



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

Javad Nakhzari Khodakheir^{1*}, Mehdi Zarei², Hamid Reza Zolfi³, Amir Shakib⁴

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, National University of Skills (NUS), 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>





تمرینات عملکردی با شدت بالا بر سطوح گرمین-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 گرمین-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 گرمین-۱ و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن و چاق بود. **روش تحقیق:** در این مطالعه نیمه تجربی، 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 گرمین-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 $p < 0.05$ استفاده شد. **یافته‌ها:** بعد از هشت هفته تمرینات عملکردی با شدت بالا، وزن بدن ($p = 0.001$)، شاخص توده بدنی ($p = 0.001$)، درصد چربی ($p = 0.001$)، گلوکز ناشتا ($p = 0.001$)، شاخص مقاومت به انسولین ($p = 0.001$) و غلظت گرمین-۱ ($p = 0.003$)؛ در گروه تجربی نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری کاهش یافت. **نتیجه‌گیری:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد تمرینات عملکردی با شدت بالا در زنان دارای اضافه وزن و چاق، منجر به بهبود سطوح گرمین-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، گرمین-۱، مقاومت به انسولین، اضافه وزن و چاقی، زنان.

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 (بالا تر بودن کالری دریافتی)، تعریف می شود (آرچر و لایوه^۱، ۲۰۲۲؛ خلفی و دیگران^۲، ۲۰۲۳) که عوامل مختلفی از جمله عوامل ژنتیکی، غدد درون ریز، متابولیسم، 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^۳ و دیگران، ۲۰۲۲).

مطالعات نشان داده اند که بافت چربی نه تنها می تواند چربی را ذخیره کند، بلکه یک اندام غدد درون ریز نیز می باشد که انواع عوامل فعال زیستی را ترشح می کند؛ که در مجموع، به عنوان آدیپوکاین شناخته می شوند (چنگ و یو^۴، ۲۰۲۲). گرمین^۵ یکی از آدیپوکاین های است که ارتباط آن با چاقی و اضافه وزن و بیماری های متابولیک، اخیراً توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است (حجازی فر و دیگران، ۲۰۲۰؛ گریلو^۶ و دیگران، ۲۰۲۲). گرمین-۱ یک آنتاگونیست درون زای ترشح شده اصلی است که اثر پروتئین مورفوژنتیک استخوانی-۴ (BMP-4) را مهار کرده و منجر به توقف تمایز سلول های پیش ساز و اختلال در تبدیل چربی سفید به چربی قهوه ای می گردد (حجازی فر و دیگران، ۲۰۲۰؛ گریلو و دیگران، ۲۰۲۲). مطالعات نشان داده اند که گرمین-۱ در اختلال عملکرد انسولین و گسترش مقاومت به انسولین نقش دارد (کرمی و دیگران، ۲۰۲۲). مطالعات اخیر نشان داده است که گرمین-۱، سیگنال دهی و عملکرد انسولین را در بافت چربی، ماهیچه ها و سلول های کبد مختل می کند و سطوح بالای سرمی آن در بیماران مبتلا به دیابت نوع دو؛ مشاهده شده است (حجازی فر و دیگران، ۲۰۲۰؛ الرجایی^۷ و دیگران، ۲۰۲۰). شواهد رو به رشد، نقش محوری گرمین-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 می کند (گریلو و دیگران، ۲۰۲۲).

بر اساس اطلاعات محققین، داده های بالینی کمی در مورد نقش گرمین-۱ در ایجاد چربی و سندرم مقاومت به انسولین وجود دارد. الرجایی و دیگران (۲۰۲۲) گزارش کرده اند که توده چربی و شاخص گلاسمیک^۸، با سطوح گرمین-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 گلاسمیک ضعیف، سطوح پلاسمایی گرمین-۱ بالاتری نسبت به بیماران با کنترل گلاسمیک خوب دارند. به علاوه، مطالعات نشان از آن دارند که سطوح گرمین-۱ با چاقی افزایش می یابد (گوستافسون^۹ و دیگران، ۲۰۱۵) و این تغییر، با ایجاد اختلال در سیگنال دهی انسولین، منجر به مقاومت به انسولین می شود (حجازی فر و دیگران، ۲۰۲۰).

با وجود پیشرفت های علمی، توسعه پروتکل های 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 ترین 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 شاخص های التهابی است که به مدیریت عوارض چاقی کمک می کند (یو^{۱۰} و دیگران، ۲۰۱۳؛ چن^{۱۱} و دیگران، ۲۰۱۸). علیرغم این که تحقیقات زیادی در رابطه با اثر روش های تمرین سنتی در افراد چاق و دارای اضافه وزن انجام شده است؛ اخیراً استفاده از تمرینات عملکردی با شدت بالا^{۱۲} (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 می کند و شامل تمرینات متنوعی است که می توان در مکان های مختلف آموزش و انجام داد (نوری و دیگران، ۲۰۲۲). این ویژگی ها به دلیل حرکات چند مفصلی و چند جهته، به فعالیت های 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

هفته تمرین استقامتی بر بیان ژن گرمیلین-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 می‌رود فعالیت بدنی اثرات مفید خود در مدیریت و کنترل چاقی را، از طریق تعدیل شاخص‌هایی از جمله گرمیلین-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 گرمیلین-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 گرمیلین-۱ و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن و چاق بود.

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع تحقیقات نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون 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 پروتکل‌ها، 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

است و جایگزین مناسبی برای تمرینات بدنی برای افراد چاق شناخته می‌شود (وستفال^۱ و دیگران، ۲۰۲۰). این نوع تمرینات که بر بهبود عملکرد در فعالیت‌های روزانه زندگی تأکید دارند، با تنظیم حجم کار در سریع‌ترین زمان ممکن، به اجرا درمی‌آیند 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^۲ و دیگران، ۲۰۲۱). در طول دوره کاهش وزن، تمرینات عملکردی مقاومتی می‌تواند بافت بدون چربی را حفظ کرده و یا افزایش دهد، و عملکرد بدنی را بهبود بخشد (لااسکالا^۳ و دیگران، ۲۰۲۰؛ کرنتی^۴ و دیگران، ۲۰۲۰). به تازگی گزارش شده است که تمرینات عملکردی در کاهش درصد چربی افراد چاق موثر است و می‌توان از آن به عنوان یک استراتژی بالقوه مفید برای مبارزه با چاقی و التهاب استفاده کرد (پسناکیدیس^۵ و دیگران، ۲۰۲۲). سعیدی و دیگران (۲۰۲۳)، کاهش معنی‌داری در وزن، شاخص توده بدنی^۶ (BMI)، درصد چربی بدن، گلوکز ناشتا و مقاومت به انسولین مران چاق؛ به دنبال ۱۲ هفته تمرینات عملکردی گزارش کرده‌اند. با این حال، فیتو^۷ 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 نکرده‌اند. این گزارش‌ها 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 گرمیلین-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 گرمیلین-۱ بررسی کرده‌اند و یافته‌ها نیز تا حدی متفاوت می‌باشد. سعیدی و دیگران (۲۰۲۳) تاثیر انواع مختلف تمرین مقاومتی بر سطوح گرمیلین-۱ در مردان چاق را مورد بررسی قرار داده و کاهش معنی‌دار سطوح گرمیلین-۱ را پس از تمرین مقاومتی گزارش کرده‌اند. با این حال، فابر^۸ و دیگران (۲۰۲۰) تاثیر هشت

1. Westphal

4. Caranti

7. Feito

2. Murawska

5. Posnakidis

8. Faber

3. La Scala

6. Body index mass

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. نمونه‌های خونی پس از جمع‌آوری، سانتریفیوژ شدند و سرم جدا گردید و تا زمان اندازه‌گیری متغیرها، در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سطوح سرمی گرمین ۱- به روش الایزا^۱ و حساسیت ۰/۱۰ نانو گرم در میلی‌لیتر، و ضریب تغییرات درون‌سنجی و میان‌سنجی 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 درون‌سنجی و میان‌سنجی کمتر از ۶/۳ درصد؛ اندازه‌گیری شد. غلظت گلوکز سرم به روش کالریمتریک - آنزیماتیک اندازه‌گیری شد. شاخص مقاومت به انسولین با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (سافاریدیس^۵ و دیگران، ۲۰۰۷). مقاومت به انسولین = [گلوکز ناشتا (میلی مول/لیتر) X انسولین (میکرونیوت/میلی لیتر)] ÷ ۲۲/۵

به منظور بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها، از آزمون شاپیرو-ویلک^۶ و از آزمون لون^۷ هم برای بررسی همگنی واریانس‌ها استفاده شد. سپس برای مقایسه متغیرهای آنروپومتریکی آزمودنی‌ها در پیش‌آزمون، از آزمون t مستقل؛

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 شرکت‌کنندگان 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. شرکت‌کنندگان پرسشنامه یادآمد تغذیه‌ای ۲۴ ساعته، فرم رضایت نامه آگاهانه در طرح، و پرسشنامه آمادگی برای فعالیت بدنی^۱ (PAR-Q) را تکمیل نمودند (توماس^۲ و دیگران، ۱۹۹۲). یک هفته قبل از شروع طرح، جلسه‌آشنایی 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^۳ 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 دقیقه‌ای دوچرخه (پدال زدن) می‌بایست تلاش می‌کرد 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

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

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

چربی ($p=0/001$)، گلوکز ناشتا ($p=0/001$)، شاخص مقاومت به انسولین ($p=0/001$)، و غلظت گرمیلین-۱ ($p=0/003$)؛ 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 گرمیلین-۱ کاهش یافت. در خصوص تأثیر HIFT بر سطوح گرمیلین-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

و برای مقایسه داده‌های دو گروه پس از مداخله، از آزمون تحلیل کوواریانس بهره‌برداری گردید. تمامی تحلیل‌ها در سطح معنی‌داری $p<0/05$ 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 معنی‌داری 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 ($p=0/001$)، BMI ($p=0/001$)، درصد

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

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

* نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه کنترل در سطح $p < 0.05$.

کرده‌اند. فابر و دیگران (۲۰۲۰) تفاوت در نوع آزمودنی‌ها و تفاوت بیان گرمین-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 یافته‌ها باشد. در مطالعه حاضر، مشابه با مطالعاتی که کاهش معنی‌دار گرمین-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)، آزمودنی‌های 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 گرمین-۱ شناخته شده است، می‌توان

(۲۰۲۰)، سعیدی و دیگران (۲۰۲۳)، و کرمی و دیگران (۲۰۲۲) اشاره نمود. سعیدی و دیگران (۲۰۲۳) کاهش معنی‌دار سطوح گرمین-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 معنی‌دار سطوح گرمین-۱ را به ویژه در شدت‌های بالاتر؛ گزارش نموده‌اند. برخی مطالعات نیز یافته‌های متفاوتی با مطالعه حاضر گزارش کرده‌اند. به طور مثال، فابر و دیگران (۲۰۲۰) تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر بیان ژن گرمین-۱ سلول‌های عضلانی در مردان سالم را بررسی کرده و افزایش بیان این شاخص و عدم تغییر معنی‌دار مقاومت به انسولین را گزارش

دیبابت 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^۶ 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^۷ و دیگران، ۲۰۲۲) و افزایش توده عضلانی (کاپسیس و دیگران، ۲۰۲۲؛ بریسبویس^۸ و دیگران، ۲۰۱۸) می‌گردند و این عوامل همراه با افزایش انتقال دهنده‌های گلوکز، موجب بهبود مقاومت به انسولین می‌شوند (رودریگوئز^۹ و دیگران، ۲۰۲۲). حجازی فر و دیگران (۲۰۲۰) گرمیلین-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، بازدارنده 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 می‌باشد.

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^{۱۰} 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؛

کاهش توده چربی بدن ناشی از تمرینات ورزشی را به عنوان یکی از سازوکارهای اصلی کاهش سطوح گرمیلین-۱ در نظر گرفت. فیتو و دیگران (۲۰۱۸) و بن زیو و اوکان^۱ (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 گرمیلین-۱ به واسطه کاهش توده چربی ناشی از اجرای این تمرینات باشد. در مطالعه حاضر نیز وزن، BMI و درصد چربی بدن به طور معنی داری کاهش یافت. علاوه بر این، برخی مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که ممکن است بین سطوح اینترلوکین-۶ و گرمیلین-۱ رابطه متقابلی وجود داشته باشد و پیشنهاد کرده‌اند که اینترلوکین-۶ در شرایط آزمایشگاهی، گرمیلین-۱ را تنظیم می‌نماید (اوریلی^۲ و دیگران، ۲۰۱۴؛ هندرسون^۳ 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^۴ و دیگران، ۲۰۲۱)؛ می‌توان یکی از دلایل کاهش گرمیلین-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 معنی دار 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^۵ و دیگران (۲۰۱۸) با بررسی میزان اثربخشی مداخله شش هفته‌ای HIFT بر عوامل خطر متابولیک قلبی، بهبود معنی دار حساسیت به انسولین و بهبود غیرمعنی دار 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

1. Ben-Zeev and Okun

2. O'Reilly

3. Henderson

4. Gonzalo

5. Fealy

6. Nieuwoudt

7. Kapsis

8. Brisebois

9. Rodriguez

10. Sobrero

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 آزمودنی‌ها 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 گرمین-۱، مقاومت به انسولین و ترکیب بدنی موثر می‌باشد 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 منافی 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.

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 کرده‌اند 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 کرده‌اند. از طرف دیگر، فیتو و دیگران (۲۰۱۹) هیچ گونه تغییر معنی داری در وزن، BMI و درصد چربی بزرگسالان دارای اضافه وزن و چاق گزارش نکرده‌اند. این محققان مشاهده چنین یافته‌هایی را به چندین محدودیت بالقوه در تحقیق خود نسبت داده‌اند. 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 داشته‌اند (فیتو و دیگران، ۲۰۱۹). به نظر می‌رسد تفاوت در روش‌های اندازه گیری ترکیب بدن، تفاوت

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 (hifit): 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-1 α 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., Daloui, 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., Aphas, 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>
- Shahsavari, M.R.S. (2022). The effect of caloric restriction along with functional training and acidic and alkaline diet on body composition, lipid concentration and C-reactive protein in overweight adults. *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., & Esmail, 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>