University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Winter 2024, 12(32), 46-57

Received: Sep 17, 2023 Revised: Nov 04, 2023 Accepted: Nov 07, 2023

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

The effect of high-intensity functional training on Gremlin-1 levels and insulin resistance in overweight and obese women

Javad Nakhzari Khodakheir[1*], Mehdi Zarei[2], Hamid Reza Zolfi[3], Amir Shakib[4]

1. Assistant Professor at Department of Physical Education and Sport Sciences, School of Human Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Assistant Professor at Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Literature and Humanities, University of Neyshabur, Neyshabur, Iran.
3. Assistant Professor at Department of Physical Education and Sport Science, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.
4. PhD Student in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Abstract

Background and Aim: Studies have shown that Gremlin-1 can be involved in adipose tissue dysfunction such as obesity, type II diabetes and metabolic disorders. The aim of this study was to investigate the effect of high-intensity functional training on Gremlin-1 levels and insulin resistance in overweight and obese women**. Materials and Methods:** In this semi-experimental study, 20 overweight and obese women were randomly divided into high-intensity functional training (n=10) and control (n=10) groups. The subjects performed high-intensity functional exercises three times a week during eight weeks. Moreover, blood samples were taken from subjects to measure fasting glucose, insulin resistance, and Gremlin-1 levels before and after the intervention. Data analyzed by SPSS software version 16, based on the covariance and paired t tests at a significance level of $p<0.05$. **Results**: After eight weeks of high-intensity functional training, body weight (p=0.001), body mass index (p=0.001), fat percentage (p=0.001), fasting glucose (p=0.001), insulin resistance index (p=0.001) and Gremlin 1 concentration (p=0.03) were significantly reduced in the experimental group compared to control group. **Conclusion**: The results of the present study showed that high-intensity functional training in overweight and obese women leads to a improve Gremlin-1 levels and insulin resistance; therefore, these types of exercises can be used as exercise interventions in controlling and reducing complications related to overweight and obesity.

Keywords: Functional exercise training, Gremlin-1, Insulin resistance, Obesity and overweight, Women.

Cite this article:
Nakhzari Khodakheir, J., Zarei, M., Zolfi, H.R., & Shakib, A. (2024). The effect of high-intensity functional training on Gremlin-1 levels and insulin resistance in overweight and obese women. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, 12***(32), 46-57.**

*** Corresponding Author, Address: Department of Physical Education and Sport Sciences, School of Human Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran; E-mail: javadnakhzari@uoz.ac.ir**

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2023.6774.1824

Copyright: © 2022 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/).

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش مقاله پژوهشی
زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۲، شماره ۳۲، ص ۵۷-۴۶
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷
نشریه مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش
دانشگاه بیرجند

تمرینات عملکردی با شدت بالا بر سطوح گرملین-۱ و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن و چاق

جواد نخزری خداخیر[۱*]، مهدی زارعی[۲]، حمیدرضا زلفی[۳]، امیر شکیب[۴]

۱. استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲. استادیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه نیشابور، نیشابور، ایران.
۳. استادیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.
۴. دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: مطالعات نشان داده است که گرملین-۱ در اختلال عملکرد بافت چربی در چاقی، دیابت نوع دو و اختلالات متابولیک؛ نقش دارد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی تاثیر تمرینات عملکردی با شدت بالا بر سطوح گرملین-۱ و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن و چاق بود. **روش تحقیق:** در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۲۰ زن دارای اضافه وزن و چاق به صورت تصادفی در دو گروه تمرین عملکردی با شدت بالا (۱۰ نفر) و کنترل (۱۰ نفر) تقسیم شدند. آزمودنی‌های گروه تمرینی سه جلسه در هفته به مدت هشت هفته به اجرای تمرینات عملکردی با شدت بالا پرداختند. به منظور اندازه‌گیری گلوکز ناشتا، مقاومت به انسولین و گرملین-۱ قبل و پس از مداخله، از آزمودنی‌ها نمونه‌های خونی به عمل آمد. برای تحلیل داده‌ها در نرم افزار SPSS نسخه ۱۶، از آزمون‌های تحلیل کوواریانس و t زوجی در سطح معنی‌داری p<۰/۰۵ استفاده شد. **یافته ها:** بعد از هشت هفته تمرینات عملکردی با شدت بالا، وزن بدن (p=۰/۰۰۱)، شاخص توده بدنی (p=۰/۰۰۱)، درصد چربی (p=۰/۰۰۱)، گلوکز ناشتا (p=۰/۰۰۱)، شاخص مقاومت به انسولین (p=۰/۰۰۱) و غلظت گرملین-۱ (p=۰/۰۳) ؛ در گروه تجربی نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری کاهش یافت. **نتیجه گیری:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد تمرینات عملکردی با شدت بالا در زنان دارای اضافه وزن و چاق، منجر به بهبود سطوح گرملین-۱ و مقاومت به انسولین می‌گردد؛ بنابراین، از این نوع تمرینات می‌توان به عنوان مداخلات تمرینی کمکی در کنترل و کاهش عوارض مرتبط با اضافه وزن و چاقی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تمرینات عملکردی، گرملین-۱، مقاومت به انسولین، اضافه وزن و چاقی، زنان.

* نویسنده مسئول، آدرس: زابل، دانشگاه زابل، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه علوم ورزشی؛
پست الکترونیک: javadnakhzari@uoz.ac.ir
https://doi.org/10.22077/jpsbs.2023.6774.1824

مقدمه

امروزه چاقی یکی از بزرگترین معضلات بهداشت جهانی است و شیوع آن در حال افزایش است. چاقی به عنوان تجمع بیش از حد بافت چربی در بدن و به دلیل عدم تعادل طولانی مدت بین کالری دریافتی و انرژی مصرفی (بالاتر بودن کالری دریافتی)، تعریف می‌شود (آرچر و لاویه[1]، ۲۰۲۲؛ خلفی و دیگران ۲۰۲۳) که عوامل مختلفی از جمله عوامل ژنتیکی، غدد درون ریز، متابولیکی، رفتاری، روانی و اجتماعی - فرهنگی در آن نقش دارند. چاقی عامل اصلی افزایش شیوع مقاومت به انسولین، دیابت نوع دوم و عوارض مرتبط با آن، از جمله بیماری قلبی - عروقی و بیماری کبد چرب غیر الکلی است (مارسلین[2] و دیگران، ۲۰۲۲).

مطالعات نشان داده‌اند که بافت چربی نه تنها می‌تواند چربی را ذخیره کند، بلکه یک اندام غدد درون‌ریز نیز می‌باشد که انواع عوامل فعال زیستی را ترشح می‌کند؛ که در مجموع، به عنوان آدیپوکاین شناخته می‌شوند (چنگ و یو[3]، ۲۰۲۲). گرملین[4] یکی از آدیپوکاین‌هایی است که ارتباط آن با چاقی و اضافه وزن و بیماری‌های متابولیک، اخیراً توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است (حجازی فر و دیگران، ۲۰۲۰؛ گریلو[5] و دیگران، ۲۰۲۲). گرملین-۱ یک آنتاگونیست درون زای ترشح شده اصلی است که اثر پروتئین مورفوژنتیک استخوانی-۴[6] (BMP-4) را مهار کرده و منجر به توقف تمایز سلول‌های پیش ساز و اختلال در تبدیل چربی سفید به چربی قهوه‌ای می‌گردد (حجازی فر و دیگران، ۲۰۲۰؛ گریلو و دیگران، ۲۰۲۲). مطالعات نشان داده‌اند که گرملین-۱ در اختلال عملکرد انسولین و گسترش مقاومت به انسولین نقش دارد (کرمی و دیگران، ۲۰۲۲). مطالعات اخیر نشان داده است که گرملین-۱، سیگنال‌دهی و عملکرد انسولین را در بافت چربی، ماهیچه‌ها و سلول‌های کبد مختل می‌کند و سطوح بالای سرمی آن در بیماران مبتلا به دیابت نوع دو؛ مشاهده شده است (حجازی فر و دیگران، ۲۰۲۰؛ الرجایی[7] و دیگران، ۲۰۲۰). شواهد رو به رشد، نقش محوری گرملین-۱ را در هموستاز بافت چربی برجسته کرده است و از نقش آن در اختلال عملکرد بافت چربی در بیماری های دیابت نوع دوم، چاقی، و اختلالات متابولیکی کبد چرب غیر الکلی؛ حمایت می‌کند (گریلو و دیگران، ۲۰۲۲).

بر اساس اطلاعات محققین، داده‌های بالینی کمی در مورد نقش گرملین-۱ در ایجاد چربی و سندرم مقاومت به انسولین وجود دارد. الرجایی و دیگران (۲۰۲۲) گزارش کرده اند که توده چربی و شاخص گلایسمیک[8]، با سطوح گرملین-۱، هم در افراد مبتلا به دیابت نوع دوم و هم در افراد سالم؛ همبستگی مثبت دارد؛ به گونه ای که مشخص گردید بیماران دیابتی با کنترل گلایسمیک ضعیف، سطوح پلاسمایی گرملین-۱ بالاتری نسبت به بیماران با کنترل گلایسمیک خوب دارند. به علاوه، مطالعات نشان از آن دارند که سطوح گرملین-۱ با چاقی افزایش می‌یابد (گوستافسون[9] و دیگران، ۲۰۱۵) و این تغییر، با ایجاد اختلال در سیگنال دهی انسولین، منجر به مقاومت به انسولین می‌شود (حجازی فر و دیگران، ۲۰۲۰).

با وجود پیشرفت‌های علمی، توسعه پروتکل‌های پیشگیری و مدیریت مؤثر چاقی؛ کمتر موفق بوده است. تغییر در سبک زندگی شامل اجرای تمرینات منظم ورزشی، مداخله غذایی یا ترکیبی از هر دو؛ از مهم تین تدابیر برای رفع این مشکلات می باشند (خلفی و دیگران،۲۰۲۳). ورزش منظم دارای مزایای سلامتی مثبت بسیاری، مانند افزایش مصرف انرژی و کاهش در شاخص‌های التهابی است که به مدیریت عوارض چاقی کمک می‌کند (یو[10] و دیگران، ۲۰۱۳؛ چن[11] و دیگران، ۲۰۱۸). علیرغم این که تحقیقات زیادی در رابطه با اثر روش‌های تمرین سنتی در افراد چاق و دارای اضافه وزن انجام شده است؛ اخیرا استفاده از تمرینات عملکردی با شدت بالا[12] (HIFT) مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. تمرینات عملکردی شامل تمرینات مقاومتی است که از حمایت توده بدن فرد یا وسایلی که حمل آنها آسان است، استفاده می‌کند و شامل تمرینات متنوعی است که می‌توان در مکان‌های مختلف آموزش و انجام داد (نوری و دیگران، ۲۰۲۲). این ویژگی ها به دلیل حرکات چند مفصلی و چند جهته، به فعالیت‌های روزمره، شغلی و تفریحی افراد نزدیک تر

1. Archer and Lavie
2. Marcelin
3. Cheng and Yu
4. Gremlin
5. Grillo
6. Bone morphogenetic protein-4
7. Al-Regaiey
8. Glycemic index
9. Gustafson
10. You
11. Chen
12. High intensity functional training

است و جایگزین مناسبی برای تمرینات بدنی برای افراد چاق شناخته می‌شود (وستفال[1] و دیگران، ۲۰۲۰). این نوع تمرینات که بر بهبود عملکرد در فعالیت‌های روزانه زندگی تأکید دارند، با تنظیم حجم کار در سریع ترین زمان ممکن، به اجرا درمی آیند و توانایی‌های فرد را در یک دوره زمانی محدود یا با تعداد محدود تکرار اجزای مختلف آمادگی جسمانی، از جمله استقامت قلبی تنفسی، قدرت عضلانی، سرعت، هماهنگی، توان بی‌هوازی، چابکی و انعطاف پذیری؛ به چالش می‌کشند (موراوسکا[2] و دیگران، ۲۰۲۱). در طول دوره کاهش وزن، تمرینات عملکردی مقاومتی می‌توانند بافت بدون چربی را حفظ کرده و یا افزایش دهد، و عملکرد بدنی را بهبود بخشد (لااسکالا[3] و دیگران، ۲۰۲۰؛ کرنتی[4] و دیگران، ۲۰۲۰). به تازگی گزارش شده است که تمرینات عملکردی در کاهش درصد چربی افراد چاق موثر است و می توان از آن به عنوان یک استراتژی بالقوه مفید برای مبارزه با چاقی و التهاب استفاده کرد (پسناکیدیس[5] و دیگران، ۲۰۲۲). سعیدی و دیگران (۲۰۲۳)، کاهش معنی‌داری در وزن، شاخص توده بدنی[6] (BMI)، درصد چربی بدن، گلوکز ناشتا و مقاومت به انسولین مران چاق؛ به دنبال ۱۲ هفته تمرینات عملکردی گزارش کرده اند. با این حال، فیتو[7] و دیگران (۲۰۱۹) پس از هشت هفته HIFT، تغییر معنی‌داری در وزن، ترکیب بدن و گلوکز ناشتا؛ در بزرگسالان دارای اضافه وزن و چاق، گزارش نکرده اند. این گزارش ها دال بر آن هستند که مطالعات بیشتری باید انجام شود تا اثرات این نوع تمرینات بر ترکیب بدن، کنترل گلوکز و تعدیل آدیپوکاین‌ها در بزرگسالان دارای اضافه وزن و چاق؛ اثبات گردد.

تأثیر HIFT بر سطح گرملین-۱ نیز بررسی شده؛ اما اطلاعات کمی در این زمینه وجود دارد. اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه، اثر تمرینات دیگری غیر از HIFT را بر سطوح گرملین-۱ بررسی کرده‌اند و یافته ها نیز تا حدی متفاوت می‌باشد. سعیدی و دیگران (۲۰۲۳) تاثیر انواع مختلف تمرین مقاومتی بر سطوح گرملین-۱ در مردان چاق را مورد بررسی قرار داده و کاهش معنی دار سطوح گرملین-۱ را پس از تمرین مقاومتی گزارش کرده‌اند. با این حال، فابر[8] و دیگران (۲۰۲۰) تاثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر بیان ژن گرملین-۱ سلول‌های عضلانی در مردان سالم را بررسی کرده و افزایش بیان آن را مشاهده نموده‌اند. این شواهد دال بر عدم قطعیت در یافته‌ها می‌باشد؛ اما احتمال می رود فعالیت بدنی اثرات مفید خود در مدیریت و کنترل چاقی را، از طریق تعدیل شاخص هایی از جمله گرملین-۱ اعمال کند. نتایج مطالعه بیشتر در این زمینه ممکن است بینش جدیدی را در تحقیقات آتی فیزیولوژی ورزش، در مورد مکانیسم‌های تعدیل مسیرهای پایین دستی، برای درمان چاقی، ایجاد نماید. با توجه به مواردی از جمله اهمیت و جایگاه تمرینات عملکردی در الگوهای حرکتی و فعالیت‌های حرکتی روزمره زندگی، و اثر مستقیم شدت این تمرینات ورزشی در بهبود حساسیت به انسولین و متغیرهای متابولیک (موراوسکا و دیگران، ۲۰۲۱)؛ و همچنین، نقش گرملین-۱ در مدیریت چاقی و اضافه وزن؛ مطالعات بیشتری در این حوزه ضروری به نظر می‌رسد. از این رو، هدف از مطالعه حاضر، بررسی تاثیر HIFT بر سطوح گرملین-۱ و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن و چاق بود.

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع تحقیقات نیمه تجربی با طرح پیش آزمون- پس آزمون با دو گروه (تجربی و کنترل) بود. جامعه آماری مطالعه حاضر، شامل زنان سالم و غیرفعال دارای اضافه وزن و چاق، با BMI بین ۲۵ تا ۳۵ کیلوگرم بر متر مربع، در دامنه سنی ۳۵ تا ۴۰ سال بود. معیارهای ورود به تحقیق شامل عدم ابتلا به بیماری‌های سوخت‌وسازی و قلبی-عروقی، نداشتن ناهنجاری‌های عضلانی-اسکلتی، و هر گونه سابقه بیماری و عمل جراحی موثر بر نتایج تحقیق، عدم مصرف هر گونه مکمل غذایی، و عدم مصرف منظم داروهای کافئین دار طی شش هفته مانده به تحقیق و حین اجرای پروتکل ها، نداشتن سابقه شرکت منظم در تمرینات ورزشی طی شش ماه قبل از مطالعه، و عدم اعتیاد به دخانیات یا مصرف الکل بود. معیارهای خروج از مطالعه، شامل عدم شرکت منظم در تمرینات، ابتلا به بیماری‌های محدودکننده فعالیت بدنی، و عدم تمایل به ادامه شرکت در تحقیق بود.

پس از اطلاع رسانی و فراخوانی در سطح شهر تبریز، از

1. Westphal
2. Murawska
3. La Scala
4. Caranti
5. Posnakidis
6. Body index mass
7. Feito
8. Faber

بین داوطلبان شرکت در پژوهش، افرادی که معیارهای ورود به تحقیق را داشتند، انتخاب شدند. در یک جلسه هماهنگی، کلیه اهداف و روش‌های اندازه‌گیری تحقیق برای شرکت‌کنندگان تشریح شد و رضایت نامه آگاهانه اخذ گردید. ضمن این که متغیر BMI شرکت کنندگان اندازه‌گیری شد و معاینات پزشکی لازم هم به عمل آمد. در ادامه، حجم نمونه با استفاده از نرم افزار G Power و با کمک اندازه اثر متغیرهای مطالعات پیشین، سطح آلفای ۰/۰۵ و توان ۰/۸؛ در مجموع ۲۴ نفر انتخاب شدند و به طور تصادفی به دو گروه تجربی (اجراکننده HIFT) و کنترل (هر گروه ۱۲ نفر) تقسیم شدند. شرکت کنندگان پرسشنامه یادآمد تغذیه‌ای ۲۴ ساعته، فرم رضایت نامه آگاهانه در طرح، و پرسشنامه آمادگی برای فعالیت بدنی[1] (PAR-Q) را تکمیل نمودند (توماس[2] و دیگران، ۱۹۹۲). یک هفته قبل از شروع طرح، جلسه آشنایی با برنامه ورزشی برگزار شد. در طول مطالعه دو نفر از گروه کنترل و دو نفر از گروه تجربی (به دلایل شخصی سه نفر و بیماری یک نفر) از حضور در طرح انصراف دادند. مطالعه حاضر پس از تایید در کمیته اخلاق پژوهشکده علوم حرکتی دانشگاه خوارزمی، با شناسه IR-KHU.KRC.1000.160 و اخذ کد کارآزمایی بالینی از مرکز ثبت کارآزمایی بالینی ایران با شناسه IRCT20220128053844N2، به اجرا درآمد.

پروتکل HIFT اجرا شده در تحقیق حاضر، از پروتکل تمرینی اسمیت[3] و دیگران (۲۰۲۲) اقتباس شده است و به مدت هشت هفته، با تکرار سه بار در هفته، به اجرا درآمد. برنامه تمرینی شامل چهار گروه حرکات ورزشی (مطابق جدول یک) بود. شدت تمرین برابر یا بیشتر از هفت، در مقیاس درک فشار اصلاح شده بورگ (۱۰ امتیازی) در نظر گرفته شد. ضربان قلب به روش پروتکل میدانی تعیین شد؛ بدین صورت که فرد حین اجرای یک آزمون ۳۰ دقیقه ای دوچرخه (پدال زدن) می‌بایست تلاش می کرد تا شدت حداکثر یا ضربان قلب بیشینه تمرین را به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه حفظ کند. بعد از اتمام آزمون، میانگین ضربان قلب کسب شده در مدت فوق، در عدد ۰/۹۵ ضرب شد تا ضربان قلب تمرینی بدست آید. از افراد خواسته شد که تمرینات را در محدوده نزدیک به این ضربان قلب حفظ کنند. روال تمرینات به این صورت بود که افراد در هفته اول تا دوم، هر چهار گروه تمرین را انجام می‌دادند؛ بدین صورت که بعد از انجام گروه اول تمرینات، به مدت سه دقیقه استراحت می‌کردند و سپس گروه دوم تمرینات را انجام می‌دادند. به همین صورت، هر چهار گروه تمرین را انجام دادند. زمان استراحت بین گروه‌های تمرینی، در هفته‌های اول تا سوم، سه دقیقه؛ در هفته چهارم، دو دقیقه و نیم؛ در هفته پنجم تا ششم، دو دقیقه؛ و در هفته هفتم تا هشتم، یک دقیقه و نیم؛ در نظر گرفته شد (جدول یک). تمرینات هر گروه تمرینی، بلافاصله و بدون استراحت، پشت سرهم اجرا شد.

به منظور اندازه‌گیری متغیرهای بیوشیمیایی، فرآیند خون‌گیری پس از ۱۲ ساعت ناشتایی و طی دو مرحله پیش از شروع طرح و پس از اجرای پروتکل، ساعت هشت صبح در محل آزمایشگاه پشمینه دانشگاه علوم پزشکی تبریز، انجام شد. از ورید بازویی آزمودنی‌ها در وضعیت نشسته به میزان شش سی سی خون گرفته شد. نمونه های خونی پس از جمع آوری، سانتریفیوژ شدند و سرم جدا گردید و تا زمان اندازه گیری متغیرها، در فریزر ۸۰- درجه سانتی گراد نگهداری شدند. سطوح سرمی گرملین-۱ به روش الایزا[4] و با استفاده از کیت انسانی Elabscience ساخت آمریکا، با حساسیت ۰/۱۰ نانو گرم در میلی لیتر، و ضریب تغییرات درون سنجی و میان سنجی کمتر از ۱۰ درصد؛ اندازه‌گیری شد. غلظت انسولین سرم به روش الایزا و با استفاده از کیت انسانی Monobind ساخت آمریکا، با حساسیت ۰/۷۵ میکرو واحد بین‌المللی در میلی‌لیتر، و ضریب تغییرات درون سنجی و میان سنجی کمتر از ۶/۳ درصد؛ اندازه گیری شد. غلظت گلوکز سرم به روش کالریمتریک - آنزیماتیک اندازه‌گیری شد. شاخص مقاومت به انسولین با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (سافاریدیس[5] و دیگران، ۲۰۰۷).

مقاومت به انسولین = [گلوکز ناشتا (میلی مول/لیتر) x انسولین (میکروویونیت/میلی لیتر)] ÷ ۲۲/۵

به منظور بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها، از آزمون شاپیرو -ویلک[6] و از آزمون لون[7] هم برای بررسی همگنی واریانس‌ها استفاده شد. سپس برای مقایسه متغیرهای آنتروپومتریک آزمودنی‌ها در پیش آزمون، از آزمون t مستقل؛

1. Physical activity readiness questionnaire
2. Thomas
3. Smith
4. Elisa
5. Sarafidis
6. Shapiro–Wilk
7. Levene

جدول ۱. جزئیات پروتکل HIFT به اجرا درآمده

تمرینات هفته اول و دوم	زمان/تکرار	تمرینات هفته سوم به بعد	زمان/تکرار
گروه اول			
راه رفتن سریع	۳۰ ثانیه	دوی نرم	۳۰ ثانیه
گابلت اسکووات (اسکووات بدون دمبل)	۶ تکرار	گابلت اسکووات (اسکووات با دمبل یا کتل بل)	۶ تکرار
پرس سینه با دمبل	۸ تکرار	پرس سینه با دمبل بیشتر	۸ تکرار
پلانک	۲۰ ثانیه	پلانک + پای کوهنوردی	۱۰ ثانیه+۱۰ تکرار
گروه دوم			
راه رفتن سریع	۳۰ ثانیه	دوی نرم	۳۰ ثانیه
گام روی استپ	۶ تکرار	گام روی استپ با دمبل	۶ تکرار
روئینگ تی آر ایکس	۸ تکرار	روئینگ تی آر ایکس	۸ تکرار
شکم چرخشی روسی	۱۰ تکرار (هر سمت ۵ تکرار)	شکم چرخشی روسی با توپ مدیسن بال	۱۰ تکرار (هر سمت ۵ تکرار)
گروه سوم			
راه رفتن سریع	۳۰ ثانیه	دوی نرم	۳۰ ثانیه
ددلیفت با چوب	۶ تکرار	ددلیفت با چوب	۶ تکرار
پوش پرس با دمبل	۸ تکرار	پوش پرس با دمبل بیشتر	۸ تکرار
پلانک	۲۰ ثانیه	پلانک + پای کوهنوردی	۱۰ ثانیه+۱۰ تکرار
گروه چهارم			
راه رفتن سریع	۳۰ ثانیه	دوی نرم	۳۰ ثانیه
لانژ	۶ تکرار	لانژ	۶ تکرار
حرکت جلو بازو تی آر ایکس	۸ تکرار	حرکت جلو بازو تی آر ایکس	۸ تکرار
شکم چرخشی روسی	۱۰ تکرار (هر سمت ۵ تکرار)	شکم چرخشی روسی با توپ مدیسن بال	۱۰ تکرار (هر سمت ۵ تکرار)
استراحت بین گروه ها	هفته اول تا سوم		۳ دقیقه
	هفته چهارم		۲/۵ دقیقه
	هفته پنجم تا ششم		۲ دقیقه
	هفته هفتم تا هشتم		۱/۵ دقیقه

و برای مقایسه داده‌های دو گروه پس از مداخله، از آزمون تحلیل کوواریانس بهره‌برداری گردید. تمامی تحلیل‌ها در سطح معنی‌داری $p<۰/۰۵$ انجام شد و از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده گردید.

یافته ها

میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها قبل از مداخله در جدول دو گزارش شده است. نتایج آزمون t مستقل نشان داد که اختلاف معنی داری در مقادیر پایه این متغیرها، بین دو گروه مطالعه وجود ندارد.

نتایج آزمون تحلیل کوواریانس نشان داد که بعد از هشت هفته HIFT، وزن بدن (p=۰/۰۰۱)، BMI (p=۰/۰۰۱)، درصد چربی (p=۰/۰۰۱)، گلوکز ناشتا (p=۰/۰۰۱)، شاخص مقاومت به انسولین (p=۰/۰۰۱)، و غلظت گرملین-۱ (p=۰/۰۳)؛ در گروه تجربی نسبت به گروه کنترل، به طور معنی‌داری کاهش یافته است (جدول سه).

بحث

در مطالعه حاضر بعد از اجرای هشت هفته HIFT، غلظت گرملین-۱ کاهش یافت. در خصوص تأثیر HIFT بر سطوح گرملین-۱ در آزمودنی‌های دارای اضافه وزن و چاق، اطلاعات بسیار کمی وجود دارد و اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه، اثر تمرینات دیگری غیر از این تمرینات را بررسی کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به مطالعه فابر و دیگران

جدول ۲. توصیف و مقایسه مشخصات فردی شرکت‌کنندگان در ابتدای مطالعه

شاخص ها	گروه تمرین عملکردی (تعداد =۱۰ نفر)	گروه کنترل (تعداد= ۱۰ نفر)	مقادیر p
سن (سال)	۴۰/۸۷±۶/۸۷	۴۰/۹۱±۶/۵۲	۰/۹۸
قد (متر)	۱/۶۳±۰/۰۷	۱/۶۸±۰/۰۷	۰/۱۵
وزن (کیلوگرم)	۸۳/۳۲±۱۰/۲۱	۸۲/۴۱±۶/۱۲	۰/۸۰
BMI (کیلوگرم/متر مربع)	۳۱/۱۶±۳/۶۸	۲۹/۷۰±۲/۵۶	۰/۰۹
چربی بدن (درصد)	۳۷/۹۰±۴/۸۶	۳۵/۵۳±۳/۹۳	۰/۱۹

جدول ۳. توصیف و مقایسه شاخص‌های بیوشیمیایی و ترکیب بدنی آزمودنی‌ها قبل و پس از مداخله

شاخص‌ها	گروه تمرین عملکردی با شدت بالا		گروه کنترل			
مراحل اندازه‌گیری	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون	مقادیر F	p بین گروهی
وزن(کیلوگرم)	۸۳/۳۲±۱۰/۲۱	۸۰/۰۰±۱۰/۰۶	۸۲/۴۱±۶/۱۲	۸۳/۰۰±۵/۸۴	۹۸/۰۹	۰/۰۰۱*
BMI (کیلوگرم/متر مربع)	۳۱/۱۶±۳/۶۸	۲۹/۹۰±۳/۵۰	۲۹/۷۰±۲/۵۶	۲۹/۹۱±۲/۴۸	۷۹/۸۴	۰/۰۰۱*
چربی بدن (درصد)	۳۷/۹۰±۳/۶۱	۳۴/۲۲±۳/۸۰	۳۵/۵۳±۳/۹۳	۳۵/۷۵±۳/۹۳	۴۴/۰۳	۰/۰۰۱*
گلوکز ناشتا (میلی‌گرم / دسی‌لیتر)	۱۰۷/۲۵±۵/۰۰	۹۵/۷۵±۸/۰۱	۱۱۳/۷۵±۱۴/۷۵	۱۱۴/۶۷±۱۵/۲۹	۲۷/۴۱	۰/۰۰۱*
مقاومت به انسولین (HOMA-IR)	۱/۹۴±۰/۶۱	۱/۳۱±۰/۳۰	۱/۵۴±۰/۴۲	۱/۶۳±۰/۳۸	۱۶/۶۱	۰/۰۰۱*
گرملین-۱ (میلی‌گرم/نانوگرم)	۱/۵۷±۰/۴۳	۱/۲۵±۰/۱۷	۱/۴۸±۰/۴۸	۱/۵۱±۰/۵۲	۵/۲۷	۰/۰۳*

* نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه کنترل در سطح p <۰/۰۵.

(۲۰۲۰)، سعیدی و دیگران (۲۰۲۳)، و کرمی و دیگران (۲۰۲۲) اشاره نمود. سعیدی و دیگران (۲۰۲۳) کاهش معنی‌دار سطوح گرملین-۱ را در پس از ۱۲ هفته تمرین مقاومتی گزارش کرده‌اند. همچنین کرمی و دیگران (۲۰۲۲) ضمن بررسی تأثیر شدت‌های مختلف تمرین مقاومتی دایره‌ای در مردان چاق، کاهش معنی دار سطوح گرملین-۱ را به ویژه در شدت‌های بالاتر؛ گزارش نموده اند. برخی مطالعات نیز یافته‌های متفاوتی با مطالعه حاضر گزارش کرده‌اند. به طور مثال، فابر و دیگران (۲۰۲۰) تاثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر بیان ژن گرملین-۱ سلول‌های عضلانی در مردان سالم را بررسی کرده و افزایش بیان این شاخص و عدم تغییر معنی‌دار مقاومت به انسولین را گزارش کرده‌اند. فابر و دیگران (۲۰۲۰) تفاوت در نوع آزمودنی‌ها و تفاوت بیان گرملین-۱ در بافت‌های مختلف را از دلایل تفاوت یافته‌های شان با سایر مطالعات، بیان کرده‌اند. به نظر می‌رسد تفاوت در نوع آزمودنی‌ها از مهم‌ترین دلایل تفاوت در یافته ها باشد. در مطالعه حاضر، مشابه با مطالعاتی که کاهش معنی‌دار گرملین-۱ را گزارش کرده‌اند (سعیدی و دیگران، ۲۰۲۳؛ کرمی و دیگران، ۲۰۲۲) از آزمودنی‌های چاق و دارای اضافه وزن استفاده شد؛ اما در مطالعه فابر و دیگران (۲۰۲۰)، آزمودنی های سالم شرکت داشتند. کرمی و دیگران (۲۰۲۲) پیشنهاد کرده‌اند با توجه به این که بافت چربی به عنوان یکی از جایگاه‌های اصلی تولید و ترشح گرملین-۱ شناخته شده است، می‌توان

کاهش تودۀ چربی بدن ناشی از تمرینات ورزشی را به عنوان یکی از سازوکارهای اصلی کاهش سطوح گرملین-۱ در نظر گرفت. فیتو و دیگران (۲۰۱۸) و بن زیو و اوکان[1] (۲۰۲۱) گزارش کرده‌اند که HIFT شاخص‌های ترکیب بدن از جمله، توده چربی و درصد چربی بدن را بهبود می‌بخشد؛ از این رو، انتظار می‌رود کاهش سطح گرملین-۱ به واسطه کاهش توده چربی ناشی از اجرای این تمرینات باشد. در مطالعه حاضر نیز وزن، BMI و درصد چربی بدن به طور معنی‌داری کاهش یافت. علاوه بر این، برخی مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که ممکن است بین سطوح اینترلوکین-۶ و گرملین-۱ رابطه متقابلی وجود داشته باشد و پیشنهاد کرده‌اند که اینترلوکین-۶ در شرایط آزمایشگاهی، گرملین-۱ را تنظیم می‌نماید (اوریلی[2] و دیگران، ۲۰۱۴؛ هندرسون[3] و دیگران، ۲۰۲۱). اگرچه در مطالعه حاضر اینترلوکین-۶ اندازه‌گیری نشد؛ اما با توجه به نقش تمرینات ورزشی در کاهش التهاب سیستمیک درجه پایین و کاهش اینترلوکین-۶ به ویژه در آزمودنی‌های دارای اضافه وزن و چاق (سلطانی و دیگران، ۲۰۲۰؛ گونزالو[4] و دیگران، ۲۰۲۱)؛ می‌توان یکی از دلایل کاهش گرملین-۱ پس از تمرینات ورزشی را به تغییرات این آدیپوکاین نسبت داد. در مطالعه حاضر، شاخص مقاومت به انسولین پس از HIFT، به طور معنی داری کاهش یافت. برخی مطالعات مشابه با مطالعه حاضر، کاهش معنی‌دار شاخص مقاومت به انسولین را پس از HIFT گزارش کرده‌اند. سعیدی و دیگران (۲۰۲۳) کاهش معنی دار شاخص مقاومت به انسولین را پس از ۱۲ هفته HIFT در مردان چاق گزارش کرده اند. اسمیت و دیگران (۲۰۲۲) ضمن بررسی اثر ۱۲ هفته HIFT بر عوامل خطر متابولیک قلبی در مردان و زنان مبتلا به سندرم متابولیک؛ بهبود شاخص مقاومت به انسولین را مشاهده نموده‌اند. همچنین فیلی[5] و دیگران (۲۰۱۸) با بررسی میزان اثربخشی مداخله شش هفته‌ای HIFT بر عوامل خطر متابولیک قلبی، بهبود معنی‌دار حساسیت به انسولین و بهبود غیرمعنی‌دار گلوکز ناشتا را گزارش کرده‌اند. فیلی و دیگران (۲۰۱۸) در مطالعه خود، ضمن بررسی اثر ۶ هفته HIFT بر مقاومت به انسولین و عوامل خطر متابولیک قلبی در بیماران مبتلا به دیابت نوع دوم، علاوه بر بهبود مقاومت به انسولین، کاهش توده چربی کل و حفظ توده بدون چربی را هم گزارش کرده و پیشنهاد نموده اند که این نوع تمرینات در تنظیم گلوکز خون و به تبع آن، مقاومت به انسولین موثر است. اخیراً نیووت[6] و دیگران (۲۰۱۷) کاهش توده چربی بدن و بهبود عملکرد سلول‌های بتا را پس از شش هفته HIFT در بزرگسال کم تحرک مبتلا به دیابت نوع دو، گزارش کرده‌اند که ممکن است یکی از دلایل بهبود مقاومت به انسولین پس از این تمرینات باشد. مطالعات پیشنهاد کرده‌اند که بهبود سلامت بافت چربی، افزایش آدیپونکتین و افزایش اکسیداسیون چربی ناشی از سازگاری به HIFT؛ ممکن است در بهبود مقاومت به انسولین نقش داشته باشند (فیلی و دیگران، ۲۰۱۸). از طرف دیگر، نشان داده شده است که HIFT منجر به کاهش توده چربی (کاپسیس[7] و دیگران، ۲۰۲۲) و افزایش توده عضلانی (کاپسیس و دیگران، ۲۰۲۲؛ بریسبویس[8] و دیگران، ۲۰۱۸) می‌گردند و این عوامل همراه با افزایش انتقال دهنده‌های گلوکز، موجب بهبود مقاومت به انسولین می شوند (رودریگوئز[9] و دیگران، ۲۰۲۲). حجازی فر و دیگران (۲۰۲۰) گرملین-۱ را به عنوان یک آدیپوکاین برجسته و آنتاگونیست ترشح شده سلولی سیگنالینگ انسولین در سلول‌های چربی، عضلات اسکلتی و سلول‌های کبدی معرفی کرده و پیشنهاد نموده اند که این شاخص، سیگنال‌دهی و عمل انسولین را با مخالفت با اثرات مثبت BMP4، بازداری می‌کند. با این حال، برای اثبات این فرضیه به تحقیقات بیشتری نیاز است. در کل، در خصوص مکانیسم‌های بهبود حساسیت به انسولین به دنبال HIFT اطلاعات بسیار کمی در دست است و انجام مطالعات بیشتر، ضروری می باشد.

در مطالعه حاضر بعد از هشت هفته HIFT، وزن بدن، BMI و درصد چربی بدن در زنان دارای اضافه وزن و چاق به طور معنی داری کاهش یافت. مطالعات مختلف تاثیر HIFT بر ترکیب بدنی را بررسی کرده و نتایج متفاوتی گزارش شده است. سوبررو[10] و دیگران (۲۰۱۷) کاهش ۱۲/۵۴ درصد چربی بدن را پس از شش هفته HIFT مشاهده کرده اند و این بهبودی را بیشتر به افزایش توده بدون چربی بدن؛

1. Ben-Zeev and Okun
2. O'Reilly
3. Henderson
4. Gonzalo
5. Fealy
6. Nieuwoudt
7. Kapsis
8. Brisebois
9. Rodriguez
10. Sobrero

نسبت داده‌اند. این یافته‌ها مشابه برنامه‌های تمرین مقاومتی سنتی است که در آن، بهبود درصد چربی بدن تا حد زیادی به افزایش توده بدون چربی بدن، با تغییر کم در توده چربی؛ نسبت داده می‌شود (بریسبویس و دیگران، ۲۰۱۸). با این حال، نیووت و دیگران (۲۰۱۷) کاهش درصد چربی بدن را به دنبال یک برنامه شش هفته ای HIFT، مشاهده کرده اند که عمدتاً به دلیل کاهش در چربی، همراه با عدم تغییر در توده بدون چربی بدن همراه بوده است. کاپسیس و دیگران (۲۰۲۲) کاهش معنی دار چربی کل بدن و عدم تغییر معنی دار وزن بدن را پس از ۱۲ هفته HIFT در مردان و زنان فعال گزارش کرده اند. از طرف دیگر، فیتو و دیگران (۲۰۱۹) هیچ گونه تغییر معنی‌داری در وزن، BMI و درصد چربی بزرگسالان دارای اضافه وزن و چاق گزارش نکرده اند. این محققان مشاهده چنین یافته هایی را به چندین محدودیت بالقوه در تحقیق خود نسبت داده اند. به گفته این محققان، به دلیل ماهیت آزمایشی و کوچک بودن نمونه مطالعه، امکان تعمیم نتایج به افراد دارای اضافه وزن و چاق وجود ندارد. ضمن این که پرسشنامه استاندارد شده فعالیت بدنی برای فرآیند غربالگری در مطالعه فوق مورد استفاده قرار نگرفته و احتمالاً این باعث شده شرکت کنندگان در زمان ثبت نام در مطالعه، سطح فعالیت بدنی خود را کمتر گزارش کرده باشند. نهایتاً این که گروه‌های مطالعه فوق، توزیع جنسی نابرابر داشته اند (فیتو و دیگران، ۲۰۱۹). به نظر می‌رسد تفاوت در روش‌های اندازه گیری ترکیب بدن، تفاوت در حجم برنامه‌های تمرینات عملکردی، سابقه فعالیت بدنی شرکت کنندگان، ترکیب بدن اولیه آزمودنی‌ها و عدم کنترل رژیم غذایی؛ از مهم‌ترین دلایل تفاوت در این یافته‌ها باشد. در مطالعه حاضر آزمودنی‌های چاق و دارای اضافه شرکت داشتند و به نظر می‌رسد این چاقی و اضافه وزن اولیه آزمودنی‌ها، در بهبود ترکیب بدنی ناشی از HIFT تعیین کننده بوده است. یکی از محدودیت‌های دیگر مطالعه حاضر، عدم کنترل دقیق سطح فعالیت بدنی آزمودنی ها خارج از پروتکل تمرینی بود که ممکن است در نتایج مطالعه حاضر نقش داشته باشد.

نتیجه گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که اجرای هشت هفته HIFT در زنان دارای اضافه وزن و چاق، در بهبود سطح گرملین-۱، مقاومت به انسولین و ترکیب بدنی موثر می باشد و این دال بر آن است که این تمرینات می‌تواند به عنوان روشی موثر در کنترل و کاهش عوارض مرتبط با اضافه وزن و چاقی؛ مورد توجه قرار گیرد.

تعارض منافع

نویسندگان در این پژوهش هیچگونه تعارض منافعی را اعلام نکرده‌اند.

قدردانی و تشکر

این تحقیق مستخرج از یک طرح پژوهشی در دانشگاه فنی حرفه‌ای استان آذربایجان شرقی می‌باشد. بدینوسیله از دانشگاه فنی حرفه‌ای استان آذربایجان شرقی و تمامی افرادی که محققین را در انجام پژوهش حاضر یاری نموده‌اند؛ تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Al-Regaiey, K.A., Habib, S.S., Alshamasi, A.R., Alnuwaybit, A.F., Alwhaibi, B.A., Alsulais, N.M., ... & Iqbal, M. (2022). Relationship of plasma Gremlin 1 levels with body adiposity and glycemic control in Saudi female type 2 diabetes patients. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, **3429-3436. https://doi.org/10.2147/DMSO.S372146**

Archer, E., & Lavie, C.J. (2022). Obesity subtyping: The etiology, prevention, and management of acquired versus inherited obese phenotypes. *Nutrients, 14*(11), 2286. **https://doi.org/10.3390/nu14112286**

Ben-Zeev, T., & Okun, E. (2021). High-intensity functional training: Molecular mechanisms and benefits. *Neuromolecular Medicine, 23*(3), 335-338. **https://doi.org/10.1007/s12017-020-08638-8**

Brisebois, M.F., Rigby, B.R., & Nichols, D.L. (2018). Physiological and fitness adaptations after eight weeks of high-intensity functional training in physically inactive adults. *Sports, 6*(4), 146. **https://doi.org/10.3390/sports6040146**

Chen, P.B., Yang, J.S., & Park, Y. (2018). Adaptations of skeletal muscle mitochondria to obesity, exercise, and polyunsaturated fatty acids. *Lipids, 53*(3), 271-278. https://doi.org/10.1002/lipd.12037

Cheng, J.X., & Ke, Y. (2022). New discovered adipokines associated with the pathogenesis of obesity and type 2 diabetes. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 2381-2389. https://doi.org/10.2147/DMSO.S376163

Duffy, L., Henderson, J., Brown, M., Pryzborski, S., Fullard, N., Summa, L., & O'Reilly, S. (2021). Bone morphogenetic protein antagonist gremlin-1 increases myofibroblast transition in dermal fibroblasts: implications for systemic sclerosis. *Frontiers in Cell and Developmental Biology, 9*, 681061. https://doi.org/10.3389/fcell.2021.681061

Fabre, O., Giordani, L., Parisi, A., Pattamaprapanont, P., Ahwazi, D., Brun, C., ... & Barrès, R. (2020). GREM1 is epigenetically reprogrammed in muscle cells after exercise training and controls myogenesis and metabolism. *BioRxiv*, 2020-02. https://doi.org/10.1101/2020.02.20.956300

Fealy, C.E., Nieuwoudt, S., Foucher, J.A., Scelsi, A.R., Malin, S.K., Pagadala, M., & Kirwan, J.P. (2018). Functional high-intensity exercise training ameliorates insulin resistance and cardiometabolic risk factors in type 2 diabetes. *Experimental Physiology, 103*(7), 985-994. http://doi.org/10.1113/EP087063.

Feito, Y., Heinrich, K., Butcher, S., & Poston, W. (2018). High-intensity functional training (hift): definition and research implications for improved fitness. *Sports, 6*(3), 76. https://doi.org/10.3390/sports6030076

Feito, Y., Patel, P., Sal Redondo, A., & Heinrich, K.M. (2019). Effects of eight weeks of high intensity functional training on glucose control and body composition among overweight and obese adults. *Sports, 7*(2), 51. https://doi.org/10.3390/sports7020051

Gonzalo-Encabo, P., Maldonado, G., Valadés, D., Ferragut, C., & Pérez-López, A. (2021). The role of exercise training on low-grade systemic inflammation in adults with overweight and obesity: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(24), 13258. https://doi.org/10.3390/ijerph182413258

Grillo, E., Ravelli, C., Colleluori, G., D'Agostino, F., Domenichini, M., Giordano, A., & Mitola, S. (2023). Role of gremlin-1 in the pathophysiology of the adipose tissues. *Cytokine & Growth Factor Reviews, 69*, 51-60. https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2022.09.004

Gustafson, B., Hammarstedt, A., Hedjazifar, S., Hoffmann, J.M., Svensson, P.A., Grimsby, J., ... & Smith, U. (2015). BMP4 and BMP antagonists regulate human white and beige adipogenesis. *Diabetes, 64*(5), 1670-1681. https://doi.org/10.2337/db14-1127

Hedjazifar, S., Khatib Shahidi, R., Hammarstedt, A., Bonnet, L., Church, C., Boucher, J., & Smith, U. (2020). The novel adipokine Gremlin 1 antagonizes insulin action and is increased in type 2 diabetes and NAFLD/NASH. *Diabetes, 69*(3), 331-341. https://doi.org/10.2337/db19-0701

Iwabu, M., Yamauchi, T., Okada-Iwabu, M., Sato, K., Nakagawa, T., Funata, M., ... & Kadowaki, T. (2010). Adiponectin and AdipoR1 regulate PGC-1α and mitochondria by Ca2+ and AMPK/SIRT1. *Nature, 464*(7293), 1313-1319. https://doi.org/10.1038/nature08991

Kapsis, D.P., Tsoukos, A., Psarraki, M.P., Douda, H.T., Smilios, I., & Bogdanis, G.C. (2022). Changes in body composition and strength after 12 weeks of high-intensity functional training with two different loads in physically active men and women: A randomized controlled study. *Sports, 10*(1), 7. https://doi.org/10.3390/sports10010007

Karami, M., Daloii, A.A., & Saeidi, A. (2022). The effect of different intensity circuit resistance training on gremlin-1, Macrophage migration inhibitory factor and some cardiovascular risk factors in obese men. *Journal of Sport & Exercise Physiology, 15*(3), 1-10. https://doi.org/10.52547/joeppa.15.3.1

Khalafi, M., Symonds, M.E., Ghasemi, F., Rosenkranz, S.K., Rohani, H., & Sakhaei, M.H. (2023). The effects of exercise training on postprandial glycemia and insulinemia in adults with overweight or obesity and with cardiometabolic disorders: a systematic review and meta-analysis. *Diabetes Research and Clinical Practice, 201,* 110741. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2023.110741

La Scala Teixeira, C.V., Caranti, D.A., Oyama, L.M., Padovani, R.D.C., Cuesta, M.G. S., Moraes, A.D.S., ... & Gomes, R.J. (2020). Effects of functional training and 2 interdisciplinary interventions on maximal oxygen uptake and weight loss of women with obesity: a randomized clinical trial. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 45*(7), 777-783.doi: https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0766

Marcelin, G., Gautier, E.L., & Clément, K. (2022). Adipose tissue fibrosis in obesity: etiology and challenges. *Annual Review of Physiology*, *84*, 135-155. https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-060721-092930

Murawska-Cialowicz, E., de Assis, G.G., Clemente, F.M., Feito, Y., Stastny, P., Zuwala-Jagiello, J., ... & Wolanski, P. (2021). Effect of four different forms of high intensity training on BDNF response to Wingate and Graded Exercise Test. *Scientific Reports, 11*(1), 8599. https://doi.org/10.1038/s41598-021-88069-y

Nieuwoudt, S., Fealy, C.E., Foucher, J.A., Scelsi, A.R., Malin, S.K., Pagadala, M., ... & Kirwan, J.P. (2017). Functional high-intensity training improves pancreatic β-cell function in adults with type 2 diabetes. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 313*(3), E314-E320. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00407.2016

O'Reilly, S., Ciechomska, M., Cant, R., & van Laar, J.M. (2014). Interleukin-6 (IL-6) trans signaling drives a STAT3-dependent pathway that leads to hyperactive transforming growth factor-β (TGF-β) signaling promoting SMAD3 activation and fibrosis via Gremlin protein. *Journal of Biological Chemistry, 289*(14), 9952-9960. https://doi.org/10.1074/jbc.M113.545822

Posnakidis, G., Aphamis, G., Giannaki, C.D., Mougios, V., Aristotelous, P., Samoutis, G., & Bogdanis, G.C. (2022). High-intensity functional training improves cardiorespiratory fitness and neuromuscular performance without inflammation or muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research, 36*(3), 615-623. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003516

Rodriguez, J., Neyrinck, A.M., Van Kerckhoven, M., Gianfrancesco, M.A., Renguet, E., Bertrand, L., & Delzenne, N.M. (2022). Physical activity enhances the improvement of body mass index and metabolism by inulin: a multicenter randomized placebo-controlled trial performed in obese individuals. *BMC Medicine, 20*(1), 1-20. https://doi.org/10.1186/s12916-022-02299-z

Saeidi, A., Nouri-Habashi, A., Razi, O., Ataeinosrat, A., Rahmani, H., Mollabashi, S. S., & Zouhal, H. (2023). Astaxanthin supplemented with high-intensity functional training decreases adipokines levels and cardiovascular risk factors in men with obesity. *Nutrients, 15*(2), 286. https://doi.org/10.3390/nu15020286

Saeidi, A., Seifi-Ski-Shahr, F., Soltani, M., Daraei, A., Shirvani, H., Laher, I., ... & Zouhal, H. (2023). Resistance training, gremlin 1 and macrophage migration inhibitory factor in obese men: a randomised trial. *Archives of Physiology and Biochemistry, 129*(3), 640-648. https://doi.org/10.1080/13813455.2020.1856142

Sarafidis, P.A., Lasaridis, A.N., Nilsson, P.M., Pikilidou, M.I., Stafilas, P.C., Kanaki, A., & Bakris, G.L. (2007). Validity and reproducibility of HOMA-IR, 1/HOMA-IR, QUICKI and McAuley's indices in patients with hypertension and type II diabetes. *Journal of Human Hypertension, 21*(9), 709-716. https://doi.org/10.1038/sj.jhh.1002201

Shahsavar, M.R S. (2022). The effect of caloric restriction along with functional training and acidic and alkaline diet on body composition, lipid concentration andC-reactive protein in overweight adults1. *Applied Biology, 12*(48), 81-102. [In Persian]. https://journals.iau.ir/article_703684.html.

Smith, L.E., Van Guilder, G.P., Dalleck, L.C., & Harris, N.K. (2022). The effects of high-intensity functional training on cardiometabolic risk factors and exercise enjoyment in men and women with metabolic syndrome: study protocol for a randomized, 12-week, dose-response trial. *Trials, 23*(1), 182. https://doi.org 10.1186/s13063-022-06100-7

Sobrero, G., Arnett, S., Schafer, M., Stone, W., Tolbert, T.A., Salyer-Funk, A., & Maples, J. (2017). A comparison of high intensity functional training and circuit training on health and performance variables in women: a pilot study. *Women in Sport and Physical Activity Journal, 25*(1), 1-10. https://doi.org/10.1123/wspaj.2015-0035

Soltani, N., Marandi, S.M., Kazemi, M., & Esmaeil, N. (2020). The exercise training modulatory effects on the obesity-induced immunometabolic dysfunctions. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity, 13,* 785-810. https://doi.org/10.2147/DMSO.S234992

Thomas, S., Reading, J. & Shephard, R.J. (1992). Revision of the physical activity readiness questionnaire (PAR-Q). *Canadian Journal of Sport Sciences (Journal Canadien des Sciences du Sport), 17*(4), 338-345.

Westphal, G., Baruki, S.B. S., de Mori, T.A., de Lima Montebelo, M.I., & Pazzianotto-Forti, E.M. (2020). Effects of individualized functional training on the physical fitness of women with obesity. *Lecturas: Educación Física y Deportes, 25*(268). https://doi.org/10.46642/efd.v25i268.2084

You, T., Arsenis, N. ., Disanzo, B.L., & LaMonte, M.J. (2013). Effects of exercise training on chronic inflammation in obesity: current evidence and potential mechanisms. *Sports Medicine, 43*, 243-256. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0023-3