

Comparison of Endurance, Resistance, and Parallel Training on Heart Rate Variability in Male Smokers with Metabolic Syndrome

Alapour Khashayar¹, Farzaneh Hesari Amin², Abaszade Hajar²

1- Ph.D. Student in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Exercise Physiology, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran

Abstract

Received: 2025.10.27 Accepted: 2026.02.03

Purpose: Heart rate variability (HRV) is a key indicator of autonomic nervous system function and cardiac adaptability, both of which are markedly reduced in smokers with metabolic syndrome. This study aimed to compare the effects of endurance, resistance, and concurrent training on HRV components in male smokers with metabolic syndrome.

Methods: In this quasi-experimental study, forty male smokers diagnosed with metabolic syndrome were randomly assigned to four groups: endurance, resistance, concurrent, and control. Training programs were performed for 12 weeks, three sessions per week. HRV indices including HF, LF, RMSSD, SDNN, HR, and LF/HF were measured before and after the intervention. Data were analyzed using multivariate analysis of covariance (MANCOVA) and paired t-tests ($p < 0.05$).

Results: The results of the Wilks' Lambda test indicated that the group effect on the combination of HRV components was significant ($p < 0.001$). Significant differences were observed between the training groups in HF ($p = 0.002$), HR ($p < 0.001$), LF ($p < 0.001$), LF/HF ratio ($p = 0.004$), RMSSD ($p < 0.001$), and SDNN ($p < 0.001$) ($p < 0.05$). Aerobic training produced the greatest effects on HF and RMSSD indices, while concurrent training elicited the largest changes in SDNN, HR, LF, and the LF/HF ratio. Resistance training led to more limited improvements in RMSSD and SDNN.

Conclusion: All three training modalities improved autonomic cardiac regulation, but concurrent training—combining aerobic and resistance elements—showed the most comprehensive effect in enhancing sympatho-vagal balance. Consequently, concurrent training can be recommended as an effective and non-pharmacological strategy for cardiovascular rehabilitation in smokers with metabolic syndrome.

Keywords: Heart rate variability, Endurance training, Resistance training, Parallel training, Metabolic syndrome, Smoking, Autonomic nervous system

Corresponding Author: Amin Farzaneh Hesari

Email: Af.hessari@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3477-8286



Copyright © 2026 Mashhad University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

► Please cite this article as: Alapour Kh, Farzaneh Hesari A, Abaszade H. Comparison of Endurance, Resistance, and Parallel Training on Heart Rate Variability in Male Smokers with Metabolic Syndrome. *JPSR* 2026; 15(1): 42-55. DOI: 10.22038/jpsr.2026.92261.2748.

مقایسه تمرین هوازی، مقاومتی و موازی بر تغییر پذیری ضربان قلب در مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک
خشیار علاپور^۱، امین فرزانه حساری^۲، هاجر عباس زاده^۳

هدف: تغییرپذیری ضربان قلب (Heart rate variability; HRV) یکی از شاخص‌های مهم عملکرد سیستم عصبی خودکار و تعادل میان شاخه‌های سمپاتیک و پاراسمپاتیک است که در افراد سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. هدف پژوهش حاضر، مقایسه اثر تمرین‌های هوازی، مقاومتی و موازی بر مؤلفه‌های HRV در مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک بود.

روش بررسی: در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۴۰ مرد سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک به صورت تصادفی در چهار گروه تمرین هوازی، مقاومتی، موازی و کنترل تقسیم شدند. برنامه‌های تمرینی به مدت دوازده هفته و سه جلسه در هفته اجرا گردید. شاخص‌های HRV شامل فرکانس بالا (High Frequency; HF)، فرکانس پایین (Low Frequency; LF)، ریشه میانگین مربعات اختلاف‌های متوالی (Root Mean Square of Successive Differences; RMSSD)، انحراف معیار فواصل طبیعی ضربان قلب (Standard Deviation of Normal-to-Normal Intervals; SDNN)، ضربان قلب (Heart Rate; HR)، نسبت فرکانس پایین به فرکانس بالا (Low Frequency / High Frequency Ratio;)، LF/HF، پیش و پس از مداخله اندازه‌گیری شدند. تحلیل داده‌ها با آزمون تحلیل کوواریانس چندمتغیره (Multivariate Analysis of Covariance; MANCOVA) و آزمون تعقیبی کمترین تفاوت معنی داری (Least Significant Difference Test; LSD) درون گروهی انجام شد ($p < 0.05$).

یافته‌ها: نتایج آزمون Wilks' Lambda نشان داد اثر گروه بر ترکیب مؤلفه‌های HRV معنی دار بود ($p < 0.001$). بین گروه‌های تمرینی، تفاوت معنی داری در HF ($p = 0.002$)، HR ($p = 0.001$)، LF ($p = 0.001$)، LF/HF ($p = 0.004$)، RMSSD ($p = 0.001$) و SDNN ($p = 0.001$) مشاهده شد ($p < 0.05$). همچنین تمرین هوازی بیشترین اثر را بر شاخص‌های HF و RMSSD و تمرین موازی بیشترین تغییر را در LF، HR، SDNN و نسبت LF/HF ایجاد کرد. تمرین مقاومتی موجب بهبود محدودتر در RMSSD و SDNN شد.

نتیجه گیری: بنا بر نتایج، هر سه نوع تمرین موجب بهبود فعالیت سیستم عصبی خودکار شدند، اما تمرین موازی با ترکیب محرک‌های هوازی و مقاومتی بیشترین تأثیر را در بهبود تعادل سمپاتیک-پاراسمپاتیک نشان داد. از این رو می‌توان تمرین موازی را به عنوان رویکردی کارآمد در بازتوانی قلبی-عروقی مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک توصیه نمود.

کلمات کلیدی: تغییرپذیری ضربان قلب، تمرین هوازی، تمرین مقاومتی، تمرین موازی، سندرم متابولیک، سیگار، سیستم عصبی خودکار
نویسنده مسئول: امین فرزانه حساری، Af.hessari@gmail.com، ORCID: 0000-0003-3477-8286

آدرس: مازندران، ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

۲- دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

مقدمه

مردان میانسال شیوع بالایی دارد. از دیدگاه فیزیولوژیکی، مطالعات نشان داده‌اند که افراد مبتلا به سندرم متابولیک دچار اختلال در تنظیم عصبی خودکار قلب هستند که خود را با کاهش تغییرپذیری ضربان قلب (Heart Rate Variability; HRV) نشان می‌دهد (۲). HRV به عنوان شاخصی معتبر برای تعادل میان شاخه‌های سمپاتیک و پاراسمپاتیک سیستم عصبی خودکار، بازتابی

سندرم متابولیک از مهم ترین چالش های بهداشت عمومی در دهه های اخیر به شمار می رود که مجموعه ای از اختلالات شامل چاقی شکمی، افزایش فشار خون، مقاومت به انسولین، هیپرگلیسمی و دیس لیپیدمی را دربر می گیرد (۱). این سندرم با افزایش خطر ابتلا به بیماری های قلبی-عروقی و دیابت نوع دو همراه است و به ویژه در

انسولین، تقویت عملکرد عصبی- عضلانی و کاهش سفتی عضلات و تاندون‌ها، نقش مهمی در پایداری عملکردی و پیشگیری از افت فیزیکی دارند. ترکیب این دو روش به صورت همزمان موجب تقویت همزمان سیستم های انرژی (هوازی و بی هوازی)، بهبود کنترل عصبی- عضلانی، و ارتقای توانایی بدن برای مدیریت استرس های متابولیک و مکانیکی می‌شود. افزون بر این، شواهد نشان می دهد که اجرای همزمان این دو نوع تمرین نسبت به اجرای منفرد هر یک، اثرات بیشتری بر کنترل قند خون، ترکیب بدنی، عملکرد قلب و عروق، سلامت عروقی و ظرفیت عملکردی کلی دارد و می‌تواند در جمعیت‌های پرخطر، از جمله افراد دارای چاقی، سندرم متابولیک یا ناتوانی قدرتی-هوازی، فواید درمانی برجسته‌تری ایجاد کند (۱۰). برخی شواهد از هم‌افزایی اثرات تمرینات موازی بر HRV خبر می‌دهند (۱۱)، ولی گروهی دیگر به وجود «تداخل تطابقی» میان مسیرهای مولکولی پروتئین کیناز فعال‌شونده با آدنوزین مونوفسفات (Adenosine Monophosphate-AMPK) و هدف مکانیکی راپامایسین (Rapamycin; mTOR) اشاره کرده اند که می‌تواند موجب تضعیف برخی سازگاری‌ها شود (۱۲، ۱۱).

با وجود انجام پژوهش های متعدد درباره ی اثر تمرینات فیزیکی بر HRV در جمعیت‌های سالم و غیرسیگاری، هنوز شواهد کافی درباره ی اثرات نسبی و مقایسه ای تمرینات هوازی، مقاومتی و موازی در مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک وجود ندارد (۱۳). از آنجا که این گروه از افراد، در معرض بیشترین خطر آسیب های قلبی-عروقی هستند و ویژگی های فیزیولوژیکی خاصی دارند، تعیین مؤثرترین الگوی تمرینی برای بهبود HRV می‌تواند به بهینه‌سازی سلامت قلب و کاهش خطر مرگ زودرس در آنان منجر شود. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف مقایسه‌ی کامل سه نوع تمرین هوازی، مقاومتی و موازی بر تغییرپذیری ضربان قلب در مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک طراحی شده است تا بتواند بخشی از خلأ دانشی موجود را در زمینه ی ارتباط میان تمرین ورزشی و تنظیم خودکار قلب در جمعیت های پرخطر برطرف سازد.

از ظرفیت بدن برای پاسخ مؤثر به فشارهای درونی و محیطی است (۳). کاهش HRV با پیامدهایی چون افزایش استرس اکسیداتیو، التهاب سیستمیک، اختلال عملکرد اندوتلیال و در نهایت افزایش خطر آریتمی و مرگ‌های قلبی ناگهانی مرتبط دانسته شده است (۴). از سوی دیگر، سیگار کشیدن یکی از عوامل مداخله‌گر کلیدی در پاتوفیزیولوژی متابولیک و عروقی محسوب می‌شود. علاوه بر سیگار، عواملی نظیر چاقی شکمی، سبک زندگی کم‌تحرک، استرس روان‌شناختی مزمن، مصرف الکل، الگوهای خواب ناکافی و رژیم‌های غذایی پرچربی و پرقند نیز از طریق مکانیسم- های التهابی، هورمونی و عصبی، موجب برهم خوردن تعادل بین شاخه های سمپاتیکی و پاراسمپاتیکی و در نهایت اختلال در تنظیم خودکار متابولیک و عروقی می‌شوند. مواد سمی موجود در دود سیگار از جمله نیکوتین و مونوکسیدکربن، منجر به افزایش تحریک سمپاتیکی و کاهش فعالیت پاراسمپاتیکی می‌شوند (۵). افزون بر این، سیگار از طریق افزایش رادیکال‌های آزاد و واسطه‌های التهابی، موجب آسیب اندوتلیال و افت بیشتر HRV می‌شود (۶). ترکیب رفتار سیگار کشیدن با سندرم متابولیک موجب تشدید اثرات منفی بر کنترل عصبی قلب و ظرفیت سازگاری اتونومیک می‌گردد (۶). در این میان، تمرین ورزشی به‌عنوان مؤثرترین مداخله‌ی غیردارویی، نقشی کلیدی در بهبود شاخص‌های متابولیک و قلبی-عروقی ایفا می‌کند (۷). تمرینات هوازی از طریق افزایش ظرفیت اکسیداتیو، بهبود عملکرد اندوتلیوم، افزایش حساسیت به انسولین و کاهش استرس اکسیداتیو موجب بهبود مؤلفه‌های فرکانسی HRV و افزایش تون پاراسمپاتیکی می‌شوند (۸). تمرینات مقاومتی نیز با تحریک مسیرهای آنابولیکی و ارتقای توده‌ی بدون چربی بدن، می‌توانند تنظیم خودکار قلب را تعدیل و کنترل سمپاتیکی را کاهش دهند (۹). با این حال، تمرین موازی (Concurrent) که موازی از دو نوع تمرین هوازی و مقاومتی است، از نظر سازوکارهای تطبیقی در سطح سلولی و عصبی پیچیدگی‌های خاصی دارد. تمرینات استقامتی با بهبود ظرفیت هوازی، افزایش کارایی میتوکندری، ارتقای جریان خون عضلانی و بهبود عملکرد قلب و عروق، محیطی مناسب برای تنظیم متابولیک ایجاد می‌کنند؛ در حالی که تمرینات مقاومتی با افزایش توده و قدرت عضلانی، بهبود حساسیت به

روش بررسی

این پژوهش از نوع تجربی و با طرح پیش آزمون و پس-آزمون می‌باشد. جامعه آماری پژوهش شامل کلیه مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک شهر اردبیل بود. نمونه آماری پژوهش را نیز ۴۰ مرد سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک (۴۰ - ۶۰ سال) تشکیل می‌دادند که به صورت تصادفی و هدفمند انتخاب شده و در چهار گروه تمرین هوازی (۱۰ نفر)، تمرین مقاومتی (۱۰ نفر)، تمرین هوازی+مقاومتی (۱۰ نفر) و گروه کنترل (۱۰ نفر) تقسیم شدند. سندرم متابولیک بر اساس معیارهای ATP III سنجیده شد و هر فردی که سه علامت یا بیشتر را داشت به عنوان فرد مبتلا به سندرم متابولیک در نظر گرفته شد. این معیار عبارتند از: دور کمر بیشتر یا مساوی ۱۰۲ سانتیمتر (مردان)، سطح تری گلیسرید بیشتر یا مساوی ۱۵۰ میلی گرم در دسی لیتر، HDL کمتر از ۴۰ میلی گرم در دسی لیتر، فشار خون ۱۳۰/۸۵ میلی متر جیوه، گلوکز خون ناشتا بیشتر یا مساوی ۱۰۰ میلی گرم در دسی لیتر (۱۴، ۱۵). همچنین، سابقه سیگار کشیدن نیز حداقل شش ماه در نظر گرفته شد. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار G*POWER برای توان آماری ۰/۸ و اندازه اثر ۰/۸ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، ۴۰ نفر برآورد شد. به منظور انتخاب نمونه‌ای همگن و کنترل متغیرهای مداخله‌گر، معیارهای ورود و خروج شرکت‌کنندگان با دقت تعیین گردید. شرکت‌کنندگان واجد شرایط شامل مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک بودند که حداقل طی شش ماه گذشته روزانه پنج نخ سیگار مصرف کرده (۱۶) و تشخیص سندرم متابولیک در آنان بر اساس معیارهای فدراسیون بین‌المللی دیابت تأیید شده بود.

همچنین، داشتن توانایی جسمی لازم برای انجام فعالیت بدنی و تمایل کافی جهت شرکت داوطلبانه در برنامه تمرینی و امضای رضایت‌نامه آگاهانه از دیگر شرایط ورود محسوب می‌شد. در مقابل، افرادی که دچار هرگونه بیماری حاد یا مزمن پایدار نظیر نارسایی قلبی، کلیوی یا کبدی پیشرفته بودند، سابقه سکته قلبی یا مغزی در سه ماه اخیر داشتند، یا از داروها (بتابلوکرها) (نظیر متوپرولول و پروپرانولول)، مسدودکننده های کانال کلسیم غیردی‌هیدروپیریدینی (نظیر وراپامیل و دیلتیازم)، داروهای ضدآریتمی، داروهای ضداسهال از گروه SSRI و SNRI، بنزودیازپین‌ها، داروهای محرک

دستگاه عصبی مرکزی، و نیز داروهای هورمونی مؤثر بر پاسخ های قلبی-عروقی) و مداخلاتی (مداخلات فیزیولوژیک مؤثر بر سیستم اتونوم نظیر تحریک الکتریکی عصب واگ، بیوفیدبک HRV، یا برنامه های ورزشی ساختارمند با شدت بالا در ۳ ماه گذشته) استفاده می‌کردند که می‌توانستند شاخص های اصلی پژوهش از جمله تغییرپذیری ضربان قلب را تحت تأثیر قرار دهند، از مطالعه کنار گذاشته شدند. همچنین، مشارکت هم‌زمان در سایر پژوهش‌های مداخله‌ای و ناتوانی یا عدم تمایل به اجرای منظم پروتکل تمرینی از دیگر معیارهای خروج به شمار می‌رفت.

اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب (HRV)

آزمودنی‌ها در ساعات قبل از ظهر (۷ تا ۱۱ صبح) و به صورت ناشتا در محیطی کنترل‌شده انجام گرفت. ارزیابی در اتاقی نیمه‌تاریک و ساکت با دمای ثابت میانگین 23 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حدود ۴۵ درصد انجام شد تا اثر چرخه‌های شبانه‌روزی و دمای محیطی بر پاسخ‌های اتونوم به حداقل برسد (۱۷، ۱۸). تمامی شرکت‌کنندگان موظف بودند طی ۲۴ ساعت پیش از آزمون از انجام فعالیت بدنی شدید و طی ۱۲ ساعت قبل از آزمون از مصرف مواد حاوی کافئین و سیگار خودداری کنند (۱۹). شب پیش از آزمون نیز ۸ ساعت خواب پیوسته برای تثبیت ریتم‌های فیزیولوژیکی الزامی بود، و صبح روز ثبت از هرگونه پیاده‌روی یا فعالیت فیزیکی اجتناب کردند. پیش از شروع ثبت، آزمودنی‌ها ۱۵ دقیقه در حالت خوابیده به پشت (Supine Position) استراحت کردند تا وضعیت سیستم عصبی خودکار به حالت پایدار برسد (۲۰). فواصل بین ضربان‌ها (RR Intervals) سپس به مدت ۲۰ دقیقه با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ Hz توسط دستگاه هولتر مانیتورینگ VX3 (DMS Inc., USA) در قالب ECG سه‌محوره ثبت شد. سیگنال‌ها پس از حذف آرتیفکت‌ها و نویزهای حرکتی، با استفاده از نرم‌افزار Full Option و HRV Analyzer مورد پردازش قرار گرفتند (۲۱). برای تحلیل HRV از شاخص‌های زمان‌محور شامل SDNN و RMSSD و شاخص‌های فرکانس‌محور شامل LF، HF و نسبت LF/HF استفاده شد (۲۲). تمامی اندازه‌گیری‌ها توسط یک تکنسین متخصص فیزیولوژی ورزش انجام

گرفت تا خط کاهش یافته و پایایی داده ها حفظ گردد.

پروتکل تمرین هوازی (۱۲ هفته ای) (۲۳، ۲۴)

پروتکل تمرین هوازی در این پژوهش به صورت یک برنامه ی ۱۲ هفته ای طراحی شد که در قالب سه جلسه در هفته و در روزهای زوج اجرا گردید. نوع تمرین از مدل هوازی مداوم با شدت متوسط تا بالا (Moderate-to-High Intensity Continuous Training; MICT) بود و تمام جلسات بر روی تردمیل در شرایط محیطی کنترل شده انجام گرفت. شدت تمرین ها بر اساس ذخیره ی ضربان قلب (Heart Rate Reserve; HRR) تعیین شد؛ بدین ترتیب که ابتدا ضربان قلب بیشینه (HRmax) و ضربان قلب در حالت استراحت (HRrest) اندازه گیری و مقدار HRR از حاصل تفاضل این دو شاخص به دست آمد. سپس با استفاده از معادله :

$$HR_{training} = HR_{rest} + (\%HRR \times [HR_{max} - HR_{rest}])$$

ضربان قلب تمرینی محاسبه شد تا شدت فعالیت متناسب با ظرفیت فیزیولوژیک هر فرد تنظیم گردد. علاوه بر این، برای پایش دقیق تر شدت تمرین از مقیاس ادراک تلاش بورگ (RPE) در دامنه ی ۱۱ تا ۱۵ استفاده شد که بیانگر سطح متوسط تا نسبتاً شدید فعالیت است. هر جلسه تمرینی از سه بخش تشکیل می شد: در مرحله ی گرم کردن، آزمودنی ها به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه تمرین هوازی سبک در حدود ۴۰٪ HRR همراه با حرکات کششی پویا برای اندام های فوقانی و تحتانی انجام می دادند. در بخش تمرین اصلی، شرکت کنندگان طبق جدول زمان بندی و شدت تعیین شده بر اساس پیشرفت هفته به هفته (جدول ۱)، تمرین هوازی مداوم را با شدت هدف ادامه می دادند. در پایان، مرحله ی سرد کردن شامل ۵-۱۰ دقیقه تمرین هوازی سبک با کاهش تدریجی شدت و حرکات کششی ایستا جهت بازگشت تدریجی عملکرد سیستم قلبی-عروقی و عضلانی به سطح استراحت اجرا شد. برای اطمینان از ایمنی آزمودنی ها، فشار خون در ابتدای و انتهای هر جلسه اندازه گیری گردید و در صورت بروز علائمی مانند درد قفسه سینه، سرگیجه یا تنگی نفس غیرمعمول، تمرین فوراً متوقف می شد. همچنین میزان مصرف سیگار شرکت کنندگان در طول دوره ی تمرینی

به طور منظم ثبت و پایش شد تا اثرات مداخله به درستی کنترل گردد.

پروتکل تمرین مقاومتی (۲۵)

پروتکل تمرین مقاومتی در این پژوهش به مدت ۱۲ هفته و در قالب سه جلسه در هفته طی روزهای زوج اجرا گردید. نوع تمرین از سیستم تمام بدن یا چرخه ای (Full Body Circuit Training; FBCT) انتخاب شد تا ضمن بهینه سازی زمان تمرین، مصرف انرژی و درگیری عضلات بزرگ بدن افزایش یابد. تمرین ها با استفاده از موازی از وزنه های آزاد و دستگاه های بدنسازی استاندارد انجام شد. در هفته ی نخست، برای هر حرکت اصلی، یک تکرار بیشینه (One repetition maximum; RM1) تعیین شد تا مبنایی برای تنظیم شدت تمرین در هفته های بعد فراهم شود. بر اساس این مقادیر، شدت تمرین بین ۵۰ تا ۷۰ درصد RM1 متغیر بود و متناسب با پیشرفت شرکت کنندگان به صورت تدریجی افزایش می یافت. همزمان، میزان ادراک تلاش (RPE) توسط شرکت کنندگان در محدوده ی ۱۲ تا ۱۶ بر اساس مقیاس بورگ کنترل می شد که بیانگر شدت متوسط تا سنگین تمرین است. در هر جلسه، پس از گرم کردن عمومی و ویژه شامل ۵ تا ۱۰ دقیقه فعالیت هوازی سبک روی تردمیل یا دوچرخه ثابت همراه با کشش های پویا، شرکت کنندگان هشت حرکت اصلی را به ترتیب مشخص اجرا کردند: پرس سینه (Bench Press; BP)، لت پول داون (Lat Pulldown; LP)، اسکوات (Squat)، ددلیفت رومانیایی (Romanian Deadlift; RD)، پرس سرشانه (Shoulder Press; SP)، جلو بازو دمبل (Dumbbell Biceps Curl; DBC)، پشت بازو سیم کش (Triceps Pushdown; TP) و لانچ دمبل (Dumbbell Lunge; DL). بین حرکات وقفه ی استراحت کوتاهی در حدود ۶۰ تا ۹۰ ثانیه لحاظ شد و در پایان هر چرخه، استراحت بلندتری برای بازیابی نسبی در نظر گرفته شد. تعداد تکرارها و تعداد چرخه ها طبق جدول پیشرفت هفتگی تنظیم شد تا شدت تمرین با اصل اضافه بار تدریجی هماهنگ باشد. در پایان هر جلسه، مرحله ی سرد کردن شامل ۵ تا ۱۰ دقیقه حرکات کششی ایستا و تمرکز بر تنفس عمیق برای بازگشت تدریجی پارامترهای همودینامیک به حالت استراحت انجام گرفت. برای حفظ

جدول ۱: برنامه هفتگی تمرینات هوازی

هفته	مدت (دقیقه)	شدت (%HRR)	حجم کل هفتگی (دقیقه)	توضیح پیشرفت
۱-۲	۲۰-۲۵	۵۰-۵۵٪	۶۰-۷۵	سازگاری اولیه قلبی-عروقی
۳-۴	۲۵-۳۰	۵۵-۶۰٪	۷۵-۹۰	افزایش حجم بیشتر از شدت
۵-۶	۳۰-۳۵	۶۰-۶۵٪	۹۰-۱۰۵	بهبود مصرف اکسیژن
۷-۸	۳۵-۴۰	۶۵-۷۰٪	۱۰۵-۱۲۰	ارتقاء فشار کاری
۹-۱۰	۴۰-۴۵	۷۰-۷۵٪	۱۲۰-۱۳۵	نزدیک به آستانه بی‌هوازی
۱۱-۱۲	۴۵-۵۰	۷۰-۷۵٪	۱۳۵-۱۵۰	تثبیت حداکثر سازگاری

Training انجام می دادند که شامل پرس سینه (Bench Press)، لت پول داون (Lat Pulldown)، اسکوات (Squat)، ددلیفت رومانیایی (Romanian Deadlift)، پرس سرشانه (Shoulder Press)، جلو بازو دمبل (Dumbbell Biceps Curl)، پشت بازو سیم کش (Triceps Pushdown)، لانچ دمبل (Dumbbell Lunge) و یک حرکت کمکی عضلات مرکزی بود. در هفته ی نخست، مقدار 1RM برای هر حرکت اندازه گیری شد و شدت تمرین در طول هفته ها بین ۵۰ تا ۷۰ درصد 1RM تنظیم گردید. الگوی پیشرفت تمرین به گونه ای بود که از دو ست ۱۵× تکرار در هفته های ابتدایی (۵۰٪) 1RM آغاز و به تدریج تا سه ست ۸× تکرار در هفته های پایانی با شدت ۷۰٪ 1RM افزایش یافت. استراحت بین حرکات و بین ست ها در محدوده ی ۶۰ تا ۹۰ ثانیه در نظر گرفته شد تا تعادل بین بازسازی انرژی و حفظ چگالی تمرین برقرار بماند. شدت تمرین نیز در دامنه ی ادراک تلاش معادل ۱۲ تا ۱۶ نگه داشته می شد که بیانگر سطح متوسط تا نسبتاً سنگین فعالیت است. بلافاصله پس از بخش مقاومتی، بخش هوازی به مدت ۲۰ تا ۴۰ دقیقه اجرا می شد. این بخش شامل تمرین بر روی تردمیل، دوچرخه ی ثابت یا پیاده روی سریع بود و شدت آن بر اساس درصدی از ذخیره ی ضربان قلب (HRR) تنظیم گردید. شدت تمرین هوازی در هفته های آغازین حدود ۵۰٪ HRR بود و به صورت تدریجی تا هفته ی دوازدهم به ۷۵٪ HRR افزایش یافت. این روند افزایشی به آزمودنی ها اجازه می داد تا بدون خستگی مفرط، سازگاری های قلبی-عروقی و متابولیکی لازم را کسب کنند. در پایان هر جلسه، مرحله ی سرد کردن شامل ۵ دقیقه فعالیت هوازی سبک در حدود ۴۰ درصد HRR و سپس ۵ دقیقه کشش ایستا (Static Stretching; SS) برای گروه های عضلانی اصلی

ایمنی، فشار خون شرکت کنندگان پیش و پس از تمرین اندازه گیری می شد. علاوه بر این، در اجرای حرکات سنگین مانند اسکوات و پرس سینه، حضور اسپاتر الزامی بود تا از بروز آسیب جلوگیری شود. شرکت کنندگان موظف بودند در تمام حرکات ریتم تنفس صحیح یعنی بازدم در مرحله ی فشار و دم در مرحله ی برگشت را رعایت کنند تا از افزایش غیرضروری فشار داخل قفسه ای پیشگیری شود. این ساختار تمرینی امکان ایجاد تحریک مناسب بر سیستم های عصبی-عضلانی و متابولیکی را فراهم کرده و با افزایش تدریجی حجم و شدت، انطباق های فیزیولوژیکی مطلوبی در توان قلبی-عروقی و ترکیب بدنی شرکت کنندگان ایجاد می نماید (جدول ۲).

پروتکل تمرین موازی (Concurrent Training – Combined in One Session)

پروتکل تمرین موازی (Concurrent Training; CT) در این پژوهش طی مدت ۱۲ هفته و در سه جلسه در هفته (روزهای زوج) اجرا شد. ساختار هر جلسه به گونه ای طراحی گردید که در آن ابتدا تمرینات مقاومتی و سپس تمرینات هوازی انجام می گرفت تا ضمن ایجاد هماهنگی بین بار تمرینی دو سیستم، اثر تداخلی کاهش یافته و پاسخ های فیزیولوژیکی مطلوب برای بهبود ظرفیت قلبی-تنفسی و قدرت عضلانی حاصل شود. هر جلسه تمرینی با مرحله ی گرم کردن در مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه آغاز می شد که شامل ۵ دقیقه فعالیت هوازی سبک با شدت حدود ۴۰ درصد ذخیره ی ضربان قلب (Heart Rate Reserve; HRR) و ۵ دقیقه حرکات کششی پویا برای اندام های فوقانی و تحتانی بود. پس از آن، بخش مقاومتی به مدت حدود ۳۰ تا ۴۰ دقیقه اجرا می شد. در این بخش، شرکت کنندگان ۹ حرکت اصلی را به روش Full Body Circuit

جدول ۲: برنامه هفتگی تمرینات مقاومتی

هفته	ست*تکرار	شدت (1RM%)	استراحت ثانیه	منطق پیشرفت
۱-۲	۱۵*۲	۵۰٪	۶۰-۹۰	یادگیری تکنیک، تحریک سبک
۳-۴	۱۵-۱۲*۲	۵۵٪	۶۰-۹۰	افزایش حجم در بار متوسط
۵-۶	۱۲*۳	۶۰٪	۶۰-۹۰	شروع بهبود قدرت واقعی
۷-۸	۱۲-۱۰*۳	۶۵٪	۹۰-۷۵	افزایش تنش عضلانی
۹-۱۰	۱۰-۸*۳	۶۸٪	۹۰-۷۵	نزدیک به هایپرتروفی هدفمند
۱۱-۱۲	۸*۳	۷۰٪	۹۰	اوج قدرت و حجم

فیزیولوژیکی مرحله پیش آزمون تکرار شد و داده‌های حاصل جهت تحلیل آماری (مقایسه بین و درون گروهی شاخص های HRV) مورد استفاده قرار گرفتند. بدین ترتیب، تمام مراحل پژوهش از شناسایی نمونه تا گردآوری داده ها به صورت کنترل شده، منظم و همگن در بستر بالینی-ورزشی مرکز سلامت اردبیل به انجام رسید.

برای تشخیص همسانی و طبیعی بودن داده ها از آزمون شاپیروویلک استفاده شد. همچنین برای بررسی اختلاف بین گروهی از آزمون مانکوا استفاده شد. از آزمون تعقیبی LSD برای مقایسه درون گروهی استفاده شد. کلیه عملیات آماری توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام و سطح معنی داری $p < 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته ها

در مجموع ۴۰ مرد سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک با میانگین سنی حدود ۴۵ سال (دامنه: ۴۰ تا ۶۰ سال) در چهار گروه تمرین هوازی، مقاومتی، موازی و کنترل تقسیم شدند (هر گروه = ۱۰ نفر). میانگین ویژگی های آنثروپومتریک شرکت کنندگان در همه گروه ها تقریباً مشابه بود و در هیچ یک از متغیرهای پایه تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p > 0.05$). میانگین $\pm$ انحراف معیار سنی در گروه ها به ترتیب 45.3 ± 5.2 ، 44.7 ± 8.4 ، 46.1 ± 5.5 و 45.8 ± 9.4 سال بود. قد میانگین مردان بین ۱۷۳ تا ۷۵ سانتی متر (میانگین کل 174.5 ± 5 cm) و وزن بین ۸۴ تا ۸۷ کیلوگرم (میانگین 85.9 ± 7 kg) قرار داشت. شاخص توده بدنی شرکت کنندگان نیز در محدوده ۲۷ تا ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع با میانگین حدود 28.3 ± 2.1 kg/m^2 بود که بیانگر وضعیت اضافه وزن تا چاقی خفیف است. به طور کلی، گروه ها از نظر سن، قد، وزن و BMI

اجرا شد تا بازگشت تدریجی به حالت استراحت و تسهیل در بازیابی انجام گیرد. در طول تمام تمرینات، فشار خون پیش و پس از هر جلسه ثبت گردید و اجرای صحیح حرکات با نظارت مربی متخصص کنترل شد تا استاندارد ایمنی در کل دوره ی تمرین حفظ شود. این الگوی تمرینی ضمن ترکیب مزایای فیزیولوژیکی تمرینات هوازی و مقاومتی، باعث بهبود شاخص های سلامت قلبی-عروقی، افزایش توده ی عضلانی بدون چربی و کاهش بالقوه ی مقاومت به انسولین در مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک می شود.

روش بررسی

شرکت کنندگان پیش از شروع تمرینات، در جلسات آموزشی با اهداف تحقیق، نحوه اجرای تمرینات و نکات ایمنی آشنا شدند. در مرحله ی پیش آزمون، اندازه گیری متغیرهای اصلی شامل تغییرپذیری ضربان قلب در حالت استراحت، شاخص های ترکیب بدنی و فشار خون صورت گرفت. سپس آزمودنی ها به سه گروه تمرینی و یک گروه کنترل تخصیص یافتند و دوره ی ۱۲ هفته تمرینی را تحت نظارت مربیان متخصص در سالن ورزشی وابسته به مرکز سلامت طی کردند. گروه های تمرینی هر یک بر اساس پروتکل های اختصاصی هوازی (MICT) بر پایه HRR و RPE، مقاومتی (سیستم Full Body Circuit با $50-70\%$ RM) و موازی (مقاومتی-هوازی متوالی) تمرین کردند، در حالی که گروه کنترل بدون انجام مداخله خاصی تنها توصیه های سبک زندگی سالم را دریافت نمود. حضور و پابندی آزمودنی ها در طول دوره به وضوح کنترل شد و ثبت فشار خون پیش و پس از هر جلسه با ابزار کالیبره صورت گرفت. در پایان هفته ی دوازدهم، و بعد از ۴۸ ساعت و شرایط مشابه پیش آزمون همان آزمون های

پس از آزمون در مقایسه با پیش آزمون افزایش معنی داری داشت. اما HR ($p=0.002$; $d=1/96$) و LF/HF ($p=0.0001$; $d=3/33$) در گروه تمرین موازی در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون کاهش معنی داری داشت. با توجه به اندازه اثر مشخص شد گروه تمرین موازی بر RMSSD، HF و گروه تمرین موازی بر SDNN، LF/HF، HR و LF در مقایسه با گروه های دیگر بیشترین تاثیر را داشته است (نمودار ۱).

بحث و نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد میان سه نوع برنامه تمرینی هوازی، مقاومتی و موازی، تفاوت معناداری در شاخص های تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) وجود دارد. تحلیل های درون گروهی نشان داد هر سه مداخله توانسته اند وضعیت عملکرد سیستم عصبی خودکار قلب را بهبود دهند، اما شدت و الگوی این تغییرات وابسته به نوع تمرین بوده است. در این میان، تمرین موازی بیشترین تغییرات مثبت را ایجاد کرد و تمرین هوازی نیز در مؤلفه های پاراسمپاتیکی اثر بسیار بالایی داشت، در حالی که تمرین مقاومتی، اثرات محدودتری در این حوزه داشت. افزایش معنی دار HF، LF، RMSSD و SDNN در گروه های هوازی و موازی بیانگر ارتقای توأم ظرفیت تنظیم واگال و هماهنگی سمپاتیک-پاراسمپاتیک است. شاخص HF در تحلیل طیفی HRV معمولاً به فعالیت پاراسمپاتیک وابسته است و افزایش آن یک نشانگر مشخص بهبود تون واگال محسوب می شود (۲۶). RMSSD نیز به تغییرات ضربان قلب در بازه های کوتاه تر حساس است و بازتاب آن افزایش کنترل عصبی سریع بر گره سینوسی است (۲۸، ۲۷). همسویی نتایج حاضر با مطالعه Kim و همکاران (۲۶) که نشان داد تمرین هوازی با شدت بالا در مردان سیگاری موجب افزایش HF و RMSSD و کاهش LF/HF می شود، اهمیت شدت و ماهیت هوازی تمرین را نشان می دهد. مکانیسم این بهبود تا حد زیادی به افزایش حساسیت گیرنده های فشاری، تحریک محور واگال-قلبی و کاهش تحریک سمپاتیک از طریق تعدیل ترشح نورآدرنالین باز می گردد (۲۹). در مقابل، گروه مقاومتی تغییرات مثبت خود را عمدتاً در RMSSD و SDNN نشان داد ولی HF و LF بدون تغییر معنی دار باقی ماندند.

همگن انتخاب شدند تا اثر مداخله های ۱۲ هفته ای به تمرینات هوازی، مقاومتی و موازی بر پاسخ های التهابی به صورت معتبرتری مقایسه شود. نتایج جدول ۳ شاخص میانگین و انحراف معیار متغیرهای تحقیق در پیش آزمون و پس آزمون را در گروه های مختلف نشان می دهد. همچنین نتایج نشان می دهد داده ها به لحاظ طبیعی بودن از توزیع نرمالی برخوردارند ($p>0.05$).

نتایج جدول ۴ نشان داد هیچ یک از متغیرها در پیش آزمون، بین گروه ها اختلاف معنی داری نداشت ($p>0.05$) نتایج Box's M نشان داد ماتریس کواریانس مولفه های تحقیق بین گروه ها یکسان است ($p=0.724$; $F=1/04$; Box's M=95/94). با استفاده از آزمون لوین مساوی بودن واریانس ها ارزیابی شد. نتایج این آزمون نشان داد که HF ($f=0/91$; $p=0/445$)، HR ($f=0/24$)، LF/HF ($f=0/866$; $p=0/663$)، LF ($f=0/53$; $p=0/866$)، RMSSD ($f=1/59$; $p=0/209$)، SDNN ($f=1/87$; $p=0/151$)، در بین گروه ها همگن است. نتایج آزمون Wilks' Lambda نشان داد اثر گروه بر ترکیب متغیرهای وابسته تغییرپذیری ضربان قلب معنی دار بود ($p=0/0001$). نتایج بین گروهی نشان داد بین گروه تمرین هوازی، مقاومتی، موازی و کنترل بر تمامی زیر مؤلفه های تغییرپذیری ضربان قلب اختلاف معنی داری وجود دارد ($p<0.05$) (جدول ۵).

نتایج تست تعقیبی نشان داد HF ($p=0/011$; $d=1/59$)، LF ($p=0/001$; $d=2/03$)، RMSSD ($p=0/0001$) و SDNN ($p=0/0001$; $d=2/44$) در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون افزایش معنی داری داشت. اما HR ($p=0/029$; $d=1/36$) و LF/HF ($p=0/006$; $d=1/50$) در گروه تمرین هوازی در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون کاهش معنی داری داشت. همچنین RMSSD ($p=0/005$; $d=1/45$) و SDNN ($p=0/0001$; $d=1/33$) در گروه تمرین مقاومتی در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون افزایش معنی داری داشت. اما LF/HF ($p=0/015$; $d=1/39$) در گروه تمرین مقاومتی در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون کاهش معنی داری داشت. در متغیر HF، LF و HR اختلاف معنی داری نداشت. به علاوه HF ($p=0/057$; $d=1/20$)، LF ($p=0/002$; $d=2/14$)، RMSSD ($p=0/0001$; $d=2/20$) و SDNN ($p=0/0001$; $d=2/20$) در گروه تمرین موازی در

جدول ۳: شاخص توصیفی متغیرهای تحقیق در گروه های مختلف

متغیر	گروه کنترل		گروه تمرین هوازی		گروه تمرین مقاومتی		گروه تمرین موازی	
	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون
	میانگین±انحراف	میانگین±انحراف	میانگین±انحراف	میانگین±انحراف	میانگین±انحراف	میانگین±انحراف	میانگین±انحراف	میانگین±انحراف
HF(ms ²)	۳۷۷/۸۲±۵۷/۳۹	۴۴۳/۱۸±۶۶/۷۸	۴۰۸/۳۳±۷۷/۶۹	۵۳۴/۱۶±۸۸/۶۱	۴۰۳/۷۷±۶۴/۴۶	۳۹۵/۹۲±۱۱۲/۲۵	۴۱۲/۷۵±۱۰۷/۵۶	۵۷۱/۰۵±۱۶۳/۸۶
(beats/min HR)	۸۱/۹۹±۱/۷۸	۸۲/۲۲±۲/۹۵	۸۱/۸۳±۳/۹۵	۷۷/۱۷±۳/۲۰	۸۱/۶۰±۳/۹۵	۸۰/۰۶±۲/۷۵	۸۱/۷۸±۴/۶۵	۷۳/۰۲±۴/۷۶
LF (ms ²)	۶۰۸/۴۱±۷۵/۴۴	۵۷۸/۴۹±۶۰/۲۳	۶۰۳/۴۸±۹۳/۶۵	۷۹۶/۴۹±۱۰۶/۲۲	۶۰۴/۰۸±۸۷/۵۴	۶۶۲/۰۷±۸۰/۳۱	۵۸۲/۲۹±۱۳۰/۴۷	۷۸۰/۰۰±۱۱۴/۵۸
LF/HF ratio	۳/۲۱±۰/۴۵	۲/۸۷±۰/۵۵	۳/۲۷±۰/۷۸	۲/۳۶±۰/۴۵	۳/۰۵±۰/۲۴	۲/۵۹±۰/۴۳	۳/۰۱±۰/۵۰	۱/۷۵±۰/۲۶
RMSSD(ms)	۲۱/۰۲±۵/۹۷	۲۴/۹۵±۳/۹۱	۲۲/۷۸±۴/۳۴	۳۴/۱۵±۵/۴۱	۲۷/۲۰±۴/۴۷	۳۳/۶۳±۴/۸۴	۲۶/۸۸±۴/۳۱	۳۶/۹۷±۵/۵۳
SDNN(ms)	۲۷/۶۹±۵/۶۱	۳۱/۶۶±۶/۱۰	۲۸/۷۳±۳/۹۰	۳۷/۷۵±۴/۷۹	۲۸/۴۷±۳/۷۴	۳۲/۸۱±۳/۱۰	۳۳/۰۲±۴/۴۶	۴۱/۳۲±۳/۴۱

HF: فرکانس بالا؛ HR: ضربان قلب؛ LF: فرکانس پایین؛ LF/HF: نسبت فرکانس پایین به فرکانس بالا؛ RMSSD: ریشه میانگین مربعات اختلاف های متوالی؛ SDNN: انحراف معیار فواصل طبیعی ضربان قلب

جدول ۴: مقایسه پیش آزمون زیرمولفه های تغییرپذیری ضربان قلب با استفاده از آزمون آنوا یک راهه

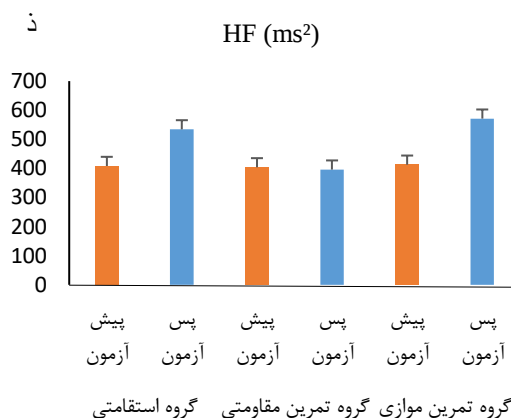
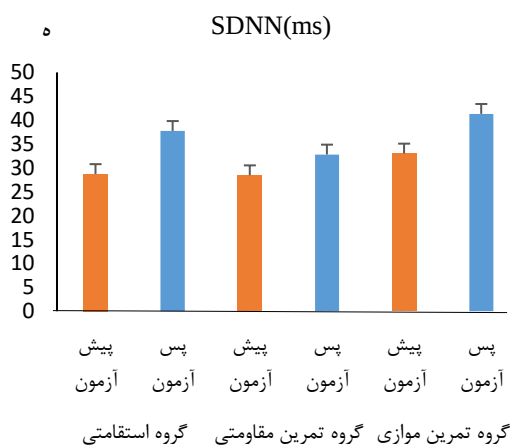
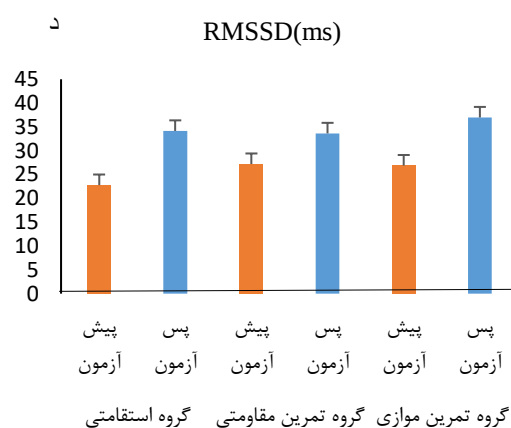
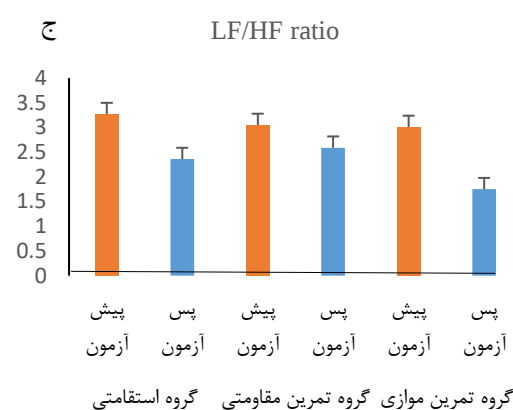
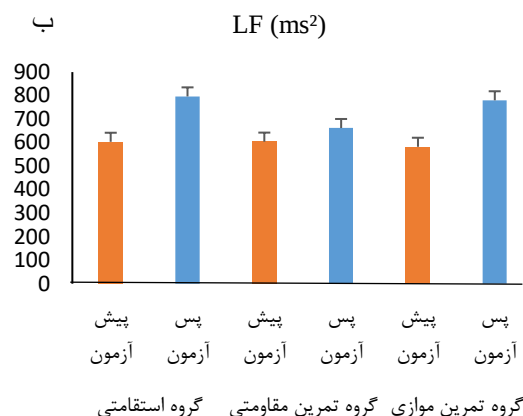
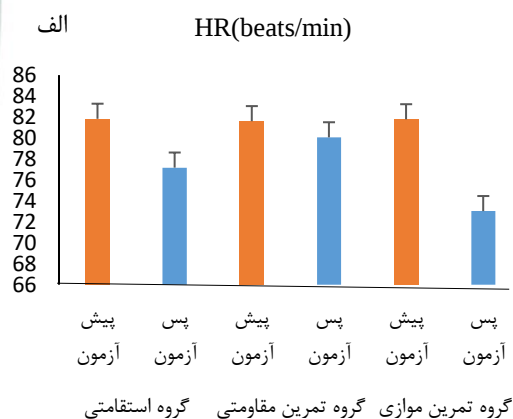
زیرمولفه ها	مجموع مربع ها	درجه آزادی	میانگین تغییرات	آماره آزمون	p-مقدار
HF(ms ²)	۷۳۶۰/۳۹	۳	۲۴۵۳/۴۶	۰/۳۹۱	۰/۷۶۰
HR (beats/min)	۰/۷۶۹	۳	۰/۲۵۶	۰/۰۱۸	۰/۹۹۷
LF (ms ²)	۴۱۲۲/۲۵	۳	۱۳۷۴/۰۸	۰/۱۴۰	۰/۹۳۵
LF/HF ratio	۰/۴۷۵	۳	۰/۱۵۸	۰/۵۵۸	۰/۶۴۶
RMSSD(ms)	۲۸۰/۴۹	۳	۹۳/۴۹	۱/۰۱	۰/۳۱۵
SDNN (ms)	۱۷۲/۷۵	۳	۵۷/۵۸	۱/۰۵	۰/۴۵۱

HF: فرکانس بالا؛ HR: ضربان قلب؛ LF: فرکانس پایین؛ LF/HF: نسبت فرکانس پایین به فرکانس بالا؛ RMSSD: ریشه میانگین مربعات اختلاف های متوالی؛ SDNN: انحراف معیار فواصل طبیعی ضربان قلب

جدول ۵: نتایج آماری مقایسه بین گروهی با استفاده از آزمون کواریانس چند متغیره

متغیر	مجموع مربع ها	درجه آزادی	میانگین تغییرات	آماره آزمون	مجذور اتا	p-مقدار
HF(ms ²)	۲۲۴۸۹۷/۵۸	۳	۷۴۹۶۵/۸۶	۶/۴۳	۰/۳۹۱	۰/۰۰۲
HR(beats/min)	۳۷۰/۴۰	۳	۱۲۳/۴۶	۹/۲۷	۰/۴۸۱	۰/۰۰۱
LF (ms ²)	۲۷۵۹۵۱/۶۹	۳	۹۱۹۸۳/۸۹	۱۲/۷۴	۰/۵۶۰	۰/۰۰۱
LF/HF ratio	۳/۵۶	۳	۱/۱۸	۵/۶۲	۰/۳۶۰	۰/۰۰۴
RMSSD(ms)	۶۹۷/۶۷	۳	۲۳۲/۵۵	۱۱/۰۷	۰/۵۲۶	۰/۰۰۱
SDNN(ms)	۳۵۰/۵۹	۳	۱۱۶/۸۶	۵/۲۴	۰/۳۴۴	۰/۰۰۱

HF: فرکانس بالا؛ HR: ضربان قلب؛ LF: فرکانس پایین؛ LF/HF: نسبت فرکانس پایین به فرکانس بالا؛ RMSSD: ریشه میانگین مربعات اختلاف های متوالی؛ SDNN: انحراف معیار فواصل طبیعی ضربان قلب



نمودار ۱: مقایسه پیش آزمون و پس آزمون متغیرهای تحقیق حاضر در گروه های تمرینی با استفاده از آزمون LSD؛ (الف) HR (ضربان قلب؛ ب) LF (فرکانس پایین؛ ج) LF/HF: نسبت فرکانس پایین به فرکانس بالا؛ د) RMSSD: ریشه میانگین مربعات اختلاف های متوالی؛ ذ) SDNN: انحراف معیار فواصل طبیعی ضربان قلب؛ ذ) HF: فرکانس بالا

مقاومت محیطی و بهبود عملکرد عضلات پشتیبان گردش خون تقویت کند، اثربخشی کمتری بر تنظیم مستقیم پاراسمپاتیک دارد. شواهد پیشین نیز چنین الگویی را تأیید

این الگو ممکن است بیانگر آن باشد که تمرین مقاومتی گرچه می تواند انعطاف پذیری ضربان قلب را از طریق سازگاری های محیطی مثل افزایش جریان خون، کاهش

سکته قلبی، آریتمی و مرگ ناگهانی ایجاد می‌کند (۲۹). یافته‌های حاضر نشان می‌دهد حتی بدون ترک کامل سیگار، انجام یک برنامه تمرینی هدفمند به ویژه تمرین موازی می‌تواند شاخص‌های کلیدی تنظیم خودکار قلب را بهبود دهد و با کاهش تنش سمپاتیکی و افزایش تون واگال، ریسک قلبی-متابولیکی را کاهش دهد. از این رو، برای جمعیت‌های پرریسک به ویژه سیگاری‌های مبتلا به سندرم متابولیک، توصیه می‌شود تمرین موازی با طراحی دوره ای و شدت مناسب جایگزین تمرین‌های منفرد شود تا بیشترین مداخله مثبت بر سیستم عصبی خودکار حاصل گردد. علی‌رغم معناداری تغییرات شاخص‌های HRV، باید در تفسیر نتایج حاضر چند نکته محدودکننده مدنظر قرار گیرد. نخست آن‌که حجم نمونه محدود، به‌ویژه در شرایط کنترل چندمتغیره‌ای مانند MANCOVA، می‌تواند توان آماری تداخلات جزئی را کاهش دهد و تفسیر اندازه اثرها را با احتیاط همراه سازد. دوم، سیگاری‌بودن همه شرکت‌کنندگان گرچه برای حفظ همگنی طراحی شده بود، اما از عمومیت‌پذیری نتایج به سایر جمعیت‌ها (غیرسیگاری‌ها یا زنان مبتلا به سندرم متابولیک) می‌کاهد. همچنین طول مدت مداخله (احتمالاً ۸ تا ۱۲ هفته) شاید برای دستیابی به سازگاری‌های بلند مدت عصبی-خودکار کافی نبوده باشد؛ زیرا طبق برخی مطالعات طولانی‌تر از سه ماه، تغییرات پایدارتر در مؤلفه‌های HF و SDNN مشاهده می‌شود (۹). عامل دیگر، کنترل‌نشدن دقیق الگوی خواب، تغذیه و مصرف نیکوتین در طی تمرین است که می‌تواند بر نوسان‌پذیری سیستم سمپاتیکی اثرگذار باشد. به علاوه، استفاده از HRV در حالت استراحت، هرچند شاخصی معتبر از تعادل خودکار است، اما داده‌های پاسخ‌پذیری آن در شرایط استرس یا ریکاوری پس از فعالیت می‌تواند دید جامع‌تری ارائه دهند. با توجه به یافته‌های موجود، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از طراحی طولی با پیگیری چندماهه استفاده شود تا پایداری سازگاری‌های عصبی ارزیابی گردد. ترکیب تمرین موازی با برنامه‌های کنترل سبک زندگی مانند محدودیت کالری یا برنامه‌های ترک سیگار ممکن است اثر هم‌افزای قابل‌توجهی در بهبود HRV و سلامت متابولیکی ایجاد کند. همچنین پیشنهاد می‌شود نقش شدت تمرین و ترتیب اجرای اجزای مقاومتی و هوازی در درون یک جلسه (مثلاً ابتدا RT سپس AE یا برعکس)

کرده‌اند؛ تحقیقات گذشته نشان داد که تمرین مقاومتی زمانی اثر چشمگیر بر HRV دارد که همراه با تمرین هوازی انجام شود (۳۰). از منظر بالینی، همین تغییرات محدود در شاخص‌های زمان-دامنه نیز می‌تواند ارزش پیشگیرانه داشته باشد، زیرا کاهش نوسانات ضربان قلب با افزایش خطر آریتمی و بیماری قلبی مرتبط است (۳۱).

تمرین موازی، که ترکیب ساختاریافته‌ای از تمرین‌های هوازی و مقاومتی است، در این پژوهش بیشترین تغییرات چشمگیر را نشان داد. کاهش شدید نسبت LF/HF و افت قابل توجه ضربان قلب در حالت استراحت حاکی از تقویت قابل‌ملاحظه فعالیت واگ و مهار مؤثر سیستم سمپاتیکی است. این یافته با نتایج Da Silva و همکاران (۳۲) سازگار است که نشان دادند تمرین موازی (HIIT+RT) موجب کاهش سنجش‌های التهاب سیستمیک، بهبود فشار خون و ارتقای شاخص‌های HRV در زنان مبتلا به سندرم متابولیک می‌شود. از دید فیزیولوژیکی، ترکیب دو نوع بار تمرینی باعث فعال‌سازی گسترده مسیرهای سیگنال‌دهی مولکولی مانند α PGC-۱ و AMPK در عضله اسکلتی می‌شود که نه تنها ظرفیت اکسیداتیو عضلات و کارایی مصرف اکسیژن را بالا می‌برد، بلکه حساسیت‌گیرنده‌های کولینرژیک در قلب را نیز تقویت می‌کند (۳۳). این هم‌افزایی باعث بهبود همزمان شاخص‌های سمپاتیکی (LF) و پاراسمپاتیکی (HF) و افزایش کل تنوع ضربان قلب (SDNN) می‌شود. از منظر همسویی و ناهم‌سویی با ادبیات موجود، یافته‌های حاضر با استانداردهای گزارش شده توسط Task Force انجمن قلب اروپا و NASPE (۲۷) همخوانی دارد که تأکید می‌کند تمرینات هوازی قوی‌ترین اثر را بر مؤلفه‌های واگالی HRV دارند، اما ترکیب آن با تمرین مقاومتی می‌تواند اثرات کلی‌تری بر کل سیستم عصبی خودکار و ظرفیت قلبی-عروقی ایجاد کند. برخلاف نتایج مثبت ما، برخی پژوهش‌ها با دوره‌های کوتاه‌تر یا شدت کم تمرین (مانند مطالعه Heffernan و همکاران (۳۴)) نتوانستند تغییر معنی‌دار در HRV مشاهده کنند، که نشان دهنده نقش حیاتی شدت، حجم و طول دوره تمرین در ایجاد سازگاری عصبی-قلبی است. از نظر بالینی، مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک معمولاً با غلبه سمپاتیکی، افزایش LF/HF، کاهش HF و کاهش انعطاف‌پذیری ضربان قلب مواجه‌اند، که این وضعیت ریسک بالاتری برای

نقش نویسندگان

خشایار علاپور: در طراحی مطالعه، گردآوری و تحلیل داده ها و نگارش اولیه مقاله
امین فرزانه حساری: در طراحی پژوهش، نظارت علمی و بازبینی و اصلاح محتوای مقاله
هاجر عباسزاده: در گردآوری داده ها، تحلیل نتایج و ویرایش نهایی مقاله

منابع مالی

این مقاله توسط هیچ نهاد یا سازمانی حمایت مالی نشده است.

تعارض منافع

تضاد در منافع بین نویسندگان در این مقاله وجود ندارد.

منابع

1. Saklayen MG. The global epidemic of the metabolic syndrome. Current hypertension reports. 2018; 20(2): 1-8.
2. Ortiz-Guzmán JE, Sánchez-Soler M, Prieto-Mondragón L, Arias-Mutis ÓJ, et al. Effects of Physical Training on Heart Rate Variability in Patients with Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. Journal of Clinical Medicine 2025; 14(17): 6129.
3. Serhiyenko A, Baitsar M, Sehin V, Serhiyenko L, et al. Post-traumatic stress disorder, insomnia, heart rate variability, and metabolic syndrome (narrative review). Proceedings of the Shevchenko Scientific Society Medical Sciences 2024; 73(1).
4. Ortiz-Guzmán JE, Mollà-Casanova S, Arias-Mutis ÓJ, Bizy A, et al. Differences in long-term heart rate variability between subjects with and without metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis. Journal of Cardiovascular Development and Disease 2023; 10(5): 203.
5. Supriya R, Li F-F, Yang Y-D, Liang W, Baker JS. Association between metabolic syndrome components and cardiac autonomic modulation among children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. Biology 2021; 10(8): 699.

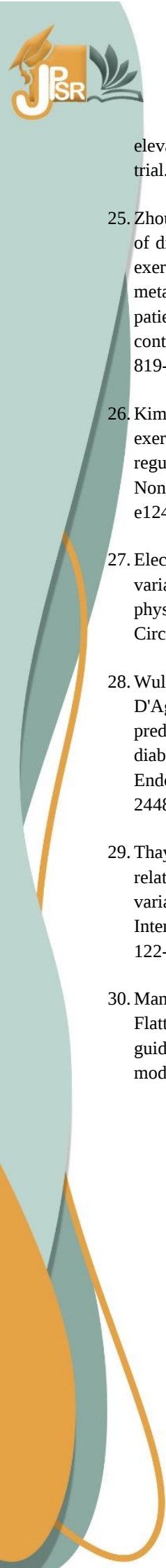
بررسی شود، زیرا شواهد فیزیولوژیکی مختلفی در مورد تعاملات متقابل آن ها وجود دارد (۵، ۶). از سوی دیگر، گنجاندن زنان مبتلا به سندرم متابولیک و استفاده از روش های پایش غیرخطی HRV (مانند DFA و Poincaré Plot) می تواند در شناخت دقیق تر مکانیسم های تنظیم عصبی مفید باشد. در نهایت، تعمیم یافته های حاضر به جمعیت افراد مسن یا بیماران قلبی می تواند جنبه کاربردی مهمی برای طراحی برنامه های ورزشی بازتوانی داشته باشد.

به طور خلاصه، مطالعه حاضر نشان داد که هر سه نوع تمرین هوازی، مقاومتی و موازی می توانند شاخص های تغییرپذیری ضربان قلب را در مردان سیگاری مبتلا به سندرم متابولیک بهبود دهند، اما الگوی این تغییرات بسته به ماهیت تمرین متفاوت است. تمرین هوازی بیشترین اثر را بر شاخص های مرتبط با فعالیت پاراسمپاتیک (HF و RMSSD) داشت، در حالی که تمرین مقاومتی اثر محدودتری بر تنظیم عصبی خودکار نشان داد. تمرین موازی، با ترکیب عناصر هوازی و مقاومتی، بیشترین تغییرات مثبت را در شاخص های کلی تنوع ضربان قلب (SDNN)، مؤلفه های سمپاتیک و پاراسمپاتیک (LF و HF) و کاهش نسبت LF/HF ایجاد کرد. این یافته ها بیانگر آن است که ترکیب دو نوع بار تمرینی در قالب برنامه موازی، از طریق مکانیسم های همافزا، بیشترین توان را برای بازگرداندن تعادل سیستم عصبی خودکار در جمعیت پرخطر دارد. با توجه به نقش کلیدی HRV در پیش بینی خطر بیماری های قلبی-عروقی، استفاده از تمرین موازی در پروتکل های بازتوانی و پیشگیری می تواند رویکردی کم هزینه، غیرتهاجمی و مؤثر باشد، حتی در شرایطی که ترک کامل سیگار هنوز انجام نشده باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از کلیه آزمودنی هایی که در این پژوهش شرکت کردند کمال تشکر را دارند. این مقاله مستخرج از رساله دکترای جناب آقای خشایار علاپور دارای کد اخلاق IR.IAU.SARI.REC.1402.226 مصوبه از دانشگاه آزاد ساری بوده و همچنین دارای کد کارآزمایی بالینی IRCT2021108115052187N1 می باشد.

6. CHO Y-J, SONG D-W. Association between heart rate variability and metabolic syndrome. *Soonchunhyang Medical Science*. 2021; 1-4.
7. Hutchinson G, Cooper A, Billany R, Nixon D, et al. Effect of high intensity interval training and moderate intensity continuous training on lymphoid, myeloid and inflammatory cells in kidney transplant recipients. 2022.
8. Mazurek K, Krawczyk K, Zmijewski P, Norkowski H, Czajkowska A. Effects of aerobic interval training versus continuous moderate exercise program me on aerobic and anaerobic capacity, somatic features and blood lipid profile in collegiate females. *Ann Agric Environ Med* 2014; 21(4): 844-849.
9. Li R, Yan R, Cheng W, Ren H. Effect of resistance training on heart rate variability of anxious female college students. *Frontiers in Public Health* 2022; 10: 1050469.
10. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2017; 31(12): 3508-3523.
11. Zaki S, Alam MF, Sharma S, Naqvi IH, Nuhmani S. Impact of concurrent training sequence on heart rate variability, glycemic control, body composition, lipid profile, and cardiorespiratory fitness in type 2 diabetes patients with cardiac autonomic neuropathy: A randomized controlled trial. *Clinical Epidemiology and Global Health* 2024; 29: 101747.
12. Dungan CM, Brightwell CR, Wen Y, Zdunek CJ, et al. Muscle-specific cellular and molecular adaptations to late-life voluntary concurrent exercise. *Function* 2022; 3(4): zqac027.
13. Navarro-Lomas G, Dote-Montero M, Alcantara JM, Plaza-Florido A, et al. Different exercise training modalities similarly improve heart rate variability in sedentary middle-aged adults: the FIT-AGEING randomized controlled trial. *European Journal of Applied Physiology* 2022; 122(8): 1863-1874.
14. Isezuo S, Ezunu E. Demographic and clinical correlates of metabolic syndrome in Native African type-2 diabetic patients. *Journal of the National Medical Association* 2005; 97(4): 557.
15. Chen K, Lindsey JB, Khera A, Lemos JAD, et al. independent associations between metabolic syndrome, diabetes mellitus and atherosclerosis: observations from the Dallas Heart Study. *Diabetes and Vascular Disease Research*. 2008; 5(2): 96-101.
16. Benowitz NL. Nicotine addiction. *New England Journal of Medicine*. 2010; 362(24): 2295-2303.
17. Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health* 2017; 5: 258.
18. Blaser BL, Weymar M, Wendt J. The Effect of a Single-Session Heart Rate Variability Biofeedback on Attentional Control: Does Stress Matter? *Frontiers in psychology* 2023; 14: 1292983.
19. Laborde S, Mosley E, Thayer JF. Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research—recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in psychology* 2017; 8: 213.
20. Malik M, Bigger JT, Camm AJ, Kleiger RE, et al. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European heart journal* 1996; 17(3): 354-381.
21. Standard KH, Premium KH. Kubios HRV Software. 2023.
22. Graham JK. Effect of Heart Rate Variability Biofeedback on Prolonged Grief Disorder in Bereavement: A Case Series Study: Saybrook University; 2023.
23. Riebe D, Ehrman JK, Liguori G, Magal M. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: American College of Sports Medicine; 2018.
24. Church TS, Earnest CP, Skinner JS, Blair SN. Effects of different doses of physical activity on cardiorespiratory fitness among sedentary, overweight or obese postmenopausal women with



elevated blood pressure: a randomized controlled trial. *Jama* 2007; 297(19): 2081-2091.

25. Zhou Y, Wu W, Zou Y, Huang W, et al. Benefits of different combinations of aerobic and resistance exercise for improving plasma glucose and lipid metabolism and sleep quality among elderly patients with metabolic syndrome: a randomized controlled trial. *Endocrine journal* 2022; 69(7): 819-830.
26. Kim CS, Kim MK, Jung HY, Kim MJ. Effects of exercise training intensity on cardiac autonomic regulation in habitual smokers. *Annals of Noninvasive Electrocardiology* 2017; 22(5): e12434.
27. Electrophysiology TFotESoCtNASoP. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996; 93(5): 1043-1065.
28. Wulsin LR, Horn PS, Perry JL, Massaro JM, D'Agostino RB. Autonomic imbalance as a predictor of metabolic risks, cardiovascular disease, diabetes, and mortality. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 2015; 100(6): 2443-2448.
29. Thayer JF, Yamamoto SS, Brosschot JF. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International journal of cardiology* 2010; 141(2): 122-131.
30. Manresa-Rocamora A, Sarabia JM, Javaloyes A, Flatt AA, Moya-Ramon M. Heart rate variability-guided training for enhancing cardiac-vagal modulation, aerobic fitness, and endurance performance: A methodological systematic review with meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021; 18(19): 10299.
31. Tofas T, Draganidis D, Deli CK, Georgakouli K, et al. Exercise-induced regulation of redox status in cardiovascular diseases: the role of exercise training and detraining. *Antioxidants* 2019; 9(1): 13.
32. Da Silva MAR, Baptista LC, Neves RS, De França E, et al. The effects of concurrent training combining both resistance exercise and high-intensity interval training or moderate-intensity continuous training on metabolic syndrome. *Frontiers in physiology* 2020; 11: 572.
33. Yan Z. Exercise, PGC-1 α , and metabolic adaptation in skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 2009; 34(3): 424-427.
34. Heffernan KS, Fahs CA, Shinsako KK, Jae SY, Fernhall B. Heart rate recovery and heart rate complexity following resistance exercise training and detraining in young men. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 2007; 293(5): H3180-H3186.