University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Spring 2025, 13(33), 8-19

Received: Apr 23, 2023 Revised: Nov 27, 2023 Accepted: Dec 29, 2023

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

Effects of 12 weeks of traditional and circuit resistance training combined with aerobic exercise on inflammatory adipokines and muscle strength in obese men

Behnam Bagherzadeh-Rahmani[1], Amir Hossein Haghighi[2*], Roya Askari[3]

1. PhD Student in Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

2. Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

3. Associate Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

Extended Abstract

Background and Aim: In recent decades, the prevalence of obesity and cardiovascular diseases has increased, contributing to metabolic disorders and chronic inflammation (1, 3, 4). Interleukin-6 (IL-6) and tumor necrosis factor-alpha (TNF-α) play key roles in inflammation and insulin resistance (5, 8, 9, 11). While IL-6 exhibits anti-inflammatory effects in response to exercise, its secretion from adipose tissue can exacerbate chronic inflammation (6-9). Physical training, particularly a combination of resistance and aerobic training, has been shown to reduce inflammation, improve body composition, and enhancing physical fitness (14, 18). The physiological adaptations induced by resistance training depend on how it is performed (14, 17). This study aimed to examine the effects of traditional and circuit resistance training combined with aerobic exercise on pro-inflammatory adipokines (IL-6 and TNF-α), body weight, and muscle strength in obese men.

Materials and Methods: This quasi-experimental study employed a pre-test and post-test design over 12 weeks, involving 36 obese men. Participants were recruited through public advertisements and randomly assigned to three groups: control, traditional resistance training + aerobic training (TRT+AT), and circuit resistance training + aerobic training (CRT+AT). Inclusion criteria included an age range of 20–32 years, a BMI over 30 kg/m^2, no regular physical activity in the past six months, and general health. Exclusion criteria criteria encompassed the use of metabolism-affecting drugs, joint disorders, and chronic diseases. The study was approved by the Hakim Sabzevari University Ethics Committee (code: IR.HSU.REC.1401.004). All participants were informed about the study protocol and provided written consent. The training program included a 10-minute warm-up, resistance training, and a 5-minute cool-down. Resistance training consisted of eight exercises (four upper-body and four lower-body movements) with progressive intensity increments: 55% 1RM (weeks 1–4), 64% 1RM (weeks 5–8), and 75% 1RM (weeks 9–12) (20). TRT was

Cite this article:
Bagherzadeh-Rahmani B, Haghighi AH, Askari R. Effects of 12 weeks of traditional and circuit resistance training combined with aerobic exercise on inflammatory adipokines and muscle strength in obese men. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2025;13(33):8-19.

*** Corresponding Author, Address: Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran;**
Email: ah.haghighi@hsu.ac.ir

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2023.6320.1788

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee **Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport (JPSBS)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

performed in three sets, while CRT was executed in a circuit format. Aerobic training was performed on a treadmill after a 5-minute rest at an intensity of 45–65% Heart rate reserve, adjusted using the Karvonen formula (21, 22). The control group maintained their usual lifestyle without any exercise interventions. Body weight was measured using a calibrated scale, Upper-body and lower-body strength were evaluated via bench press and leg press, respectively. Blood samples were collected 48 hours before and after the intervention following 12 hours of fasting. Plasma IL-6 and TNF-α levels were measured using the ELISA method. The Shapiro-Wilk test was used to assess data normality. Repeated-measures ANOVA was employed for between-group comparisons, while sheffe test was used for within-group analyses. Statistical analyses was performed using SPSS version 29, with a significance level set at $p<0.05$.

Findings: The Shapiro-Wilk test confirmed the normal distribution of data ($p>0.05$). Between-group comparisons revealed significant changes in IL-6 and TNF-α levels ($p<0.001$). Post-hoc analysis showed a significant decrease in IL-6 levels in both the TRT ($p<0.001$) and CRT ($p<0.001$) groups compared to the control, with no significant difference between the two training groups ($p=0.18$). Similarly, TNF-α levels decreased in the TRT ($p=0.02$) and CRT ($p=0.01$) groups compared to the control, with no significant difference between the two training groups ($p=0.15$). The control group showed no significant changes in IL-6 ($p=0.38$) or TNF-α ($p=0.58$). Muscle strength assessments showed significant improvements in both TRT and CRT groups for bench press and leg press ($p<0.001$), with no significant difference between the two groups ($p=0.21$ for bench press, $p=0.24$ for leg press). The control group showed no significant changes in bench press ($p=0.15$) or leg press ($p=0.66$). Body weight also showed significant changes ($p=0.01$). The CRT group had a significant reduction in weight compared to the control ($p=0.02$), while the difference between the TRT and control groups was not statistically significant ($p=0.07$). Within-group analysis revealed a significant weight reduction in both training groups ($p<0.001$), while the control group experienced a significant weight gain ($p<0.001$). Overall, both TRT and CRT effectively reduced IL-6 and TNF-α levels, increased muscle strength, and promoted weight loss, with no significant differences between the two training methods.

Conclusion: This study demonstrated that 12 weeks of traditional and circuit resistance training combined with aerobic exercise significantly reduced IL-6 and TNF-α levels, decreased body weight, and increased muscle strength in obese men. CRT had a greater impact on weight reduction, which may be due to shorter rest periods and higher post-exercise metabolic rate (27, 34). Consistent with previous research, our findings suggest that combining resistance and aerobic training elicits greater anti-inflammatory effects than either modality alone (25, 26). Training intensity and duration appear to be key factors influencing IL-6 and TNF-α reduction (27, 29, 31). Since reducing fat mass and modulating inflammatory adipokines are critical for preventing metabolic complications of obesity, well-structured exercise programs can play a significant role in improving physical health, reducing economic burdens, and lowering obesity- and diabetes-related mortality rates.

Keywords: Obesity, Inflammation, Interleukin-6, Tumor necrosis factor alpha, Exercise training.

Ethical Considerations: This study was approved by the Ethics Committee of Hakim Sabzevari University (IR.HSU.REC.1401.004). All participants were informed about the study procedures and provided written informed consent.

Compliance with Ethical Guidelines: The research followed the ethical standards of the Declaration of Helsinki and institutional guidelines. Participation was voluntary, and confidentiality was maintained.

Funding: This study received no external funding and was conducted with the resources available to the research team.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this study.

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش
مقاله پژوهشی
بهار ۱۴۰۴، دوره ۱۳، شماره ۳۳، ص ۱۹-۸
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۳ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۸
دانشگاه بیرجند

اثرات ۱۲ هفته تمرین مقاومتی سنتی و دایره‌ای همراه با تمرین هوازی بر آدیپوکاین های التهابی و قدرت عضلانی مردان چاق

بهنام باقرزاده رحمانی[۱]، امیرحسین حقیقی[۲*]، رویا عسکری[۳]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
۲. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
۳. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: یافتن تمرین ورزشی که دارای اثربخشی زیاد و سریع باشد، می‌تواند افراد چاق را برای انجام فعالیت ورزشی ترغیب کند. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات ۱۲ هفته تمرین مقاومتی دایره‌ای و سنتی همراه با تمرین هوازی بر اینترلوکین-۶ (IL-6)، عامل نکروزی تومور آلفا (TNF-α) و قدرت عضلانی در مردان چاق بود. **روش تحقیق:** تعداد ۳۶ مرد چاق (با میانگین سنی ۳/۲۲ ± ۲۵/۷۵ سال و شاخص توده بدنی ۱/۳ ± ۳۵/۱۳ کیلوگرم بر متر مربع) به روش نمونه گیری هدفمند انتخاب و به طور تصادفی به سه گروه مساوی (۱۲ نفر) شامل کنترل، تمرین مقاومتی سنتی + هوازی و تمرین مقاومتی دایره‌ای + هوازی تقسیم شدند. شرکت کنندگان در گروه های تمرینی، ابتدا تمرین مقاومتی و سپس تمرین هوازی را به مدت ۱۲ هفته و سه جلسه در هفته به اجرا درآوردند. تمرین مقاومتی با شدت ۵۵ تا ۷۵ درصد یک تکرار بیشینه و تمرین هوازی با شدت ۴۵ تا ۶۵ درصد ضربان قلب ذخیره در طول ۱۲ هفته اجرا شد. خونگیری در دو مرحله پیش و پس آزمون جهت سنجش شاخص های IL-6 و TNF-α صورت گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده ها از آزمون‌های آماری تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر و تعقیبی شفه در سطح معنی داری $p<0/05$ استفاده شد. **یافته ها:** سطوح IL-6 و TNF-α در گروه‌های تمرینی نسبت به گروه کنترل کاهش معنی‌داری داشتند ($p<0/001$)، اما بین دو گروه تمرینی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p>0/05$). قدرت عضلانی بالاتنه و پایین‌تنه در هر دو گروه تمرینی نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری داشت ($p<0/001$)، اما این تغییرات بین دو گروه تمرینی معنی‌دار نبود ($p>0/05$). وزن بدن فقط در گروه تمرین مقاومتی دایره‌ای نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p<0/01$). **نتیجه گیری:** انجام ۱۲ هفته تمرینات مقاومتی سنتی و دایره‌ای همزمان با تمرین هوازی، سبب تعدیل سطوح آدیپوکاین های التهابی و بهبود قدرت عضلانی در مردان چاق می شود؛ اما پیشنهاد می‌شود برای کاهش وزن بیشتر از تمرینات مقاومتی دایره‌ای استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: چاقی، التهاب، اینترلوکین- ۶، عامل نکروزی تومور آلفا، تمرینات ورزشی.

* نویسنده مسئول، آدرس: سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی؛
پست الکترونیک: ah.haghighi@hsu.ac.ir
https://doi.org/10.22077/jpsbs.2023.6320.1788

مقدمه

در دهه های گذشته نرخ شیوع چاقی در سراسر جهان رو به افزایش بوده است (۱). چاقی و بیماری های قلبی-عروقی از عوامل اصلی مرگ و میر در بسیاری کشورها است. چاقی خطر ابتلا به بیماری های جدی از جمله انواع سرطان و مرگ زودرس را افزایش می دهد (۲). چاقی با اختلالات متابولیکی جدی مانند مقاومت به انسولین، دیابت نوع دو، فشار خون بالا، بیماری های قلبی و عروقی، دیس لیپیدمی[1] و هایپرگلیسمی[2] مرتبط است و این عوامل به عنوان سندرم متابولیک[3] نیز شناخته می شوند (۳). چاقی با التهاب مزمن همراه است و التهاب می تواند در شروع و یا پیشرفت بیماری‌های متابولیکی مرتبط با چاقی، نقش داشته باشد (۴). اینترلوکین-۶[4] (IL-6) سایتوکاینی است که هم به عنوان یک آدیپوکاین پیش التهابی و هم به عنوان یک مایوکاین ضد التهابی عمل می کند. افزایش ترشح IL-6 از عضلات اسکلتی، اثرات مثبت و مهمی در تنظیم سیستم ایمنی، متابولیسم و رشد عضلات دارد (۵). ترشح IL-6 در عضله اسکلتی ناشی از فعالیت ورزشی، نقش ضد التهابی دارد (۶). IL-6 اولین مایوکاینی است که توسط عضله اسکلتی در حین ورزش و در پاسخ به انقباض عضلانی تولید و در جریان خون آزاد می شود (۷) و اثرات ضد التهابی خود را از طریق مهار عامل نکروزی تومور آلفا[5] (TNF-α) و اینترلوکین-۱ (IL-1) و فعال سازی اینترلوکین-۱۰ (IL-10) انجام می دهد (۸). با این حال افزایش آزادسازی IL-6 از بافت چربی می تواند نشانه التهاب مزمن باشد و باعث افزایش مقاومت به انسولین شود (۹). بنابراین افزایش سطوح IL-6 در حالت استراحت به عنوان یک عامل التهابی در نظر گرفته می شود که با مقاومت به انسولین به ویژه در افراد چاق همراه است (۱۰). TNF-α یک سایتوکاین و یک آدیپوکاین است. به‌عنوان یک سایتوکاین، TNF-α توسط سیستم ایمنی برای سیگنال دهی در سلول ها استفاده می‌شود. اگر ماکروفاژها عفونت را تشخیص دهند، TNF-α را آزاد می‌کنند تا سلول‌های دیگر سیستم ایمنی را از یک پاسخ التهابی آگاه کنند. TNF-α به عنوان یک آدیپوکاین، مقاومت به انسولین را تقویت می کند و با دیابت نوع دو ناشی از چاقی مرتبط است (۹). غلظت TNF-α و IL-6 در چاقی افزایش می یابند و باعث افزایش التهاب می شوند (۱۱ و ۱۲).

به طور کلی، افراد بی تحرک و چاق از قدرت نسبی کمتری نسبت به افراد سالم برخوردار هستند. مطالعات متعددی نقش مثبت تمرینات ورزشی را روی بیماران و افراد چاق از طریق افزایش کیفیت زندگی، ارتقای عوامل آمادگی جسمانی، تعدیل التهاب، پیشگیری از دیابت و سایر بیماری‌ها، تایید کرده‌اند (۱۳-۱۵). اجرای تمرینات مقاومتی به صورت سنتی از دهه ها قبل مورد استفاده قرار می‌گرفت. بعدها تمرینات مقاومتی دایره‌ای توسعه داده شد (۱۶). اجرای تمرینات مقاومتی به صورت سنتی نیازمند صرف زمان بیشتری است، اما دارای فواصل استراحتی طولانی تر است. اجرای تمرینات مقاومتی به صورت دایره‌ای، نیازمند صرف زمان کمتری است و دارای فواصل استراحتی کمتری می باشد. از طرفی، نشان داده شده است ترکیب تمرینات هوازی با برنامه‌های مقاومتی اثرات مطلوب بیشتری نسبت به انجام هر کدام از شیوه‌های تمرینی به تنهایی دارد (۱۷). مطالعات اثرات مثبت تمرینات ترکیبی را بر التهاب، ترکیب بدن و آمادگی جسمانی گزارش کرده‌اند (۱۷ و ۱۸). بنابراین، به نظر می‌رسد اجرای تمرینات مقاومتی و هوازی به شیوه ترکیبی برای دستیابی به جنبه‌های بیشتر سلامتی در افراد چاق، با اهمیت باشد.

تمرینات مقاومتی بسته به شیوه اجرا، می تواند سازگاری‌های متفاوتی را به همراه داشته باشند و بر سلامتی و عوامل التهابی مانند IL-6 و TNF-α، به‌ویژه در افراد چاق اثر گذار باشند. از طرفی، بررسی همزمان انواع تمرینات مقاومتی در کنار تمرین هوازی، برای شناخت اثرات انواع تمرینات ترکیبی نیز می تواند مهم تلقی شود. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر تمرینات مقاومتی سنتی و دایره‌ای به صورت ترکیبی با تمرین هوازی، بر آدیپوکاین‌های پیش التهابی IL-6 و TNF-α، وزن بدن، قدرت بالاتنه و پایین تنه در مردان چاق بود.

روش تحقیق

طراحی مطالعه: پژوهش حاضر از نوع کاربردی و نیمه تجربی می‌باشد که با استفاده اندازه‌گیری‌های پیش

1. Dyslipidemia
2. Hyperglycemia
3. Metabolic syndrome
4. Interleukin-6
5. Tumor necrosis factor alpha

آزمون و پس آزمون انجام شد. جامعه آماری شامل مردان چاق بود که از طریق فراخوان در اماکن عمومی، باشگاه ها و رسانه های اجتماعی برای این مطالعه، ثبت نام شدند. حجم نمونه به وسیله نرم افزار جی پاور[1] و بر اساس آزمون مورد استفاده در تحقیق (آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر) با توان آماری ۸۰ درصد و سطح خطا ۰/۰۵ درصد، ۳۶ نفر تعیین شد. از ۴۲ مرد چاق داوطلب، ۳۶ نفر به صورت هدفمند، انتخاب و به‌طور تصادفی به سه گروه مساوی (۱۲ نفر) کنترل، تمرین مقاومتی سنتی[2] (TRT) + هوازی و تمرین مقاومتی دایره‌ای[3] (CRT) + هوازی تقسیم شدند. معیارهای ورود به مطالعه شامل دامنه سنی ۲۰ تا ۳۲ سال، شاخص توده بدنی[4] (BMI) بیشتر از ۳۰ کیلوگرم بر متر مربع، عدم شرکت در فعالیت بدنی منظم در شش ماه گذشته، عدم وجود بیماری قلبی-عروقی، متابولیک و غدد درون ریز، و عدم مصرف مواد مخدر و الکل بود. وجود اختلالات مفصلی، ناتوانی‌های جسمی و مصرف داروها و مکمل‌های اثر گذار بر متابولیسم عضلات و بافت چربی، از ملاک های خروج از مطالعه بودند.

ملاحظات اخلاقی: پژوهش حاضر پس از کسب کد اخلاق IR.HSU.REC.1401.004 از کمیته اخلاق دانشگاه حکیم سبزواری اجرا شد. سلامت جسمانی و سطح آمادگی جسمانی افراد توسط پزشک و یک فیزیولوژیست ورزشی با استفاده از پرسشنامه های سلامت/سوابق پزشکی و آمادگی فعالیت بدنی تائید گردید (۱۹). قبل از شرکت در تحقیق، کلیه مراحل و روش کار برای شرکت کننده‌ها توضیح داده شد و همه آنها یک فرم رضایت آگاهانه را تکمیل کردند.

نحوه اجرای پروتکل تمرین: تمرینات توسط تیمی از متخصصان فیزیولوژی ورزشی طراحی شد. هر جلسه شامل یک مرحله گرم کردن (۱۰ دقیقه)، بخش اصلی تمرین (تمرین مقاومتی + تمرین هوازی) و سرد کردن (۵ دقیقه) بود. تمرین مقاومتی شامل چهار حرکت برای بالا تنه و چهار حرکت برای پایین تنه بود. از حرکات پرس سینه[5]، لت از جلو[6]، جلو بازو[7] و پشت بازو[8] برای بالا تنه استفاده شد و از حرکات اسکوات[9]، پرس پا[10]، پشت ران[11] و جلو ران[12] برای پایین تنه استفاده شد. به شرکت‌کننده‌ها آموزش داده شد که در مرحله برونگرا، دم و در مرحله درونگرا، بازدم را انجام دهند. تمرینات مقاومتی از گروه‌های عضلانی بزرگ‌تر و حرکات چند مفصله شروع و به گروه‌های عضلانی کوچک‌تر و حرکات تک مفصله ختم شد. پروتکل تمرین مقاومتی سنتی شامل هشت حرکت در سه نوبت بود و تمرینات از حرکات بالاتنه شروع و به حرکات پایین تنه ختم شد (جدول یک). پروتکل تمرین مقاومتی دایره‌ای شامل هشت ایستگاه، به صورت پشت سر هم در دو دایره بود (جدول یک). تمرین مقاومتی با شدت ۵۵ درصد یک تکرار بیشینه[13] (1RM) در چهار هفته اول شروع و با شدت ۷۵ درصد 1RM در چهار هفته آخر به پایان رسید. قبل از به دست آوردن 1RM، شرکت کنندگان ابتدا بدن خود را گرم کردند. سپس وزنه ای انتخاب شد که آنها حداکثر تا ۱۰ تکرار را بتوانند انجام دهند. سپس از طریق تعداد تکرار و وزنه مهار شده، حداکثر قدرت شرکت کنندگان به روش غیر مستقیم به دست آمد (۲۰).

پروتکل تمرین هوازی[14] (AT) پس از ۵ دقیقه استراحت بعد از تمرینات مقاومتی روی نوارگردان انجام شد (جدول دو). تمرین هوازی با شدت ۴۵ درصد ضربان قلب ذخیره[15] (HRR) در چهار هفته اول شروع و با شدت ۶۵ درصد HRR در چهار هفته آخر به پایان رسید. کنترل شدت تمرین هوازی با توجه به HRR و با استفاده از فرمول کاروونن[16] انجام شد (۲۱، ۲۲). اندازه گیری ها و محاسبات در فواصل چهار هفته‌ای تکرار و سپس بر اساس اصل اضافه بار، شدت تمرینات طبق اصل پیشرفت تدریجی افزایش یافت. به شرکت کننده‌ها در گروه کنترل آموزش داده شد که سبک زندگی معمول خود (غیرفعال) را به مدت ۱۲ هفته حفظ کنند.

ارزیابی و سنجش متغیرهای تحقیق: ۲۴ ساعت قبل و ۷۲ ساعت پس از پایان تمرینات، قدرت بالا تنه و پایین تنه شرکت کننده‌ها با استفاده از روش برزیسکی[17] محاسبه شد (۲۰). حداکثر قدرت بالاتنه با حرکت پرس سینه و حداکثر قدرت پایین تنه با حرکت پرس پا ارزیابی گردید.

1. G-power
2. Traditional resistance training
3. Circuit resistance training
4. Body mass index
5. Bench press
6. Lat pull-down
7. Biceps curl
8. Triceps push-down
9. Squat
10. Leg press
11. Lying leg curl
12. Leg extension
13. One repetition maximum
14. Aerobic training
15. Heart rate reserve
16. Karvonen
17. Brzycki

نمونه‌های خونی نیز ۴۸ ساعت قبل و بعد مداخله به مقدار ۱۰ میلی لیتر از ورید بازویی در حالت ۱۲ ساعت ناشتایی بین ساعات ۱۰-۸ صبح و در شرایط محیطی مناسب (۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۰ درصد) جمع‌آوری شد. در ۳۰ دقیقه اولیه پس از جمع آوری، نمونه‌ها به لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد[1] جهت تهیه پلاسما انتقال داده شد و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. پلاسمای جمع‌آوری‌شده در پیش آزمون تا زمان جمع‌آوری پلاسمای پس‌آزمون، برای ارزیابی نهایی در دمای منفی ۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سطح پلاسمایی IL-6 به روش الایزا[2] و با کیت مای بایو سورس[3] ساخت کشور آمریکا با حساسیت کمتر از ۰/۳۵ پیکوگرم بر میلی لیتر و ضریب تغییرات درون سنجی کمتر از ۱۰ درصد و ضریب تغییرات برون سنجی کمتر از ۱۲ درصد، اندازه گیری شد. سطح پلاسمایی TNF-α به روش الایزا و با کیت بایوتک[4] ساخت کشور آمریکا با حساسیت کمتر از ۰/۰۴۹ پیکوگرم بر میلی لیتر و ضریب تغییرات درون سنجی کمتر از ۲ درصد و ضریب تغییرات برون سنجی کمتر از ۶ درصد، با توجه به دستورالعمل‌ها سنجش شد.

روش‌های آماری: برای دسته بندی و تعیین شاخص‌های پراکندگی از آمار توصیفی و برای اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده ها از آزمون شاپیرو-ویلک[5] استفاده شد. مقایسه درون گروهی با استفاده از آزمون t زوجی و مقایسه بین گروه‌ها با استفاده از آزمون های آنالیز واریانس با اندازه گیری مکرر و آزمون تعقیبی شفه[6] انجام شد. تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۹ صورت گرفت و سطح معنی داری از نظر آماری p<۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

جدول ۱. دستورالعمل انجام تمرینات مقاومتی

هفته ها	متغیر ها	سنتی	دایره‌ای
۱-۱۲	تعداد جلسات در هفته	۳	۳
	تعداد حرکات	۸	۸
	نوبت	۳	۳
	زمان استراحت بین هر دایره یا نوبت (ثانیه)	۹۰	۲۴۰
	زمان استراحت بین هر ایستگاه یا حرکت (ثانیه)	۹۰	۱۵
۱-۴	تکرار	۱۲	۱۲
	شدت (1RM)	۵۵	۵۵
۵-۸	تکرار	۱۰	۱۰
	شدت (1RM)	۶۴	۶۴
۹-۱۲	تکرار	۸	۸
	شدت (1RM)	۷۵	۷۵

جدول ۲. دستورالعمل انجام تمرین هوازی

متغیرها	هفته ۱-۴	هفته ۵-۸	هفته ۹-۱۲
مدت (دقیقه)	۳۰	۲۷/۵	۲۵
شدت (HRR)	۴۵	۵۵	۶۵

یافته ها

آزمون شاپیرو-ویلک توزیع طبیعی داده‌ها را تأیید کرد (p>۰/۰۵). نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری مکرر نشان داد که سطوح IL-6 و TNF-α بین گروه های تحقیق تفاوت معنی‌دار دارد (p<۰/۰۰۱). بر اساس آزمون تعقیبی شفه، مقدار IL-6 در گروه‌های تمرین سنتی (p<۰/۰۰۱) و دایره‌ای (p<۰/۰۰۱) نسبت به گروه کنترل کاهش معنی‌داری داشت، در حالی که تفاوت معنی‌داری بین این دو گروه تمرینی مشاهده نشد (p=۰/۱۸). همچنین، آزمون تعقیبی شفه نشان داد که سطح TNF-α در گروه‌های تمرین سنتی (p=۰/۰۲) و دایره‌ای (p=۰/۰۱) نسبت به گروه کنترل کاهش داشت، اما بین این دو گروه تمرینی تفاوت معنی‌داری

1. Ethylene Diamine Tetra Acetic acid
2. Enzyme-linked immunosorbent assay
3. MyBioSource
4. Bio-Techne
5. Shapiro-Wilk
6. Sheffe

مشاهده نشد (p=۰/۱۵). علاوه بر این، بررسی تغییرات درون‌گروهی نشان داد که سطوح IL-6 و TNF-α در هر دو گروه تمرینی نسبت به پیش‌آزمون کاهش معنی‌داری داشته است (p<۰/۰۰۱)، در حالی که در گروه کنترل در سطوح IL-6 (p=۰/۳۸) و TNF-α (p=۰/۵۸) تغییر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول سه).

براساس نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری مکرر، تغییرات معنی‌داری در قدرت عضلانی بالاتنه و پایین‌تنه بین گروه‌ها مشاهده شد (p<۰/۰۰۱). نتایج آزمون تعقیبی شفه نشان داد قدرت بیشینه در پرس سینه برای شرکت‌کنندگان گروه‌های سنتی (p<۰/۰۰۱) و دایره‌ای (p<۰/۰۰۱) در مقایسه با گروه کنترل افزایش معنی‌داری دارد، اما تفاوت معنی‌داری بین این دو گروه تمرینی مشاهده نشد (p=۰/۲۱). به‌طور مشابه، در پرس پا نیز قدرت بیشینه در گروه‌های سنتی (p=۰/۱۵) و دایره‌ای (p=۰/۱۵) نسبت به گروه کنترل افزایش داشت، اما تفاوت قابل‌توجهی بین دو گروه تمرینی مشاهده نشد (p=۰/۲۴). بررسی تغییرات درون‌گروهی نیز نشان داد که قدرت بیشینه در پرس سینه و پرس پا در هر دو گروه تمرینی نسبت به پیش‌آزمون افزایش معنی‌داری داشت (p<۰/۰۰۱)، اما در گروه کنترل قدرت بیشینه در حرکات پرس سینه (p=۰/۱۵) و پرس پا (p=۰/۶۶) تغییر معنی‌داری نداشت (جدول سه). ارزیابی تغییرات بین گروه‌ها نشان داد که وزن بدن تغییرات معنی داری دارد (p<۰/۰۱). وزن بدن در گروه تمرین مقاومتی دایره‌ای نسبت به گروه کنترل کاهش معنی داری داشت (p<۰/۰۲)، اما تغییرات در بین گروه تمرین مقاومتی سنتی و کنترل معنی دار نبود (p<۰/۰۷). همچنین بررسی تغییرات درون گروهی نشان داد وزن بدن کاهش معنی داری در درون گروه های تمرینی نسبت به پیش آزمون (p<۰/۰۰۱) دارد، اما در گروه کنترل افزایش معنی داری داشت (p<۰/۰۰۱) (جدول سه).

جدول ۳. توصیف و مقایسه شاخص های التهابی، قدرت عضلانی و وزن بدن بین گروه های شرکت کننده در تحقیق

متغیرها	اندازه گیری ها			بین گروه ها			درون گروهی	
	گروه ها	پیش آزمون	پس آزمون	F	η^2	p	t	p
وزن (کیلوگرم)	کنترل	۱۰۵/۷۷ ± ۵/۲۳	۱۰۷/۵۳ ± ۵/۰۲	۴/۸۸	۰/۲۲	۰/۰۱*	-۱۳/۹۶	۰/۰۰۱*
	سنتی	۱۰۴/۵۵ ± ۳/۱۱	۱۰۰/۴۵ ± ۲/۹۶				۸/۳۹	۰/۰۰۱*
	دایره‌ای	۱۰۵/۲۲ ± ۳/۷۰	†۹۸/۶۸ ± ۳/۷۶				۲۸/۵۹	۰/۰۰۱*
IL-6 (پیکوگرم بر میلی لیتر)	کنترل	۲۰/۷۶ ± ۰/۶۲	۲۱/۰۵ ± ۰/۹۰	۱۳۰/۰۹	۰/۸۸	۰/۰۰۱*	-۰/۹۰	۰/۳۸
	سنتی	۲۰/۸۱ ± ۰/۷۶	†۱۵/۰۰ ± ۰/۳۳				۳۰/۲۶	۰/۰۰۱*
	دایره‌ای	۲۱/۰۵ ± ۰/۸۵	†۱۴/۷۱ ± ۰/۶۳				۲۰/۸۷	۰/۰۰۱*
TNF-α (پیکوگرم بر میلی لیتر)	کنترل	۳/۱۰ ± ۰/۴۷	۳/۱۱ ± ۰/۴۶	۵/۴۷	۰/۲۴	۰/۰۰۱*	-۰/۵۵	۰/۵۸
	سنتی	۲/۹۷ ± ۰/۴۶	†۲/۱۵ ± ۰/۴۷				۲۰/۵۰	۰/۰۰۱*
	دایره‌ای	۳/۰۱ ± ۰/۴۳	†۲/۱۶ ± ۰/۴۴				۵۹/۷۰	۰/۰۰۱*
1RM پرس سینه (کیلوگرم)	کنترل	۵۵/۰۷ ± ۲/۴۵	۵۴/۷۴ ± ۲/۶۴	۱۰۲/۴۱	۰/۸۶	۰/۰۰۱*	۱/۵۲	۰/۱۵
	سنتی	۶۱/۲۹ ± ۳/۷۳	†۹۰/۸۷ ± ۸/۸۴				-۱۲/۸۱	۰/۰۰۱*
	دایره‌ای	۶۲/۷۹ ± ۲/۹۱	†۸۸/۲۴ ± ۵/۹۲				-۱۶/۵۶	۰/۰۰۱*
1RM پرس پا (کیلوگرم)	کنترل	۱۷۰/۹۳ ± ۵/۰۴	۱۷۰/۵۴ ± ۴/۷۸	۲۲۰/۶۱	۰/۹۳	۰/۰۰۱*	۰/۴۵	۰/۶۶
	سنتی	۱۷۲/۰۴ ± ۹/۰۴	†۲۴۳/۵۹ ± ۳/۶۷				-۲۵/۹۸	۰/۰۰۱*
	دایره‌ای	۱۷۱/۳۲ ± ۸/۷۷	†۲۴۱/۲۵ ± ۵/۳۹				-۲۲/۸۱	۰/۰۰۱*

*: نشانه تفاوت معنی دار درون گروهی؛ ‡: نشانه تفاوت معنی دار بین گروه ها؛ †: نشانه تفاوت معنی داری با گروه کنترل.
سطح معنی داری از نظر آماری p< ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

بحث

پژوهش حاضر نشان داد که انجام ۱۲ هفته تمرین مقاومتی سنتی و دایره‌ای به صورت همزمان با تمرین هوازی، سبب کاهش معنی‌دار IL-6 ، TNF-α و وزن بدن و افزایش معنی‌دار قدرت بالاتنه و پایین تنه مردان چاق گردید. تسای[1] و دیگران (۲۰۲۱) تاثیر ۱۰ هفته تمرین مقاومتی با حجم

1. Tsai

یکسان را در افراد مسن پیش دیابتی که به طور تصادفی به دو گروه ۱۲ نفره شامل تمرین مقاومتی با شدت کم (۴۰ درصد 1RM) و شدید (۸۰ درصد 1RM) تقسیم شدند، بررسی کردند. سطح سرمی TNF-α تنها در گروه تمرین مقاومتی با شدت بالا کاهش معنی‌داری داشت؛ اما تغییر معنی‌داری در سطح IL-6 در گروه‌ها مشاهده نشد. این محققان نتیجه گرفتند که تمرین مقاومتی با شدت بالا در تضعیف التهاب سیستمیک ناشی از افزایش سن موثرتر است (۲۳). از طرفی، در مطالعه ای انجام ۱۲ هفته تمرین هوازی به صورت سه جلسه در هفته با کاهش معنی دار TNF-α و IL-6 در مردان و زنان چاق با دیابت نوع دو، همراه بوده است (۲۴). ممکن است هم انجام تمرینات مقاومتی و هم انجام تمرین هوازی، سبب تعدیل عوامل التهابی شوند. در پژوهشی نشان داده شده است که انجام تمرینات مقاومتی و هوازی به صورت ترکیبی اثرات ضد التهابی بیشتری نسبت به انجام جداگانه تمرین هوازی و مقاومتی دارد و سبب کاهش معنی‌دار IL-6 و TNF-α می‌شود (۲۵). در پژوهشی دیگر، مردان غیر ورزشکار دارای اضافه وزن، به مدت هشت هفته در دو زمان صبح و عصر تمرینات مقاومتی و هوازی را به صورت ترکیبی انجام دادند. تمرین هوازی به صورت راه رفتن سریع و سپس دویدن آهسته و حرکات کششی بود و تمرین مقاومتی ترکیبی از حرکات پایین تنه و بالا تنه با وزنه بود. نتایج کاهش معنی‌دار IL-6 را در هر دو زمان صبح و عصر نشان دادند. احتمالاً تمرینات ترکیبی صرف نظر از زمان صبح و عصر، سبب کاهش آدیپوکاین های پیش التهابی می‌گردد (۲۶). اما ناهمسو با پژوهش حاضر،۱۲ هفته تمرین ترکیبی تاثیر معنی‌داری بر سطح IL-6 در زنان مبتلا به دیابت نوع دو ایجاد نکرد. پژوهشگران گزارش دادند اثرات ضد التهابی ورزش با نوع، شدت و مدت تمرینات ورزشی مرتبط است (۲۷). همچنین در پژوهشی دیگر نشان داده شده است که هشت هفته تمرین ترکیبی مقاومتی و هوازی (چهار روز در هفته، ۷۰ دقیقه در هر جلسه) تاثیر معنی داری بر سطح پلاسمایی TNF-α ندارد (۲۸). احتمالاً نحوه اجرا و پروتکل تمرینی متفاوت، سبب ایجاد نتایج متفاوت می شود. در پژوهشی دیگر نشان داده شد هشت هفته تمرین ترکیبی به صورت پنج جلسه در هفته و هر جلسه ۳۰ تا ۵۰ دقیقه، با تغییر معنی‌دار سطح IL-6 همراه نیست، اما سبب کاهش معنی‌دار سطح TNF-α می‌شود. تمرین هوازی شامل دوچرخه سواری بود و تمرین مقاومتی شامل تمریناتی برای تمام گروه های عضلانی اصلی با تمرکز بر اندام پایین تنه با رعایت اصل اضافه بار بود. این پژوهشگران تغییرات معنی‌دار در سطح IL-6 را با شدت و مدت بالاتر تمرین مرتبط دانستند (۲۹). احتمال دارد اثرات معنی دار تمرینات ترکیبی بر سطوح IL-6 در پژوهش حاضر، به مدت دوازده هفته پروتکل تمرینی مرتبط باشد.

سعیدی و دیگران (۲۰۲۳) تاثیر ۱۲ هفته تمرینات مقاومتی سنتی، تناوبی و دایره‌ای را در مردان چاق بررسی کردند. تمرینات مقاومتی در همه گروه های تمرینی با شدت ۵۰ درصد 1RM و با ۱۴ تکرار انجام شد. آنها گزارش کردند تمرینات مقاومتی تناوبی و دایره‌ای اثرات مطلوب‌تری نسبت به تمرینات مقاومتی سنتی، بر عوامل التهابی مانند گرملین[1] و ترکیب بدن، نیمرخ لیپیدی و مقاومت به انسولین دارند (۳۰). ممکن است کاهش بافت چربی به علت نقش مهم آن در آزادسازی آدیپوکاین‌های پیش التهابی، از عوامل مؤثر در کاهش بیومارکرهای پیش التهابی در پژوهش حاضر باشد. میزان افزایش سطح IL-6 به نوع، مدت و شدت فعالیت ورزشی بستگی دارد. میزان توده‌های عضلانی درگیر در فعالیت نیز می‌توانند بر پاسخ IL-6 به فعالیت ورزشی تاثیرگذار باشند (۳۱). افزایش مزمن سطح IL-6 منجر به افزایش مقاومت به انسولین، سندرم متابولیک و دیابت نوع دو و کاهش بیان انتقال دهنده گلوکز ۴[2] (GLUT-4) و سوبسترای گیرنده انسولین ۱[3] (IRS1) می شود (۳۲). یکی از تاثیرات پاتولوژیک شناخته شده TNF-α نقش آن در بروز مقاومت به انسولین است. این سایتوکاین با اثرگذاری بر گیرنده انسولین، IRS-1 و GLUT-4، برداشت گلوکز ناشی از تحریک انسولین در آدیپوسیت ها را سرکوب می کند (۳۳). با توجه به اینکه بافت چربی سفید یکی از جایگاه‌های اصلی ترشح TNF-α به عنوان یک آدیپوکاین پیش التهابی است، سطح این آدیپوکاین در افراد چاق به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند.

افراد چاق به دلیل اضافه وزن و توده چربی بیشتر دارای

1. Gremlin
2. Glucose transporter type-4
3. Insulin receptor substrate-1

قدرت نسبی کمتری نسبت به افراد سالم و بدون اضافه وزن هستند. به همین دلیل، کیفیت فعالیت های روزانه آنها پایین تر از افراد سالم است. از طرفی، تمرینات هوازی و مقاومتی می توانند در افزایش میزان متابولیسم پایه، ترکیب بدن و قدرت عضلانی اثرگذار باشند (۳۴). نشان داده شده است تمرینات ورزشی می توانند با کاهش درصد چربی بدن، موجب بهبود عوامل آمادگی جسمانی شوند (۳۵). ممکن است در تحقیق حاضر، تمرینات ورزشی ترکیبی با کاهش وزن، و ارتقای عملکرد عصبی-عضلانی سبب افزایش قدرت عضلانی بالا تنه و پایین تنه باشند. در تحقیق حاضر نشان داده شد که وزن بدن در گروه تمرین دایره‌ای به طور معنی داری کاهش یافته است. در حین انجام تمرینات مقاومتی دایره‌ای افراد با استراحت کمتر و ضربان قلب بالاتر نسبت به تمرینات سنتی روبه‌رو می شوند و به همین دلیل ممکن است میزان متابولیسم استراحتی بالاتری را تجربه کنند.

کاهش توده چربی و عادی سازی ترشح آدیپوکاین‌ها یک راهکار مهم برای پیشگیری و بهبود اختلالات ناشی از چاقی است. مطالعه حاضر نشان داد که انجام تمرین مقاومتی سنتی و دایره‌ای به صورت همزمان با تمرین هوازی، به‌عنوان یک استراتژی موثر برای تعدیل سطوح برخی از آدیپوکاین های التهابی و بهبود قدرت در مردان چاق در نظر گرفته می شود. از طرفی هم، نشان داده شد تمرینات مقاومتی دایره‌ای اثرات معنی داری بر کاهش وزن بدن دارد. از محدودیت های تحقیق حاضر می توان به عدم کنترل بیماری های پنهان و سیکل شبانه روزی خواب و بیداری شرکت کنندگان اشاره کرد. اگر تمرینات ورزشی به صورت درست برای افراد چاق تجویز شوند، می توان انتظار ارتقای جنبه های بیشتر جسم و سلامت را در مدت زمان کوتاه تر داشت. با تبدیل افراد چاق به افراد سالم از طریق ورزش، احتمال کاهش بار اقتصادی، افزایش سطح سلامت جسمی و روانی و همچنین کاهش مرگ و میر ناشی از عوارض چاقی و دیابت وجود دارد.

نتیجه گیری: انجام ۱۲ هفته تمرینات مقاومتی سنتی و دایره‌ای به صورت همزمان با تمرین هوازی، سبب تعدیل سطوح آدیپوکاین های التهابی و بهبود قدرت عضلانی در مردان چاق می شود. با این حال، ممکن است تمرینات مقاومتی دایره‌ای اثرات مطلوب تری در کاهش وزن نسبت به تمرینات مقاومتی سنتی داشته باشد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ تضاد منافعی را در مورد انتشار این مطالعه اعلام نمی کنند.

قدردانی و تشکر

از تمام افرادی که در این پژوهش مشارکت و همکاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نماییم.

منابع

1. Chooi YC, Ding C, Magkos F. The epidemiology of obesity. Metabolism. 2019;92:6-10. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.09.005

2. Esposito K, Chiodini P, Colao A, Lenzi A, Giugliano D. Metabolic syndrome and risk of cancer: a systematic review and meta-analysis. Diabetes Care. 2012;35(11):2402-11. https://doi.org/10.2337/dc12-0336

3. Saltiel AR, Olefsky JM. Inflammatory mechanisms linking obesity and metabolic disease. The Journal of Clinical Investigation. 2017;127(1):1-4. https://doi.org/10.1172/jci92035

4. Lasselin J, Capuron L. Chronic low-grade inflammation in metabolic disorders: relevance for behavioral symptoms. Neuroimmunomodulation. 2014;21(2-3):95-101. https://doi.org/10.1159/000356535

5. Li F, Li Y, Duan Y, Hu C-AA, Tang Y, Yin Y. Myokines and adipokines: Involvement in the crosstalk between skeletal muscle and adipose tissue. Cytokine & Growth Factor Reviews. 2017;33:73-82. https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2016.10.003

6. Pedersen BK, Febbraio MA. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. Nature Reviews Endocrinology. 2012;8(8):457-65. https://doi.org/10.1038/nrendo.2012.49

7. Febbraio MA, Pedersen BK. Contraction-induced myokine production and release: is skeletal muscle an endocrine organ? Exercise and Sport Sciences Reviews. 2005;33(3):114-9. https://doi.org/10.1097/00003677-200507000-00003

8. Petersen AMW, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise. Journal of Applied Physiology. 2005;98(4):1154-62. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00164.2004

9. Pedersen BK, Steensberg A, Fischer C, Keller C, Keller P, Plomgaard P, et al. The metabolic role of IL-6 produced during exercise: is IL-6 an exercise factor? Proceedings of the Nutrition Society. 2004;63(2):263-7. https://doi.org/10.1079/pns2004338

10. Sethi JK, Hotamisligil GS. Metabolic messengers: tumour necrosis factor. Nature Metabolism. 2021;3(10):1302-12. https://doi.org/10.1038/s42255-021-00470-z

11. Kern L, Mittenbühler MJ, Vesting AJ, Ostermann AL, Wunderlich CM, Wunderlich FT. Obesity-induced TNFα and IL-6 signaling: the missing link between obesity and inflammation—driven liver and colorectal cancers. Cancers. 2019;11(1):24. https://doi.org/10.3390/cancers11010024

12. Virdis A, Colucci R, Bernardini N, Blandizzi C, Taddei S, Masi S. Microvascular endothelial dysfunction in human obesity: role of TNF-α. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2019;104(2):341-8. https://doi.org/10.1210/jc.2018-00512

13. Haghighi AH, Ahmadi A, Carotenuto A, Askari R, Nikkhah K, Bagherzadeh-Rahmani B, et al. Effects of concurrent training and CoQ10 on neurotrophic factors and physical function in people with Multiple Sclerosis: a pilot study. European Journal of Translational Myology. 2023;33(2). https://doi.org/10.4081/ejtm.2023.11253

14. Lopez P, Taaffe DR, Galvão DA, Newton RU, Nonemacher ER, Wendt VM, et al. Resistance training effectiveness on body composition and body weight outcomes in individuals with overweight and obesity across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. Obesity Reviews. 2022;23(5):e13428. https://doi.org/10.1111/obr.13428

15. Bagherzadeh-Rahmani B, Kordi N, Haghighi AH, Clark CC, Brazzi L, Marzetti E, et al. Eight weeks of pilates training improves respiratory measures in people with a history of COVID-19: a preliminary study. Sports Health. 2023;15(5):710-7. https://doi.org/10.1177/19417381221124

16. Kravitz L. The fitness professional's complete guide to circuits and interval. Age. 2006;56:1. https://doi.org/10.1177/19417381221124601

17. Chen HT, Chung YC, Chen YJ, Ho SY, Wu HJ. Effects of different types of exercise on body composition, muscle strength, and IGF-1 in the elderly with sarcopenic obesity. Journal of the American Geriatrics Society. 2017;65(4):827-32. https://doi.org/10.1111/jgs.14722

18. Alberga AS, Prud'homme D, Sigal RJ, Goldfield GS, Hadjiyannakis S, Phillips P, et al. Effects of aerobic training, resistance training, or both on cardiorespiratory and musculoskeletal fitness in adolescents with obesity: the HEARTY trial. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2016;41(3):255-65. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0413

19. Thomas S, Reading J, Shephard RJ. Revision of the physical activity readiness questionnaire (PAR-Q). Canadian journal of sport sciences. Journal Canadien des Sciences du Sport. 1992;17(4):338-45.

20. Brzycki M. Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. Journal of Physical Education, Recreation & Dance. 1993;64(1):88-90. https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684

21. Mj K. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae. 1957;35:307-15.

22. Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2007;39(5):822-9. https://doi.org/10.1097/mss.0b013e31803349c6

23. Tsai S-H, Cheng H-C, Liu H-W. Effects of volume-matched resistance training with different loads on glycemic control, inflammation, and body composition in prediabetic older adults. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2021;46(11):1400-6. https://doi.org/10.1139/apnm-2021-0355

24. Abd El-Kader SM, Al-Jiffri OH, Al-Shreef FM. Aerobic exercises alleviate symptoms of fatigue related to inflammatory cytokines in obese patients with type 2 diabetes. African Health Sciences. 2015;15(4):1142-8. https://doi.org/10.4314/ahs.v15i4.13

25. Hopps E, Canino B, Caimi G. Effects of exercise on inflammation markers in type 2 diabetic subjects. Acta Diabetologica. 2011;48:183-9. https://doi.org/10.1007/s00592-011-0278-9

26. Akbarpour M, Jahanmehr A. The effect of 8 weeks strength-endurance training at morning and evening on interlukin-6 and C-reactive protein in overweight men. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2020;8(15):126-39. [In Persian].https://doi.org/10.22077/jpsbs.2019.1094.1330

27. Jorge MLMP, de Oliveira VN, Resende NM, Paraiso LF, Calixto A, Diniz ALD, et al. The effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic control, inflammatory markers, adipocytokines, and muscle insulin signaling in patients with type 2 diabetes mellitus. Metabolism. 2011;60(9):1244-52. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2011.01.006

28. Ghorbanian B, Ghasemnian A. The effects of 8 weeks interval endurance combined training on plasma TNF-α, IL-10, insulin resistance and lipid profile in boy adolescents. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2016;4(7):43-54. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/jpsbs.2016.382

29. Ihalainen JK, Schumann M, Eklund D, Hämäläinen M, Moilanen E, Paulsen G, et al. Combined aerobic and resistance training decreases inflammation markers in healthy men. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2018;28(1):40-7. https://doi.org/10.1111/sms.12906

30. Saeidi A, Nouri-Habashi A, Razi O, Ataeinosrat A, Rahmani H, Mollabashi SS, et al. Astaxanthin supplemented with high-intensity functional training decreases adipokines levels and Cardiovascular Risk factors in men with obesity. Nutrients. 2023;15(2):286. https://doi.org/10.3390/nu15020286

31. Pedersen BK. Muscle as a secretory organ. Comprehensive Physiology. 2011;3(3):1337-62. https://doi.org/10.1002/cphy.c120033

32. Charles BA, Doumatey A, Huang H, Zhou J, Chen G, Shriner D, et al. The roles of IL-6, IL-10, and IL-1RA in obesity and insulin resistance in African-Americans. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2011;96(12):E2018-E22. https://doi.org/10.1210/jc.2011-1497

33. Cawthorn WP, Sethi JK. TNF-α and adipocyte biology. FEBS Letters. 2008;582(1):117-31. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.11.051

34. Stewart K. Exercise training: can it improve cardiovascular health in patients with type 2 diabetes? British Journal of Sports Medicine. 2004;38(3):250-2. https://doi.org/10.1136/bjsm.2004.012187

35. Dumith SC, Ramires VV, Souza MA, Moraes DS, Petry FG, Oliveira ES, et al. Overweight/obesity and physical fitness among children and adolescents. Journal of Physical Activity and Health. 2010;7(5):641-8. https://doi.org/10.1123/jpah.7.5.641