, Thijssen DH. Intra-individual differences in the effect of endurance versus resistance training on vascular function: A cross-over study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2021;31(8):1683-92.
23. Rueda-Clausen CF, Lahera V, Calderón J, Bolívar IC, Castillo VR, Gutiérrez M, et al. The presence of abdominal obesity is associated with changes in vascular function independently of other cardiovascular risk factors. *International journal of cardiology*. 2010;139(1):32-41.
24. Baron AD. Insulin resistance and vascular function. *Journal of Diabetes and its Complications*. 2002;16(1):92-102.
25. Novo G, Manno G, Russo R, Buccheri D, Dell'Oglio S, Morreale P, et al. Impact of insulin resistance on cardiac and vascular function. *International Journal of Cardiology*. 2016;221:1095-9.
26. Seals DR, Jablonski KL, Donato AJ. Aging and vascular endothelial function in humans. *Clinical science*. 2011;120(9):357-75.
27. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International journal of surgery*. 2021;88:105906.
28. De Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2009;55(2):129-33.
29. Allen JD, Geaghan JP, Greenway F, Welsch MA. Time course of improved flow-mediated dilation after short-term exercise training. *Medicine and science in sports and exercise*. 2003;35(5):847-53.
30. Almenning I, Rieber-Mohn A, Lundgren KM, Shetelig Løvvik T, Garnæs KK, Moholdt T. Effects of high intensity interval training and strength training on metabolic, cardiovascular and hormonal outcomes in women with polycystic ovary syndrome: a pilot study. *Plos one*. 2015;10(9):e0138793.
31. Beck DT, Casey DP, Martin JS, Emerson BD, Braith RW. Exercise training improves endothelial function in young prehypertensives. *Experimental biology and medicine*. 2013;238(4):433-41.
32. Boeno FP, Ramis TR, Munhoz SV, Farinha JB, Moritz CE, Leal-Menezes R, et al. Effect of aerobic and resistance exercise training on inflammation, endothelial function and ambulatory blood pressure in middle-aged hypertensive patients. *Journal of Hypertension*. 2020;38(12):2501-9.
33. A. Correia M, Oliveira PL, Farah BQ, Vianna LC, Wolosker N, Puech-Leao P, et al. Effects of isometric handgrip training in patients with peripheral artery disease: a randomized controlled trial. *Journal of the American Heart Association*. 2020;9(4):e013596.
34. Early KS, Rockhill M, Bryan A, Tyo B, Buuck D, McGinty J. Effect of blood flow restriction training on muscular performance, pain and vascular function. *International journal of sports physical therapy*. 2020;15(6):892.
35. Hildreth KL, Schwartz RS, Vande Griend J, Kohrt WM, Blatchford PJ, Moreau KL. Effects of

- testosterone and progressive resistance exercise on vascular function in older men. *Journal of Applied Physiology*. 2018;125(6):1693-701.
36. Jaime SJ, Maharaj A, Alvarez-Alvarado S, Figueroa A. Impact of low-intensity resistance and whole-body vibration training on aortic hemodynamics and vascular function in postmenopausal women. *Hypertension Research*. 2019;42(12):1979-88.
 37. Javidi M, Ahmadizad S, Argani H, Najafi A, Ebrahim K, Salehi N, et al. Effect of Lower-versus Higher-Intensity Isometric Handgrip Training in Adults with Hypertension: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. 2022;9(9):287.
 38. Kwon HR, Min KW, Ahn HJ, Seok HG, Lee JH, Park GS, et al. Effects of aerobic exercise vs. resistance training on endothelial function in women with type 2 diabetes mellitus. *Diabetes & metabolism journal*. 2011;35(4):364-73.
 39. Lekavich CL, Allen JD, Bensimhon DR, Bateman LA, Slentz CA, Samsa GP, et al. Aerobic versus resistance training effects on ventricular-arterial coupling and vascular function in the STRRIDE-AT/RT trial. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2021;8:638929.
 40. McDermott MM, Ades P, Guralnik JM, Dyer A, Ferrucci L, Liu K, et al. Treadmill exercise and resistance training in patients with peripheral arterial disease with and without intermittent claudication: a randomized controlled trial. *Jama*. 2009;301(2):165-74.
 41. McGowan CL, Levy AS, McCartney N, MacDonald MJ. Isometric handgrip training does not improve flow-mediated dilation in subjects with normal blood pressure. *Clinical Science*. 2007;112(7):403-9.
 42. O'Brien MW, Johns JA, Robinson SA, Bungay A, Mekary S, Kimmerly DS. Impact of High-Intensity Interval Training, Moderate-Intensity Continuous Training, and Resistance Training on Endothelial Function in Older Adults. *Medicine and science in sports and exercise*. 2020;52(5):1057-67.
 43. Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Effect of low-intensity resistance training on arterial function. *European Journal of Applied Physiology*. 2011;111(5):743-8.
 44. Olson TP, Dengel DR, Leon AS, Schmitz KH. Moderate resistance training and vascular health in overweight women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2006;38(9):1558-64.
 45. Spence AL, Carter HH, Naylor LH, Green DJ. A prospective randomized longitudinal study involving 6 months of endurance or resistance exercise. Conduit artery adaptation in humans. *The Journal of physiology*. 2013;591(5):1265-75.
 46. Stensvold D, Tjønnå AE, Skaug E-A, Aspenes S, Stølen T, Wisløff U, et al. Strength training versus aerobic interval training to modify risk factors of metabolic syndrome. *Journal of applied physiology*. 2010;108(4):804-10.
 47. Vona M, Codeluppi G, Iannino T, Ferrari E, Bogousslavsky J, Von Segesser L. Effects of different types of exercise training followed by detraining on endothelium-dependent dilation in patients with recent myocardial infarction. *Circulation*. 2009;119(12):1601-8.
 48. Casey DP, Pierce GL, Howe KS, Mering MC, Braith RW. Effect of resistance training on arterial wave reflection and brachial artery reactivity in normotensive postmenopausal women. *European journal of applied physiology*. 2007;100:403-8.
 49. Allen JD, Geaghan JP, Greenway F, Welsch MA. Time course of improved flow-mediated dilation after short-term exercise training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003;35(5):847-53.
 50. Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Effect of low-intensity resistance training on arterial function. *European Journal of Applied Physiology*. 2011;111:743-8.
 51. Xu Y, Arora RC, Hiebert BM, Lerner B, Sz wajczer A, McDonald K, et al. Non-invasive endothelial function testing and the risk of adverse outcomes: a systematic review and meta-analysis. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*. 2014;15(7):736-46.
 52. Brislane Á, Sculthorpe NF, Davenport MH, Beaumont A. Exercise training and vascular function in postmenopausal individuals: a systematic review and meta-analysis. *Menopause*. 2022;29(8):982-92.
 53. Knapp TR. Why is the one-group pretest–posttest design still used?: SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA; 2016. p. 467-72.
 54. Craighead DH, Heinbockel TC, Hamilton MN, Bailey EF, MacDonald MJ, Gibala MJ, et al. Time-efficient physical training for enhancing cardiovascular function in midlife and older adults: promise and current research gaps. *Journal of Applied Physiology*. 2019;127(5):1427-40.
 55. Ogawa K, Sanada K, Machida S, Okutsu M, Suzuki K. Resistance exercise training-induced muscle hypertrophy was associated with reduction of inflammatory markers in elderly women. *Mediators of inflammation*. 2010;2010.
 56. Parise G, Brose AN, Tarnopolsky MA. Resistance exercise training decreases oxidative damage to DNA and increases cytochrome oxidase activity in older adults. *Experimental gerontology*. 2005;40(3):173-80.
 57. Maeda S, Otsuki T, Iemitsu M, Kamioka M, Sugawara J, Kuno S, et al. Effects of leg resistance training on arterial function in older men. *British journal of sports medicine*. 2006;40(10):867-9.