نشریه
سوخت و ساز و فعالیت ورزشی

Journal of
Metabolism and Exercise

Research Paper

The Effect of Six Weeks of High-Intensity Interval Training in Cold Temperature on Insulin Resistance Index and Serum Leptin in Obese Men

Ahmad Shahsavari [1], Amir Khosravi [2*], Nasser Behpoor [3]

Received: June 02, 2025 Revised: August 09, 2025 Accepted: August 09, 2025

ABSTRACT

Objective: Ambient temperature and exercise type are influential factors in leptin concentration and metabolic status. This study aimed to investigate the effect of six weeks of high-intensity interval training (HIIT) in cold temperature on insulin resistance index and serum leptin levels in obese men.

Methodology The statistical sample included 32 young obese men (age: 22.2 ± 2.9 years; BMI: 31.4 ± 1), randomly assigned to four groups: TR22 (training at 22°C), TR10 (training at 10°C), C22 (rest at 22°C), and C10 (rest at 10°C). The TR22 and TR10 groups performed HIIT on a treadmill for six weeks, three sessions per week, including 8–10 intervals of 1-minute running at 85–95% of heart rate reserve, with 1-minute active rest at 60–70%. Leptin, insulin, glucose, anthropometric indices, and insulin resistance (HOMA-IR) were measured before and after the intervention.

Results: In the TR10 group, after six weeks of training in cold, significant reductions were observed in leptin (P = 0.04), insulin (P = 0.039), glucose (P = 0.034), weight (P = 0.042), and body fat percentage (P = 0.016). These changes were not observed in other groups, including TR22. Additionally, in TR10, a significant correlation was found between the reduction in body fat percentage and levels of leptin (P = 0.031) and insulin (P = 0.039). No significant change in HOMA-IR was observed across the groups.

Conclusion: HIIT in cold air, compared to normal temperature, had a greater effect on reducing serum leptin in young obese men. HIIT at different temperatures did not significantly affect HOMA-IR. Reductions in leptin and insulin were directly related to decreased body fat percentage.

Keywords: Interval Exercise, Insulin Resistance, Cold Temperature. Leptin, Obesity

[1] *PhD student in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Bo.c. , Islamic Azad University, Borujerd, Iran.*

[2] *Assistant Professor, Department of Physical Education and Sports, Faculty of Humanities, Ayatollah Boroujerdi University, Borujerd, Iran. .* [*]**Corresponding Author:** *Amir Khosravi* . **Email:** stu_khosravi1@yahoo.com

[3] *Associate professor of sport science faculty, Razi university, Kermanshah, Iran*

Cite this article: Shahsavari, A., Khosravi, A., Behpoor, N. The Effect of Six Weeks of High-Intensity Interval Training in Cold Temperature on Insulin Resistance Index and Serum Leptin in Obese Men. *Metabolism and Exercise*, 2025; 15(1): 175-192
DOI: https://doi.org/10.22124/jme.2025.30848.413

Extended Abstract

Introduction and State of Problem

Over the past three decades, global obesity rates have quadrupled, and projections estimate that by 2030 approximately 38% of adults will be overweight and 20% will be obese. In Iran, about 22.7% of adults are overweight and 59.3% are either overweight or obese, with 15.3% of men and 29.8% of women classified as obese. Insulin plays a pivotal role in regulating leptin, and a bidirectional relationship exists between these two hormones. Insulin increases leptin gene expression and secretion, while leptin can regulate insulin sensitivity by reducing its secretion. Leptin resistance, common in obesity, is associated with increased insulin resistance, both contributing to metabolic dysregulation and related diseases such as type 2 diabetes and cardiovascular conditions. High-intensity interval training (HIIT) has gained popularity due to its time efficiency and superior metabolic benefits compared to traditional training, including greater fat loss, improved insulin sensitivity, and enhanced glucose transport. However, little is known about the combined effect of HIIT and environmental temperature on leptin and insulin resistance in obese men.

Methodology

Over the past three decades, global obesity rates have quadrupled, and projections estimate that by 2030 approximately 38% of adults will be overweight and 20% will be obese. In Iran, about 22.7% of adults are overweight and 59.3% are either overweight or obese, with 15.3% of men and 29.8% of women classified as obese. Insulin plays a pivotal role in regulating leptin, and a bidirectional relationship exists between these two hormones. Insulin increases leptin gene expression and secretion, while leptin can regulate insulin sensitivity by reducing its secretion. Leptin resistance, common in obesity, is associated with increased insulin resistance, both contributing to metabolic dysregulation and related diseases such as type 2 diabetes and cardiovascular conditions. High-intensity interval training (HIIT) has gained popularity due to its time efficiency and superior metabolic benefits compared to traditional training, including greater fat loss, improved insulin sensitivity, and enhanced glucose transport. However, little is known about the combined effect of HIIT and environmental temperature on leptin and insulin resistance in obese men.

Results

Post-intervention analysis revealed that in the TR10 group, six weeks of HIIT in cold conditions resulted in significant reductions in serum leptin ($P = 0.04$), fasting insulin ($P = 0.039$), fasting glucose ($P = 0.034$), body weight ($P = 0.042$), and body fat percentage ($P = 0.016$). No significant changes in these parameters were observed in the other groups, including TR22. Moreover, in the TR10 group, reductions in body fat percentage were significantly correlated with decreases in leptin ($P = 0.031$) and insulin ($P = 0.039$) levels. Across all groups, there were no statistically significant changes in HOMA-IR.

Discussion and Conclusion

The findings of this study indicate that performing HIIT in a cold environment produces more pronounced reductions in serum leptin levels compared to performing the same training at normal room temperature in young obese men. While HIIT under both temperature conditions did not significantly alter HOMA-IR, the observed decreases in leptin and insulin were closely associated with reductions in body fat percentage. These results suggest that environmental temperature may act as a physiological modifier, enhancing certain metabolic adaptations to HIIT in obese individuals. Incorporating environmental temperature manipulation into exercise

interventions could potentially optimize metabolic health outcomes, particularly in populations with obesity-related metabolic dysregulation.

Originality/Value

This research is the first to investigate the synergistic effect of of Six Weeks of High-Intensity Interval Training in Cold Temperature on Insulin Resistance Index and Serum Leptin in Obese Men.

Research Limitations/Implications

Findings are limited by the use of serum biomarkers without direct measures of capillary density.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

Informed consent was obtained, the study protocol was approved by the institutional ethics committee, and all ethical guidelines were followed.

Funding

This study received no funding from public, commercial, or non-profit Organizations.

Authors' contribution

All authors contributed to the design, implementation, and writing of all parts of the present study.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the people who participated in this study and to their research staff.

نشریه
سوخت و ساز و فعالیت ورزشی

Journal of
Metabolism and Exercise

نشریه سوخت و ساز و فعالیت ورزشی؛ دوره 15؛ شماره 1؛ بهار 1404؛ 175-192

مقاله پژوهشی

تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا در دمای سرد بر شاخص مقاومت انسولینی و لپتین سرم مردان چاق

احمد شاهسواری [1]، امیر خسروی [2*]، ناصر بهپور [3]

تاریخ دریافت: 1404/03/12 تاریخ بازنگری:1404/05/18 تاریخ پذیرش: 1404/05/18

چکیده

هدف: دمای محیط و نوع تمرین از عوامل مؤثر در غلظت لپتین و وضعیت متابولیک هستند. هدف این مطالعه، بررسی تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) در دمای سرد بر شاخص مقاومت انسولینی و سطوح سرمی لپتین در مردان چاق بود.

روش‌شناسی: نمونه آماری شامل ۳۲ مرد جوان چاق (سن: ۹/۲±۲۲/۲ سال، شاخص توده بدن: ۱±۳۱/۴) بود که به‌طور تصادفی به چهار گروه تقسیم شدند: TR22 (تمرین در ۲۲ درجه)، TR10 (تمرین در ۱۰ درجه)، C22 (استراحت در ۲۲ درجه) و C10 (استراحت در ۱۰ درجه). گروه‌های TR22 و TR10 طی شش هفته، سه جلسه در هفته، تمرینات HIIT شامل ۸ تا ۱۰ وهله دویدن ۱ دقیقه‌ای با شدت ۸۵–۹۵٪ حداکثر ضربان قلب ذخیره، همراه با ۱ دقیقه استراحت فعال با شدت ۶۰–۷۰٪ روی تردمیل انجام دادند. سطوح لپتین، انسولین، گلوکز، شاخص‌های آنتروپومتریک و HOMA-IR پیش و پس از مداخله اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: در گروه TR10، پس از شش هفته تمرین در سرما، مقادیر لپتین(P=0.04) ، انسولین(P=0.039) ، گلوکز (P=0.034)، وزن (P=0.042) و درصد چربی (P=0.016) کاهش معنی‌داری یافت. این تغییرات در سایر گروه‌ها، از جمله TR22، مشاهده نشد. همچنین درTR10 ، بین کاهش درصد چربی و سطوح لپتین (P=0.031) و انسولین (P=0.039) ارتباط معناداری دیده شد. تغییری در HOMA-IR مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: تمرینات HIIT در هوای سرد نسبت به دمای معمول تأثیر بیشتری در کاهش لپتین دارد. همچنین HIIT هر دو دما تأثیر معنی‌داری بر HOMA-IR نداشت. کاهش لپتین و انسولین با کاهش درصد چربی مرتبط است.ک نتیجه‌گیری کوتاه از پژوهش مورد نظر نوشته شود.

واژه‌های کلیدی: تمرینات تناوبی، مقاومت انسولینی، دمای سرد، لپتین، چاقی.

1 دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران.
2 استادیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران.
*نویسنده مسئول: امیر خسروی. ایمیل: stu_khosravi1@yahoo.com
3 دانشیار فیزیولوژی ورزشی، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

نوآوری پژوهش و پیام کلی

با توجه به تأثیر دما بر فعالیت ورزشی، این مطالعه نشان داد که انجام تمرینات اینتروال با شدت بالا در هوای سرد، در مقایسه با هوای معمولی، منجر به افزایش بیشتر متابولیسم در حین تمرین و دوره ریکاوری بین تکرارهای تمرین می‌شود. همچنین، این نوع تمرینات تأثیر بیشتری بر عوامل مؤثر بر لپتین، از جمله هورمون انسولین، گلوکز سرم، درصد چربی و وزن بدن دارد و در نتیجه موجب کاهش مؤثرتر لپتین می‌شود.

Copyright © 2025 The Author(s);
Publiser: University of Guilan
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International License (CC-By-NC): https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en,
which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

طی سه دهه گذشته، نرخ چاقی در جهان چهار برابر شده است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ حدود ۳۸٪ از جمعیت بزرگسال دارای اضافه‌وزن و ۲۰٪ چاق باشند. براساس مطالعات، 22/7درصد بزرگسالان ایرانی دارای اضافه وزن، 59/3 درصد مجموعاً چاق و مبتلا به اضافه وزن هستند و 15/3 درصد مردان و 29/8 درصد زنان درگیر چاقی هستند (3). چاقی با افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های غیرواگیر مانند مقاومت به انسولین، دیابت نوع ۲، بیماری‌های قلبی-عروقی، پرفشاری خون، افسردگی، و اختلالات متابولیکی همراه است (1). چاقی معمولاً ناشی از افزایش بیش از حد بافت چربی سفید است که آدیپوکاین‌ها را ترشح می‌کند. این مواد شبه‌هورمونی، از جمله لپتین، در تنظیم متابولیسم و انرژی نقش دارند (12). لپتین که عمدتاً توسط چربی زیرپوستی ترشح می‌شود، ارتباط مستقیمی با میزان چربی بدن دارد و نقش مهمی در تنظیم اشتها، مصرف انرژی، متابولیسم چربی و گلوکز، و هومئوستاز ایفا می‌کند. افزایش سطح لپتین با چاقی، اختلال در تحمل گلوکز، افزایش تری‌گلیسرید و فشار خون بالا مرتبط است (12). اگرچه مکانیسم‌های دقیق ترشح آن مشخص نیست، اما فاکتورهایی چون جنسیت، سن، هورمون‌ها، رژیم غذایی و ورزش در تنظیم سطح آن مؤثر هستند (12, 22).

انسولین نقش کلیدی در تنظیم لپتین دارد و بین این دو هورمون ارتباط دوسویه‌ای برقرار است. انسولین بیان ژن لپتین را افزایش داده و تولید آن را تحریک می‌کند، در حالی‌که لپتین نیز می‌تواند با کاهش ترشح انسولین، حساسیت انسولینی را تنظیم کند (24). مقاومت به لپتین که معمولاً در افراد چاق دیده می‌شود، با افزایش مقاومت به انسولین مرتبط است. سطح بالای لپتین با افزایش وزن و چربی بدن همراه است و این دو هورمون با ورود به هیپوتالاموس، مسیرهای تنظیم متابولیسم را فعال می‌کنند. (12). اختلال در مسیرهای پیام‌رسانی این دو هورمون، تعادل انرژی و متابولیسم گلوکز را بر هم زده و منجر به بیماری‌های متابولیکی می‌شود. مقاومت به انسولین با بروز دیابت نوع ۲، آترواسکلروز[1]، هپاتوستاتوز[2] و سایر اختلالات مرتبط است. از این‌رو، کنترل چاقی و بیماری‌های وابسته به آن از اولویت‌های سلامت عمومی است (12).

روش‌های درمان چاقی شامل رژیم غذایی، دارودرمانی و فعالیت ورزشی است که در این میان، ورزش به دلیل آثار مثبت متابولیکی و روانی توصیه می‌شود. تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) به دلیل صرفه‌جویی در زمان و کارایی بیشتر نسبت به تمرینات سنتی محبوبیت یافته‌اند. این تمرینات شامل دوره‌های کوتاه فعالیت شدید و استراحت فعال یا غیر فعال هستند و باعث کاهش بیشتر چربی بدن، افزایش حساسیت انسولینی و افزایش پروتئین ناقل گلوکز۳[3]می‌شوند (26). در حین HIIT ، اکسیداسیون کربوهیدرات بیشتر از چربی است، اما در دوره ریکاوری، مصرف چربی افزایش می‌یابد که به کاهش چربی بدن کمک می‌کند. بنابراین، شدت تمرین نقش مهمی در ترکیب بدن و مصرف انرژی دارد (20, 26). گرچه سهم مطلق و نسبی سوبسترای مصرفی در حین تمرین تا حد زیادی به شدت و مدت تمرین بستگی دارد، عوامل متعدد دیگری از جمله دمای محیط تمرین نیز از عوامل مهم تأثیرگذار بر ترکیب و میزان سوبسترای مصرفی در حین و پس از تمرین می باشد(9). دمای محیط تمرین می‌تواند تأثیر زیادی بر ترکیب بدن و میزان سوبسترای مصرفی در حین و پس از تمرین داشته باشد.

در شرایط سرد، میزان متابولیسم پایه بدن می‌تواند به میزان 1 تا 5 برابر حالت طبیعی افزایش یابد (30). برای تأمین انرژی لازم برای گرمازایی، از طریق تحریک سمپاتیک، ترشح کورتیزول، نوراپی‌نفرین و FGF21 به شدت افزایش یافته

[1] Atherosclerosis
[2] Hepatosteatosis
[3] GLUT4

که باعث افزایش متابولیسم و لیپولیز شده و در نتیجه مصرف کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها به‌شدت افزایش می‌یابد. این افزایش مصرف کربوهیدرات می‌تواند تا 588 درصد و مصرف چربی تا 63 درصد در مقایسه با دمای معمولی افزایش یابد (6, 9). دمای سرد همچنین بر حساسیت انسولین تأثیر می‌گذارد و می‌تواند قند خون را تا 10 درصد و انسولین را تا 28 درصد کاهش دهد (13).

بنابراین، انتظار می‌رود تمرینات ورزشی در دمای سرد موجب افزایش مصرف انرژی و بهبود سریع‌تر در اهداف کاهش وزن، کاهش چربی بدن، و تغییرات در حساسیت انسولین و لپتین سرم شود. تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که تمرینات در محیط‌های سرد مانند آب سرد (4 درجه) می‌تواند به‌طور معنی‌داری میزان گلوکز خون را کاهش دهد (29). گگنو و همکاران (2020) عنوان کردند که دویدن بر روی تردمیل در سرعت زیر بیشینه در سرمای ۴ درجه سانتی‌گراد، در مقایسه با هوای نرمال و گرم، حداکثر میزان اکسیداسیون چربی (MFO) و Fatmax (شدتی از فعالیت که حداکثر اکسیداسیون چربی در آن اتفاق می‌افتد) را در افراد جوان سالم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (5). همچنین موتن و همکاران (2021) عنوان کردند که در نتیجه یک وهله تمرین اینتروال در محیط سرد صفر درجه سانتی‌گراد، در مقایسه با ۳۰ درجه سانتی‌گراد، میزان متابولیسم چربی ۳۵۸ درصد بیشتر بود (17). رن و همکاران (2020) عنوان کردند که موش‌هایی که به مدت ۶ هفته در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد به‌طور اختیاری بر روی چرخ دوار دویدند (دمای زیر ۲۶ درجه سانتی‌گراد برای موش‌ها سرما محسوب می‌شود)، در مقایسه با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، به‌طور معنی‌داری در کاهش وزن، افزایش تحمل گلوکز، بهبود حساسیت انسولینی و افزایش میزان متابولیسم پایه بهتر بودند (21).

با توجه به نتایج موجود، تحقیقات در مورد تأثیر تمرینات اینتروال با شدت بالا در هوای سرد بر میزان لپتین و انسولین و عواملی همچون درصد چربی و وزن بدن محدود بوده است. تاکنون تحقیقی در خصوص مقایسه تأثیر این تمرینات در دمای سرد و معمولی بر این هورمون‌ها انجام نشده است. این تفاوت‌ها در الگوهای تمرینی و عواملی همچون جنسیت، سن و سطح آمادگی جسمانی می‌تواند باعث تفاوت در نتایج شود. از این‌رو، انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری است (7). بنابراین، به منظور استفاده از رویکرد متابولیک جامع و هدفمندتر، تحقیق حاضر با هدف برتری نسبت به مطالعات گذشته و با توجه به اهمیت موضوع در حوزه پیشگیری و درمان چاقی، به بررسی تأثیر یک دوره شش‌هفته‌ای تمرینات اینتروال با شدت بالا در دو دمای مختلف (۱۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۲ درجه سانتی‌گراد) بر غلظت لپتین و انسولین پلاسما در مردان چاق پرداخته است. مطالعه‌ی حاضر به دنبال پاسخ به این سوال است که آیا شش هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا در دو دمای مختلف (معمولی و سرد) تأثیر متفاوتی بر مقاومت انسولینی و لپتین سرم مردان چاق دارد؟

روش‌شناسی

این مطالعه از نوع کاربردی و با طرح نیمه‌تجربی است که با استفاده از طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون و گروه کنترل انجام شد. جامعه آماری شامل مردان جوان چاق با دامنه سنی 28-18 سال و شاخص توده بدنی 30-34.9 کیلوگرم بر متر مربع شهر الیگودرز بودند. تعداد کل نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power نسخه 3.1.9.2 برای ANOVA ، سطح خطا α= 0/05 و خطای β= 0/8 برابر 32 نفر تخمین زده شد. در پی فراخوان، 50 نفر اعلام آمادگی کردند که 32 نفر داوطلب حائز شرایط حضور در مطالعه شدند و پس از همگن‌سازی به چهار گروه 8 نفره تقسیم شدند: 1) گروه TR22(تمرین در دمای 22 درجه)، 2) گروه TR10 (تمرین در دمای 10 درجه)، 3) گروه C22 (استراحت در دمای

22 درجه)، 4) گروه C10 (استراحت در دمای 10 درجه). طرح پژوهش حاضر توسط کمیتهٔ اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد با کد شناسه اخلاق IR.IAU.B.REC.1398.012 تأیید و تصویب شده است.

شرایط ورود به تحقیق: ورود به تحقیق شامل شرایط زیر بود: 1- دامنه سنی 28 - 18 سال (ا شاخص توده بدنی بین 30 تا 34.9 کیلوگرم بر متر مربع)، 2-غیر ورزشکار بودن (نداشتن فعالیت ورزشی منظم حداقل سه روز در هفته طی شش ماه گذشته)، 3-عدم هورمون درمانی، 4-عدم مصرف دارو، 5- عدم مشکلات جسمی (شامل مشکلات حرکتی و ارتوپدی که در حرکت آزمودنی‌ها اختلال ایجاد می‌کرد)، 6-عدم استعمال سیگار، 7- عدم ابتلا به بیماری‌های مزمن از جمله دیابت، ام اس و به طور کلی برخورداری از سلامت عمومی که توسط پزشک معاینه و تأیید شده باشد.

شرایط خروج از تحقیق: شرایط خروج از تحقیق شامل عـدم حضور آزمودنی در سه جلسه تمرین و یا آسـیب دیـدگی حین انجام تمرینات و یا انصراف از ادامـه شـرکت در پـژوهش در طول دوره تحقیق بود.

پس از انجام معاینات پزشکی توسط پزشک عمومی، مجوز شرکت در برنامه تمرینی صادر شد. سپس، نحوه اجرای آزمون و هدف از انجام پژوهش برای آزمودنی‌ها توضیح داده شد. در مرحله بعد، پرسشنامه اطلاعات فردی و فرم رضایت‌نامه شرکت اختیاری در تحقیق از داوطلبان دریافت گردید. از شرکت کنندگان درخواست شد در طول دوره 6 هفته تحقیق، برنامه غذایی خود را تغییر ندهند و در هیچ برنامه تمرین ورزشی غیر از برنامه تحقیق جاری شرکت نداشته باشند و از مصرف هر گونه دارو، مکمل ورزشی و یا غیر ورزشی خودداری کنند جهت اطمینان از عدم تغییر در برنامه غذایی آزمودنی‌ها طی دوره تحقیق، پرسشنامه یادآمد 24 ساعته خوراک در دو مرحله، یکی در سه روز اول شروع تحقیق و دیگری سه روز قبل از پایان دوره، در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط آزمودنی‌ها، اطلاعات جمع‌آوری‌شده مورد آنالیز قرار گرفت. شش روز پیش از شروع تحقیق، طی سه جلسه جداگانه در سه روز مختلف، آزمودنی‌ها با نحوه صحیح انجام تمرینات و همچنین سازگاری با دما و شرایط تمرین آشنا شدند. در این جلسات، در محل تمرین، شبیه‌سازی تمرین اصلی با شدت تمرین حداقلی انجام شد. همچنین نحوه ی پرکردن برگه‌ی یادآمد غذایی آموزش داده شد.

یک هفته پیش از آغاز دوره تحقیق، آزمودنی‌ها جهت ارزیابی مقادیر لپتین، انسولین و قند خون در حالت ناشتا (12 ساعت پس از آخرین وعده غذایی) به آزمایشگاه مراجعه کردند و از آن‌ها نمونه‌گیری خون انجام شد. علاوه بر این، ضربان قلب در حالت استراحت و شاخص‌های ترکیب بدنی شامل درصد چربی بدن، قد و وزن نیز اندازه‌گیری گردید. همچنین پرسشنامه یادآمد 24 ساعته خوراک (جهت اندازه‌گیری میزان کالری مصرفی) در اختیار آزمودنی‌ها قرار داده شد. پس از مشخص شدن نتایج آزمایش خون و سایر شاخص‌های اندازه‌گیری شده، آزمودنی‌ها با توجه به تعداد ضربان قلب استراحت، سن، قد، وزن، درصد چربی بدن، شاخص توده بدنی، لپتین، انسولین و گلوکز سرم در ۴ گروه 8 نفره همسان سازی و تقسیم شدند. مطابق برنامه زمان بندی شده، گروه‌های تمرین (گروه TR10 و گروه TR22) تمرینات اینتروال را به مدت 6 هفته در دمای مربوطه انجام دادند و گروه‌های کنترل (گروه C10 و گروه C22) در همان دما و مکان سالن گروه تمرین به استراحت پرداختند. برای بررسی سابقه فعالیت ورزشی (عدم مشارکت در فعالیت‌های ورزشی منظم قبل از تحقیق) از پرسشنامه میزان فعالیت بدنی استفاده شد (25). شایان ذکر است که یک هفته پیش از آغاز برنامه تمرینی و ۴۸ ساعت پس از پایان دوره‌ی ۶ هفته‌ای تمرین، نمونه‌گیری از لپتین، انسولین و قند خون انجام شد. علاوه بر این، شاخص‌های تن‌سنجی شامل وزن، BMI و درصد چربی بدن نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

پروتکل تمرینی: تمرینات گروه TR22 (تمرین در دمای 22 درجه) و گروه TR10 (تمرین در دمای 10 درجه) شامل تمرین HIIT بود که طی جلسات 31 تا 35 دقیقه‌ای، به مدت 6 هفته و 3 جلسه در سه روز مجزا و در یک نیمه ثابت

روز (ساعت 18 عصر) برنامه‌ریزی شده بود. در شروع هر جلسه تمرین، 10 دقیقه به گرم کردن اختصاص داشت. سپس، 16 تا 20 دقیقه تمرین اصلی انجام می‌شد و پس از آن، پنج دقیقه سردکردن اجرا می‌گردید. گرم کردن و سرد کردن شامل فعالیت هوازی سبک همراه با کشش‌های پویا بود. برنامه تمرین اینتروال با شدت بالا (HIIT) شامل وهله‌های یک دقیقه‌ای دویدن روی تردمیل (بدون شیب) با شدت 85 تا 95 درصد حداکثر ضربان قلب ذخیره (محاسبه شده با استفاده از روش کارونن) و یک دقیقه استراحت فعال با شدت 60 تا 70 درصد حداکثر ضربان قلب ذخیره بود. این برنامه در دو دمای 22 درجه و 10 درجه به طور جداگانه برای گروه‌های TR22 و TR10 در طول دوره 6 هفته‌ای اجرا شد (10). خلاصه برنامه گروه‌های تمرینی در جدول شماره ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول 1. پروتکل تمرینی گروه‌های TR22 و TR10

متغیر	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	هفته ششم
ضربان قلب ذخیره تمرین (HRR ٪)	85-95	85-95	85-95	85-95	85-95	85-95
زمان تمرین	1	1	1	1	1	1
زمان استراحت فعال	1	1	1	1	1	1
زمان گرم کردن (دقیقه)	10	10	10	10	10	10
زمان سرد کردن	5	5	5	5	5	5
تعداد تکرار	8	8	9	9	10	10

جهت رعایت اصل اضافه بار، هر دو هفته یک تکرار به برنامه تمرین اضافه شد، به طوری که در نهایت در دو هفته آخر تمرین، تعداد تکرارها به 10 تکرار رسید. بدین ترتیب، آزمودنی‌ها در هفته اول و دوم 8 تکرار 1 دقیقه‌ای، در هفته سوم و چهارم 9 تکرار 1 دقیقه‌ای، و در هفته پنجم و ششم 10 تکرار 1 دقیقه‌ای در هر جلسه انجام دادند. پس از هر تکرار، آزمودنی‌ها یک دقیقه استراحت فعال با شدت 60-70 درصد حداکثر ضربان قلب ذخیره داشتند. لازم به ذکر است که در طول فعالیت، تعداد ضربان قلب از طریق مانیتور دستگاه نوارگردان مشاهده می‌شد. با افزایش یا کاهش سرعت دویدن، شدت تمرینات طوری تنظیم می‌شد که ضربان قلب در محدوده تعیین شده برای هر فرد باقی بماند. پس از رسیدن به این شدت، زمان توسط زمان‌سنج تردمیل اندازه‌گیری می‌شد. در صورتی که ضربان قلب از محدوده مورد نظر فاصله می‌گرفت، سرعت نوارگردان متناسب با آن کم یا زیاد می‌شد تا ضربان قلب دوباره به محدوده مورد نظر بازگردد. گروه‌های کنترل طی دوره تحقیق در هیچ برنامه تمرینی منظمی شرکت نداشتند. همچنین، آزمودنی‌های گروه‌های کنترل شرایط دمایی گروه تجربی را تجربه کردند؛ بدین صورت که همراه با گروه‌های تمرین در سالن تمرین حضور داشتند و به استراحت پرداختند. دمای سالن تمرین با استفاده از وسایل گرمازا تنظیم می‌شد (در برخی روزها دمای سالن تمرین از 10 درجه کمتر بود که برای تنظیم دما از وسایل گرمازا استفاده کردیم) و رطوبت با استفاده از رطوبت‌سنج و دستگاه رطوبت‌ساز التروسونیک مدل 1200 تنظیم می‌شد. پوشش تمامی آزمودنی‌ها (در گروه‌های تمرین و کنترل) در حین تمرین در دو دمای سرد و معمول یکسان بود (شورت و تی‌شرت ورزشی با جنس نخ پنبه). لازم به ذکر است که جهت سهولت در تنظیم دمای محیط تمرین، تحقیق در نیمه اول زمستان و در ساعت 18روزهای تمرین در شهر الیگودرز انجام گرفت.

روش اندازه‌گیری متغیرها: اندازه‌گیری متغیرهای خونی: در تحقیق حاضر از آزمودنی‌ها در دو مرحله خونگیری (10 سی سی خون از ورید آنتیکیوبیتال دست چپ) در حالت ناشتا و پس از 15 دقیقه استراحت به وضعیت نشسته بین ساعت 9 - 8 صبح در محل آزمایشگاه و توسط متخصص آزمایشگاه انجام شد. مرحله اول، یک هفته قبل از شروع تمرینات (پیش آزمون) و مرحله دوم 48 ساعت پس از آخرین جلسه تمرین (پس آزمون). لازم به ذکر می‌باشد که از آزمودنی‌ها خواسته شد که 48 ساعت قبل از هر دو مرحله خونگیری، هیچگونه فعالیت ورزشی انجام ندهند. نمونه‌های خونی بلافاصله در لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد EDTA ریخته شد. سپس نمونه‌ها به مدت 10 دقیقه و با سرعت 3000 دور در دقیقه و در دمای چهار درجه سانتیگراد سانتریفیوژ شدند و بعد از جداسازی سرم بدست آمده مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین سطوح لپتین به روش الایزا [1] ۱ و با استفاده از کیت‌های لپتین مدیاگنوست[2] ساخت کشور آلمان با حساسیت 0/1 نانوگرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد که ضریب تغییرات درون آزمون آن کمتر از پنج درصد بود. برای اندازه‌گیری میزان انسولین از کیت‌های Radim ساخت آلمان بر حسب میلی‌گرم در دسی‌لیتر و با حساسیت ۱ میلی گرم واحد بین المللی در لیتر(Sensitivity = 1mU/l) و ضریب تغییرات درونسنجی(PIntra =٪6/5) و با استفاده از دستگاه الایزا ریدر اندازه‌گیری شد. گلوکز سرمی با استفاده از کیت شرکت پارس آزمون، ساخت ایران با حساسیت 5 میلی‌گرم دسی‌لیتر و با حساسیت ۱ میلی گرم واحد بین المللی در لیتر(Sensitivity = 5mg/dl)و ضریب تغییرات درون سنجی (PIntra =٪6/5) و با استفاده از روش آنزیماتیک اندازه‌گیری شد.

شاخص مقاومت به انسولین: شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) بر اساس حاصل ضرب غلظت گلوکز ناشتا (میلی مول بر لیتر) در انسولین ناشتا (میکرو واحد بین المللی بر میلی‌لیتر) تقسیم بر عدد ثابت 22/5 محاسبه شد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه میزان قند خون آزمودنی‌ها بر حسب میلی‌گرم در دسی‌لیتر گزارش شده بود، میلی‌گرم در دسی‌لیتر با ضرب در عدد ثابت 0/0555 تبدیل به میلی مول در لیتر شد و در فرمول فوق قرار گرفت.

اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک و ترکیب بدن: شاخص توده بدن آزمودنی‌ها، با محاسبه وزن به کیلوگرم بر مجذور قد به متر تعیین شد. برای محاسبه‌ی درصد چربی بدن از فرمول سه نقطه‌ای جکسون و همکاران (1978) با استفاده از کالیپر، در سه ناحیه ضخامت چربی زیر پوستی سه سر بازو، فوق خاصره و ران استفاده شد (8). میانگین اندازه‌ها برای هر نقطه سه بار تکرار و ثبت گردید. قد آزمودنی‌ها نیز توسط قدسنج دیواری (مدل4440 ساخت شرکت کاوه ایران) با دقت 0/1 سانتی‌متر در وضعیت ایستاده در کنار دیوار و بدون پوشش کفش اندازه‌گیری گردید. وزن بدن با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت 10 گرم با کمترین پوشش و بدون کفش اندازه‌گیری شد. به منظور حذف خطای فردی، تمامی اندازه‌گیری‌ها توسط یک نفر و هر اندازه‌گیری سه بار تکرار شد.

اندازه‌گیری ضربان قلب استراحت: برای محاسبه ضربان قلب هدف ابتدا حداکثر ضربان قلب با استفاده از روش کارونن[سن آزمودنی-220=حداکثر ضربان قلب] به دست آمد. سپس ضربان قلب ذخیره از رابطه[ضربان قلب استراحت-ضربان قلب حداکثر] ارزیابی شده و ضربان قلب هدف با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

(ضربان استراحتی – ضربان بیشینه) درصد شدت تمرین + ضربان قلب استراحتی = شدت (ضربان قلب هدف)

هر هفته، ضربان قلب استراحتی آزمودنی‌ها دوباره محاسبه شده و برنامه تمرینی هفته بعد از آن بر اساس ضربان سازش‌یافته هفته گذشته برنامه‌ریزی شد. کنترل ضربان قلب در حین تمرینات توسط مانیتور تردمیل انجام شد.

تغذیه آزمودنی‌ها: اطلاعات مربوط به رژیم غذایی آزمودنی‌ها توسط پرسشنامه یادآمد خوراک 24 ساعته در دو دوره سه روزه (سه روز ابتدای شروع و سه روز پیش از اتمام پروتکل تحقیق) توسط آزمودنی در برگه مخصوص رژیم غذایی ثبت

[1] ELISA
[2] Mediagnost Leptin ELISA Kits

گردید (18). از آزمودنی‌ها خواسته شد تا تمام غذاها و آشامیدنی‌هایی را که در طول 24 ساعت گذشته مصرف کرده بودند، ثبت کنند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا مواد غذایی مصرف شده به گرم تبدیل و سپس با استفاده از نرم افزار Food Processor (NIII, FP2) اطلاعات مربوط به رژیم غذایی تجزیه و تحلیل شده و میزان درشت مغذی‌ها تعیین گردید (18).

روش تجزیه و تحلیل آماری: برای ارزیابی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف - اسمیرنف[1] و برابری واریانس‌ها از آزمون لوین[2] استفاده شد. همچنین برای مقایسه میانگین متغیرهای درون گروهی (پیش آزمون پس آزمون) و بین گروهی (کنترل و تمرین) از آزمون آنوای تک راهه[3] و آزمون تعقیبی توکی[4] استفاده شد. همچنین از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط بین داده‌ها استفاده شد. ضمناً کلیه عملیات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه 25 و با سطح معنی‌داری $P < 0/5$ درنظر گرفته شد.

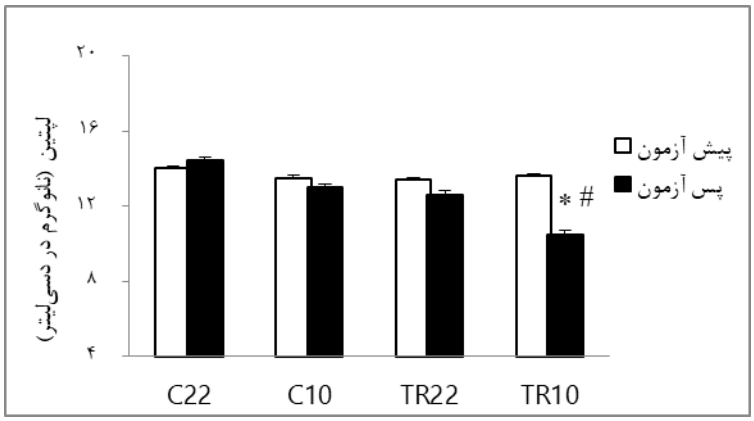
یافته‌ها

یافته‌های آنتروپومتریک و فیزیولوژیک در جدول 2 ارائه شده است. نتایج نشان داد قبل از شروع دوره تمرینات چهار گروه در هیچکدام از متغیرهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند($P > 0/05$). این یافته نشان می دهد که گروه‌ها قبل از شروع تمرینات همگن بودند. نتایج بررسی میانگین انرژی مصرفی (در یک دوره ۳ روزه پیش و ۳ روز انتهایی دوره تحقیق کیلوکالری در 24 ساعت)، ضربان قلب استراحت، قد، وزن، درصد چربی بدن، شاخص توده بدنی (BMI)، نتایج آزمایش شاخص‌های خونی لپتین، انسولین و گلوکز همچنین شاخص مقاومت انسولینی به تفکیک 4 گروه در جدول شماره 2 نشان داده شده است.

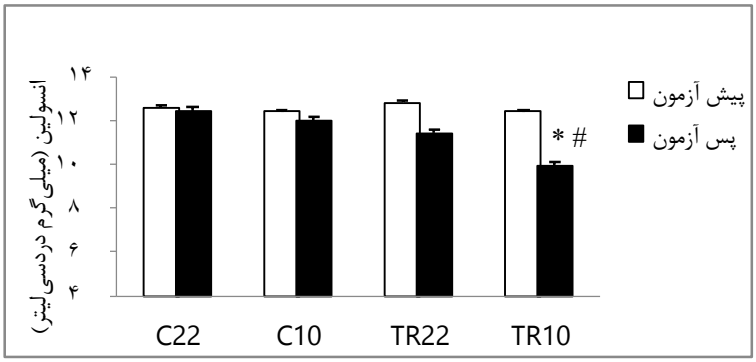
نتایج تحلیل آنوای تک راهه نشان داد که 6 هفته تمرین در آزمودنی‌های گروه TR10 (تمرین در دمای 10 درجه) موجب کاهش معنادار و و در آزمودنی‌های گروه TR22 (تمرین در دمای 22 درجه) موجب عدم تغییر معنی‌دار در شاخص‌های لپتین (P TR22=0/21 : P TR10=0/04)، انسولین (P TR22=0/068 : P TR10=0/039) [نمودار شماره یک و دو] و گلوکز (P TR22=0/26 : P TR10=0/034) ، درصد چربی بدن (P TR22=0/48 : P TR10=0/016) ، وزن (P TR22=0/35 : P TR10=0/042)، ، میانگین انرژی مصرفی روزانه (P TR22=0/35 : P TR10=0/047) شد (جدول 1). همچنین میزان مقاومت انسولینی (P TR22=0/55 : P TR10=0/59) و شاخص توده بدن (P =0/89 TR22: P TR10=0/54) در دو گروه تمرین تغییر معنی‌داری نشان نداد (جدول 1). با این وجود، هیچکدام از متغیرهای مذکور در گروه‌های کنترل تغییر آماری معنی‌داری را نشان ندادند ($P > 0/05$). همچنین بین تغییرات

[1] Kolmogorov-smirnov
[2] Levene
[3] One-way ANOVA
[4] Tukey post hoc test

درصـد چربی بدن با لپتین (P TR10=0/031 : R TR10=0/048) و انسولین (P TR10=0/039 : R TR10=0/045) گروه TR10 ارتباط مستقیم و معناداری مشـاهده شـد. در سایر گروه‌ها ارتباط معنی‌داری بین شاخص‌های ذکر شده مشاهده نشد.



نمودار 1. تغییرات غلظت سرمی لپتین در پیش آزمون و پس آزمون
* تفاوت معنادار نسبت به پیش آزمون P<0/05 ؛ # تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل P<0/05.



نمودار 2. تغییرات غلظت سرمی انسولین در پیش آزمون و پس آزمون
* نشانه تفاوت معنادار نسبت به پیش آزمون P<0/05 ؛ # نشانه تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل P<0/05.

جدول 2. آماره‌های مربوط به ویژگی‌های تن سنجی آزمودنی‌ها (انحراف معیار ± میانگین)

گروه	کنترل				تمرین			
	C10		C22		TR22		TR10	
متغیر	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
سن (سال)	22/2±2/9	-	23/1±2	-	22/4±2/1	-	23/5±1/7	-
قد (cm)	176/3±3	-	175/3±4/2	-	176/5±4	-	177 /5±4/5	-
وزن (kg)	97/3±7	95/2±5/5	97±5	97/5±5/1	97/5±5/8	94/5±4/2	95/4±5/6	#✹90/3±3/1
شاخص توده بدن (kg/m2)	31/4±1	31±1/2	31/6±1/2	31/7±1/3	31/3±0/8	30/2±0/7	30/6±0/8	29/1±1

چربی بدن (درصد)	35/1±2/7	33±2/4	34±3	34/3±3/2	35±2	33±1/8	34/8±5	#✹30/1±3/1
ضربان قلب استراحت (ضربان در دقیقه)	76/1±12	-	76/2±8/8	-	/7±11/1 73	-	76/3±8/2	-
مقاومت به انسولین	0/69±2/69	/77±2/56 0	0/65±2/76	/73±2/72 0	/69±2/78 0	0/59±2/45	/67±2/72 0	0/46±2/07
انسولین (میکرو واحد بر میلی‌لیتر)	12/۴±2/6	12±2/5	12/6±2/3	12/4±2/5	12/8±2/4	11/۴±2/2	12/3±2/2	#✹9/9±1/6
گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	5/1±90	3/9±87	4/2±88/7	4/9±89/1	4/3±88/2	3/6±87	6/1±89/5	#✹4/1±80/1
لپتین (نانوگرم /میلی‌لیتر)	2/5±13/4	3/1±12/6	3/5±13/9	4/1±14/3	2/1±14/5	1/9±13/2	2/9±13/6	#✹2/2±10/4
میانگین انرژی مصرفی (کیلوکالری در 24 ساعت)	±2712 251	±2724 269	248±2731	±2741 273	±2700 269	±2653 251	±2691 243	194±2501 #✹

C10=گروه استراحت در دمای 10 درجه ، C22 =گروه استراحت در دمای 22 درجه، TR22=گروه تمرین در دمای 22 درجه، TR10= گروه تمرین در دمای 10درجه، ✹تفاوت معنادار در هر گروه (پس آزمون نسبت به پیش آزمون) ، # تفاوت معنادار گروه تمرین کرده نسبت به گروه کنترل.

بحث

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر شش هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا در دمای سرد بر شاخص مقاومت انسولینی و لپتین سرم مردان چاق بود. نتایج نشان داد که پس از ۶ هفته تمرین HIIT در دمای سرد در گروهTR10 ، میزان لپتین، انسولین، گلوکز سرم، درصد چربی و وزن آزمودنی‌ها نسبت به گروه‌های کنترل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. اما تغییر معناداری در شاخص‌های فوق در گروه TR22 یا مقاومت انسولینی دو گروه تمرینی مشاهده نشد.

پژوهش‌ها درباره تأثیر تمرین بر لپتین نتایج متفاوتی داشته‌اند. برخی همچون کاظمی و همکاران (2015) و منیخ و همکاران (2015)، همسو با یافته‌های گروه TR22، تغییری در لپتین پس از شش هفته تمرین گزارش نکرده‌اند و علت آن را به نبود تغییر در درصد چربی و کافی نبودن مدت تمرین نسبت داده‌اند (11, 16). با این همه، پژوهش‌ها عمدتاً بر کاهش سطح لپتین پلاسما پس از تمرینات طولانی مدت تأکید دارند. در مقابل، برخی مطالعات مانند پوررنجبر و همکاران (2018) و لو مینگ و همکاران (2020) کاهش لپتین را به کاهش چربی و وزن مرتبط دانسته‌اند. این یافته‌ها نقش درصد چربی را به‌عنوان عامل کلیدی در تنظیم لپتین تقویت می‌کند (14, 19).

کاهش چربی از طریق تغییرات در سلول‌های چربی و کاهش ترشح آدیپوسایتوکاین‌های التهابی مانند TNF-α و IL-6 ، موجب کاهش لپتین می‌شود. در صورتی که برنامه تمرینی نتواند بر چربی بدن اثرگذار باشد، تغییرات لپتین نیز محدود خواهد بود. صبوری و همکاران (2021) نیز نشان دادند که بدون تغییر ترکیب بدن، تمرین تأثیری بر TNF-α ، IL-6، CRP و لپتین ندارد (23). نتایج گروه TR22 در تحقیق حاضر که تغییری در وزن و درصد چربی بدن نشان نداد نیز این موضوع را تقویت می‌کند. در مقابل، کاهش معنی‌دار لپتین، چربی و وزن در گروه TR10 همسو با یافته‌های موتن، گگنو، رن و طیبی است. موتن (2021) گزارش کرد که متابولیسم چربی در تمرین در دمای صفر درجه، ۳۵۸٪ بیشتر از دمای ۳۰ درجه است. رن (2020) نیز دریافت که موش‌هایی که در دمای ۲۲ درجه تمرین کردند، نسبت به دمای ۳۰ درجه کاهش وزن و بهبود شاخص‌های متابولیکی بیشتری داشتند. گگنو (2020) افزایش MFO و Fatmax را در تمرین در ۴ درجه گزارش کرد. طیبی (2024) هم کاهش معنی‌دار گلوکز خون را پس از شنا در آب سرد در موش‌های دیابتی گزارش داد (5, 17, 21, 29). تمرین در دمای سرد مصرف انرژی و اکسیداسیون چربی را افزایش می‌دهد. پاسخ‌های بیوانرژیک به سرما تحت‌تأثیر دما، رطوبت، ویژگی‌های فیزیولوژیک و شدت تمرین هستند. با وجود تفاوت‌ها، تمرین در سرما اغلب با افزایش مصرف چربی، انرژی و کاهش چربی بدن همراه است. یافته‌های تحقیق حاضر نیز کاهش معنی‌دار وزن و چربی فقط در گروه TR10 را تأیید می‌کند (6).

اگرچه کاهش درصد چربی بدن مستقیماً بر سنتز و ترشح لپتین تأثیر می‌گذارد، اما به نظر می‌رسد که این تغییرات می‌توانند به‌صورت غیرمستقیم و از طریق تأثیر بر ترشح سایر هورمون‌ها نیز سطح لپتین را تنظیم کنند. یکی از این هورمون‌ها انسولین است (4). انسولین علاوه بر نقش آنابولیک خود، با کاهش اشتها و افزایش مصرف انرژی، عملکردی مشابه لپتین در تنظیم وزن بدن دارد و می‌تواند نقش مکمل یا تعدیل‌کننده در تنظیم سطح لپتین ایفا کند (2). انسولین ترشح لپتین از بافت چربی را تحریک می‌کند؛ چرا که ورود گلوکز به سلول‌های چربی از طریق انسولین موجب افزایش تولید لپتین می‌شود. فعالیت ورزشی نیز با افزایش توده عضلانی (که مسئول بیش از 75٪ برداشت گلوکز ناشی از انسولین است)، کاهش توده چربی و افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب، از تجمع چربی در عضلات جلوگیری می‌کند. همچنین با افزایش بیان گیرنده‌های انسولین و پروتئین‌های ناقل گلوکز (GLUT-4)، باعث بهبود پیام‌رسانی انسولین و افزایش حساسیت انسولینی می‌شود. این بهبود حساسیت انسولینی یکی از عوامل مؤثر در کاهش غلظت لپتین پس از تمرین است (2). مطالعات مختلف نیز نشان داده‌اند که کاهش لپتین پس از تمرین، می‌تواند به کاهش انسولین و بهبود حساسیت به آن مرتبط باشد (2). یافته‌های پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد که کاهش معنادار سطح انسولین، گلوکز و لپتین سرم، تنها در گروه تمرین در سرما (TR10) مشاهده شده است، در حالی که در گروه تمرین در دمای معمول (TR22) این تغییرات از نظر آماری معنادار نبودند.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که تمرینات ورزشی موجب کاهش درصد چربی بدن می‌شوند و با ایجاد تغییرات هورمونی ناشی از کاهش توده چربی- از جمله کاهش سطح انسولین- می‌توانند به کاهش غلظت لپتین سرم منجر شوند. در این تحقیق، تمرین در سرما در گروه TR10 باعث کاهش معنی‌دار درصد چربی و وزن بدن آزمودنی‌ها شد؛ در حالی که تمرین در دمای معمول در گروه TR22 چنین تاثیری نداشت. به‌نظر می‌رسد که میزان لپتین و انسولین به‌عنوان هورمون‌های مرتبط با تغییرات لپتین تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. بر این اساس، با توجه به عدم تغییر معنی‌دار درصد چربی و وزن بدن در گروه تمرین در دمای معمول، انتظار می‌رود که این شاخص‌ها در این گروه تغییر قابل توجهی نداشته باشند. نتایج حاصل از تحقیق حاضر در خصوص تأثیر بیشتر تمرینات ورزشی در سرما در مقایسه با تمرین ورزشی در دمای معمول بر درصد چربی، وزن بدن، کاهش گلوکز و افزایش حساسیت انسولینی با نتایج تحقیق گگنو و همکاران

(2020)، موتن[1] و همکاران (2021)، رن[2] و همکاران (2020) طیبی و همکاران (2024) همسو می باشد (5, 17, 21, 29). گگنو و همکاران (2020) اشاره کردند که دویدن بر روی تردمیل با سرعت زیر بیشینه در هوای سرد و دمای 4 درجه سانتی‌گراد در مقایسه با دمای نرمال و گرم، به طور معناداری حداکثر میزان اکسیداسیون چربی[3] (MFO) و همچنین Fatmax (شدت فعالیتی که در آن بیشترین اکسیداسیون چربی اتفاق می‌افتد) را در افراد جوان و سالم افزایش می دهد (5). همچنین موتن[4] و همکاران (2021) گزارش کردند که پس از یک دوره تمرین اینتروال در دمای صفر درجه، میزان متابولیسم چربی 358 درصد بیشتر از دمای 30 درجه بود (17). رن[5] و همکاران (2020) گزارش کردند که موش‌هایی که به مدت 6 هفته در دمای 22 درجه سانتی‌گراد به طور اختیاری روی چرخ دوار دویدند (دمای زیر 26 درجه برای موش‌ها سرما محسوب می‌شود)، در مقایسه با موش‌هایی که در دمای 30 درجه فعالیت داشتند، تغییرات معنی‌داری در کاهش وزن، افزایش تحمل گلوکز، بهبود حساسیت به انسولین و افزایش متابولیسم پایه نشان دادند (21). همچنین، طیبی و همکاران (2024) در تحقیق خود روی موش‌های دیابتی گزارش کردند که 8 هفته شنا در آب سرد (4 درجه سانتی‌گراد) در مقایسه با دمای معمول، به طور معنی‌داری میزان گلوکز خون را کاهش می‌دهد (29).

با وجود اینکه سازوکارهای دقیق مسئول بهبود شاخص‌های ترکیب بدنی و تن‌سنجی مانند کاهش وزن و درصد چربی بدن پس از فعالیت‌های ورزشی هنوز به طور کامل شناخته نشده‌اند، به نظر می‌رسد که سازگاری‌های متابولیکی، همچون افزایش اکسیداسیون چربی، افزایش متابولیسم پایه و افزایش مصرف اکسیژن پس از ورزش، می‌توانند عامل این تغییرات باشند (15). به نظر می‌رسد که شدت ورزش عامل تعیین‌کننده‌ای برای ترشح هورمون‌های لیپولیتیک و در نتیجه افزایش اکسیداسیون چربی باشد. به‌طور خاص، مشخص شده که برخی از این هورمون‌ها مانند کاتکولامین‌ها و هورمون رشد با افزایش شدت ورزش به طور چشمگیری افزایش می‌یابند که این امر منجر به افزایش آنزیم‌های لیپولیتیک در پلاسما و بافت چربی می‌شود. این فرآیند از طریق گیرنده‌های بتا آدرنرژیک، لیپولیز را در بافت‌های چربی افزایش داده و به بهبود ترکیب بدن، به‌ویژه در افراد چاق و غیرفعال کمک می‌کند. علاوه بر این، گزارش شده که میزان مصرف چربی در دوره ریکاوری بزرگسالان با شدت تمرین قبلی همبستگی مثبت و معناداری دارد. به‌طور خاص، نشان داده شده که افزایش مصرف چربی در طی ریکاوری پس از تمرینات HIIT با آزادسازی هورمون رشد (که موجب افزایش لیپولیز در چربی احشایی می‌شود) مرتبط است (15). به طوری که پس از اتمام تمرینات تناوبی، میزان متابولیسم برای مدت زمانی (یک تا دو ساعت و یا حتی تا 14 ساعت برای تمرینات با شدت بالا) بالا باقی می‌ماند. در این دوره، سرعت لیپولیز و اکسیداسیون چربی همچنان بالا می‌ماند و از طریق تحریک گیرنده‌های بتا آدرنرژیک، ذخایر گلیکوژنی عضله و کبد بازسازی می‌شود. بنابراین، تمرینات تناوبی با شدت بالا برای کاهش چربی بدن مفید و مؤثر هستند. در تحقیقات مختلف ثابت شده که تمرین در سرما، در مقایسه با تمرین در دمای نرمال، موجب افزایش بیشتری در کاتکولامین‌ها، کورتیزول و هورمون رشد می‌شود. به همین دلیل، تمرین در سرما احتمالاً نتایج بهتری نسبت به تمرین در دمای معمول بر ترکیب بدن دارد (28). همچنین، هرچند تمرینات تناوبی با شدت بالا با افزایش نرخ بالای هورمون‌ها (کورتیزول و کاتکولامین‌ها) برای تسریع لیپولیز همراه است، اما با توجه به زمان کوتاه‌تر تمرینات HIIT ، لزوماً با افزایش نرخ بالای اکسیداسیون اسیدهای چرب

[1] Munten
[2] Raun
[3] Maximal Fat Oxidation rate

آزاد (FFA) همراه نمی‌باشد. در تمرینات تناوبی با شدت بالا، در مقایسه با تمرینات تداومی، مصرف کربوهیدرات‌ها بیشتر است. (26). با وجود اینکه به نظر نمی‌رسد تمرینات تناوبی (HIIT) باعث افزایش حداکثر لیپولیز و اکسیداسیون اسیدهای چرب آزاد (FFA) شوند، اما این نوع تمرینات پتانسیل بیشتری برای کاهش ذخایر گلیکوژن عضلانی در مقایسه با تمرینات مداوم با شدت متوسط (MICT) در طول تمرین دارند. احتمالاً یکی از دلایل اثربخشی HIIT در کاهش چربی بدن، بازسازی ذخایر گلیکوژن عضلانی پس از پایان تمرین ورزشی است (15). تحقیقات متعددی نشان می‌دهند که تمرین در دمای سرد، در مقایسه با دمای معمول، باعث افزایش قابل‌توجهی در انرژی مصرفی می‌شود. به‌طور کلی، دمای محیط تمرین یکی از عوامل اصلی و مؤثر بر میزان انرژی مصرفی عضلات در حین فعالیت است. برای مثال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که در نتیجه یک جلسه تمرین اینتروال در دمای صفر درجه سانتی‌گراد، میزان متابولیسم چربی تا ۳۵۸ درصد بیشتر از تمرین در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (17). این امر به دلیل آن است که دمای سرد محیط از طریق تحریک سمپاتیک، موجب ترشح کورتیزول، نوراپی‌نفرین و FGF21 می‌شود که با افزایش متابولیسم و لیپولیز همراه‌اند. قرارگیری در سرما باعث کاهش قند و انسولین خون و افزایش حساسیت انسولینی شده است. برای مثال، دمای ۱۹ درجه مصرف انرژی را تا ۶۰ کیلوکالری در ساعت افزایش داده و قند خون را تا ۱۰ درصد و انسولین را تا ۲۸ درصد کاهش می‌دهد. همچنین، قرارگیری ۱۰ روز در دمای ۱۴ تا ۱۵ درجه باعث بهبود ۴۰ درصدی حساسیت انسولینی در افراد دیابتی شده است. (13, 27). در تحقیق حاضر، گروه کنترل C10 نیز کاهش خفیف در شاخص‌های چربی، لپتین و انسولین داشت، اما این کاهش معنی‌دار نبود که می‌تواند به دمای نه‌چندان پایین (۱۰ درجه)، مدت کم قرارگیری در سرما یا نوع آزمودنی‌ها مربوط باشد.

بنابراین، با توجه به نتایج تحقیقات قبلی، می‌توان نتایج تحقیق حاضر را این‌گونه توضیح داد که دلیل تأثیر بیشتر تمرینات در دمای سرد نسبت به دمای معمول بر کاهش وزن و چربی بدن، و در نتیجه کاهش بیشتر لپتین، انسولین و گلوکز خون، احتمالاً به افزایش قابل‌توجه مصرف گلیکوژن و چربی در حین تمرین مربوط می‌شود. این افزایش مصرف انرژی باعث نیاز به بازسازی بیشتر منابع انرژی مصرف‌شده در دوره ریکاوری می‌شود. علاوه بر این، تأثیرات سرما بر واکنش هورمون‌های رشد و کاتکولامین‌ها برای تنظیم سوخت‌وساز بدن در شرایط سرد، و همچنین اثرات مستقیم سرما بر کاهش گلوکز خون و افزایش حساسیت انسولینی، می‌تواند به توضیح این نتایج کمک کند. از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به عدم اندازه‌گیری سایر هورمون‌های مرتبط با اشتها از جمله گرلین و هورمون‌های مرتبط با سوخت و ساز چربی مثل هورمون رشد و کاتکولامین‌ها و نیز جنسیت آزمودنی‌ها که فقط مردان بودند را می توان نام برد. توصیه می‌شود در تحقیقات آینده میزان هورمون‌های ذکر شده نیز اندازه‌گیری شده و آزمودنی‌های زن نیز در تحقیق لحاظ شود.

نتیجه‌گیری کلی و پیام مقاله

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که انجام تمرینات اینتروال با شدت بالا در هوای سرد، در مقایسه با هوای معمولی، منجر به افزایش بیشتر متابولیسم در حین تمرین و دوره ریکاوری بین تکرارهای تمرین می‌شود. همچنین، این نوع تمرینات تأثیر بیشتری بر عوامل مؤثر بر لپتین، از جمله هورمون انسولین، گلوکز سرم، درصد چربی و وزن بدن دارد و در نتیجه موجب کاهش مؤثرتر لپتین می‌شود.

محدودیت‌ها

محدودیت‌های اصلی این تحقیق شامل عدم مشارکت زنان، بررسی نکردن سایر آدیپوکاین‌ها و تعداد کم شرکت کنندگان در هر گروه بود.

پیشنهاد برای مطالعات آتی

ارزیابی سایر آدیپوکاین ها و نیز انجام پژوهش بر روی زنان، برای مطالعات بعدی پیشنهاد میشود.

ملاحظات اخلاقی

رعایت دستورالعمل‌های اخلاقی

طرح پژوهش حاضر توسط کمیتهٔ اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد با کد شناسه اخلاق IR.IAU.B.REC.1398.012 تأیید و تصویب شده است.

منابع مالی

این مطالعه هیچ گونه حمایت مالی از سازمان‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرد .

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش تمام بخشهای این مطالعه مشارکت داشتند .

تعارض منافع

نویسندگان در این پژوهش هیچگونه تعارض منافعی را اعلام نکرده‌اند.

تقدیر و تشکر

از تمامی آزمودنی‌ها و افرادی که ما را در انجام این پژوهش همراهی و یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنیم

References

1. Allen LN, Wigley S, Holmer H, Barlow P. (2023). Non-communicable disease policy implementation from 2014 to 2021: A repeated cross-sectional analysis of global policy data for 194 countries. Lancet Glob Health.11(4):e525–e33.https://doi.org/10.1016/s2214-109x(23)00042-6
2. Athanasiou N, Bogdanis GC, Mastorakos G. (2023). Endocrine responses of the stress system to different types of exercise. Rev Endocr Metab Disord.24(2):251–66.https://doi.org/10.1007/s11154-022-09758-1
3. Ejtahed H-S, Hasani-Ranjbar S, Malmir H, Razmandeh R, Pakmehr A, Khorshidi Y, et al. (2024). Guideline for treatment of obesity in iranian adults. Iranian Journal of Diabetes and Lipid Disorders.24(1):1–14.http://ijdld.tums.ac.ir/article-1-6282-en.html
4. Fedewa MV, Hathaway ED, Ward-Ritacco CL, Williams TD, Dobbs WC. (2018). The effect of chronic exercise training on leptin: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Sports Med.48(6):1437–50.https://doi.org/10.1007/s40279-018-0897-1
5. Gagnon DD, Perrier L, Dorman SC, Oddson B, Lariviere C, Serresse O. (2020). Ambient temperature influences metabolic substrate oxidation curves during running and cycling in healthy men. Eur J Sport Sci.20(1):90–9.https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612949
6. Gagnon DD, Rintamaki H, Gagnon SS, Cheung SS, Herzig KH, Porvari K, et al. (2013). Cold exposure enhances fat utilization but not non-esterified fatty acids, glycerol or catecholamines availability during submaximal walking and running. Front Physiol.4:99.https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00099
7. Haney DE, Owen A, Fargo JS, Harrison SN, Chevalier MK, Buchanan CA, et al. (2017). Health-related benefits of exercise training with a sauna suit: A randomized, controlled trial. International Journal of Research in Exercise Physiology.13:21–38.https://www.researchgate.net/publication/323523380_Health-Related_Benefits_of_Exercise_Training_with_a_Sauna_Suit_A_Randomized_Controlled_Trial
8. Jackson AS, Pollock ML. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. Br J Nutr.40(3):497–504.https://doi.org/10.1079/bjn19780152
9. Jiang S, Bae JH, Wang Y, Song W. (2022). The potential roles of myokines in adipose tissue metabolism with exercise and cold exposure. Int J Mol Sci.23(19):11523.https://doi.org/10.3390/ijms231911523

10. Katsagoni CN, Georgoulis M, Papatheodoridis GV, Panagiotakos DB, Kontogianni MD. (2017). Effects of lifestyle interventions on clinical characteristics of patients with non-alcoholic fatty liver disease: A meta-analysis. Metabolism.68:119–32.https://doi.org/10.1016/j.metabol.2016.12.006
11. Kazemi A, Eslami R, Ghayed Ali M, Ghanbarzadeh M. (2015). Effects of 6 weeks of low volume high intensity interval training on serum levels of leptin, glucose, and body fat in young wrestlers. Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences.20(2):70–7.http://doi.org/10.22102/20.2.70
12. Kirichenko TV, Markina YV, Bogatyreva AI, Tolstik TV, Varaeva YR, Starodubova AV. (2022). The role of adipokines in inflammatory mechanisms of obesity. Int J Mol Sci.23(23):14982.https://doi.org/10.3390/ijms232314982
13. Latini G, Marcovecchio ML, Del Vecchio A, Gallo F, Bertino E, Chiarelli F. (2009). Influence of environment on insulin sensitivity. Environ Int.35(6):987–93.https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.03.008
14. Lu M-y. (2020). Effects of high-intensity interval training on lipid metabolism and chronic inflammation in obese organism. Genomics and Applied Biology.09:4310–7.https://doi.org/10.13417/j.gab.039.004310
15. Maillard F, Pereira B, Boisseau N. (2018). Effect of high-intensity interval training on total, abdominal and visceral fat mass: A meta-analysis. Sports Medicine.48:269–88.https://doi.org/10.1007/s40279-017-0807-y
16. Monikh K, Kashef M, Azad A, Ghasemnian A. (2015). Effects of 6 weeks resistance training on body composition, serum leptin and muscle strength in non-athletic men. Internal Medicine Today.21(2):135–40.https://doi.org/10.18869/acadpub.hms.21.2.135
17. Munten S, Menard L, Gagnon J, Dorman SC, Mezouari A, Gagnon DD. (2021). High-intensity interval exercise in the cold regulates acute and postprandial metabolism. J Appl Physiol (1985).130(2):408–20.https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00384.2020
18. Nielsen SS. Introduction to food analysis. (Springer;2024). Nielsen's food analysis. p. 3–14.
19. Pourranjbar M, Kazemi A, Arab M-j. (2019). Effect of high intensity interval training (hiit) on visceral and subcutaneous levels of leptin and plasma insulin and glucose in male wistar rats.http://sjku.muk.ac.ir/article-1-2517-en.html
20. Ramezani N, Dezhan M, Mortazavi SA, Baghaee Borzabadi M, Ahadi Z, Khalili SS. (2023). The effect of high intensity interval training on insulin resistance and serum levels and gene expression of irisin in subcutaneous adipose tissue of type 2 diabetic rats. Metabolism and Exercise.13(1):87–99.https://doi.org/10.22124/jme.2023.23732.239
21. Raun SH, Henriquez-Olguin C, Karavaeva I, Ali M, Moller LLV, Kot W, et al. (2020). Housing temperature influences exercise training adaptations in mice. Nat Commun.11(1):1560.https://doi.org/10.1038/s41467-020-15311-y
22. Rezaee Shirazi R. (2015). Effects of 12 weeks high intensity interval training on plasma adiponectin, leptin and insulin resistance in obese males with non-alcoholic fatty liver. Metabolism and Exercise.5(1):23–34.https://jme.guilan.ac.ir/article_1692_en.html
23. Sabouri M, Hatami E, Pournemati P, Shabkhiz F. (2021). Inflammatory, antioxidant and glycemic status to different mode of high-intensity training in type 2 diabetes mellitus. Mol Biol Rep.48(6):5291–304.https://doi.org/10.1007/s11033-021-06539-y
24. Saeidi A, Haghighi MM, Kolahdouzi S, Daraei A, Abderrahmane AB, Essop MF, et al. (2021). The effects of physical activity on adipokines in individuals with overweight/obesity across the lifespan: A narrative review. Obes Rev.22(1):e13090.https://doi.org/10.1111/obr.13090
25. Sagelv EH, Hopstock LA, Johansson J, Hansen BH, Brage S, Horsch A, et al. (2020). Criterion validity of two physical activity and one sedentary time questionnaire against accelerometry in a large cohort of adults and older adults. BMJ Open Sport Exerc Med.6(1):e000661.https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000661
26. Sanca-Valeriano S, Espinola-Sanchez M, Caballero-Alvarado J, Canelo-Aybar C. (2023). Effect of high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on body composition and insulin sensitivity in overweight and obese adults: A systematic review and meta-analysis. Heliyon.9(10):e20402.https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20402

27. Shams S, Tavasolian M, Amani-Shalamzari S, Motamedi P, Rajabi H, Weiss K, et al. (2024). Effects of swimming in cold water on lipolysis indicators via fibroblast growth factor-21 in male wistar rats. Biochem Biophys Rep.38:101662.https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2024.101662
28. Stuempfle KJ, Nindl BC, Kamimori GH. (2010). Stress hormone responses to an ultraendurance race in the cold. Wilderness Environ Med.21(1):22–7.https://doi.org/10.1016/j.wem.2009.12.020
29. Tayebi SM, Motaghinasab S, Eslami R, Ahmadabadi S, Basereh A, Jamhiri I. (2024). Impact of 8-week cold-and warm water swimming training combined with cinnamon consumption on serum metrnl, hdac5, and insulin resistance levels in diabetic male rats. Heliyon.10(8):e29742.https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29742
30. van Beek S, Hashim D, Bengtsson T, Hoeks J. (2023). Physiological and molecular mechanisms of cold-induced improvements in glucose homeostasis in humans beyond brown adipose tissue. Int J Obes (Lond).47(5):338–47.https://doi.org/10.1038/s41366-023-01270-z