The effect of high-intensity interval training on physical function and energy intake in male rats consuming a high-fat diet

Asiyeh Taji Tabas[1], Marziyeh Saghebjoo[1*], Mehdi Hedayati[2], Reza Ghahremani[1]

1. Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran
2. Cellular and Molecular Endocrine Research Center, Research Institute for Endocrine Sciences, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

*** Corresponding author e-mail: m_saghebjoo@birjand.ac.ir**

Abstract

Background and Objective: High-fat diet (HFD) leads to adverse changes in skeletal muscles. Regular exercise reduces skeletal muscle disorders by maintaining physical function. This study aimed to assess the effect of high-intensity interval training (HIIT) on muscle strength, endurance capacity, food consumed, energy intake, and Lee index in male rats consuming a HFD and normal diet (ND).

Materials and Methods: 44 rats were divided into four equal groups, including ND control, HFD control, HIIT+ ND, and HIIT+ HFD. The HIIT was performed for 12 weeks at 85-90% of the maximum speed. Data were analyzed by repeated measures analysis of variance and one-way analysis of variance at a significance level of $P \leq 0.05$.

Results: Food consumed and energy intake were lower and higher, respectively in the HFD control group compared with the ND control. Also, the body weight, Lee index, food consumed, and energy intake in the HIIT+HFD group were significantly lower than in the HFD control group and Lee index and food consumed in the HIIT+HFD group were significantly lower than in the HIIT+ND group. Furthermore, the endurance capacity in the HIIT+HFD group was significantly higher than in the HFD control group and in the HIIT+ND group was significantly higher than the ND and HFD controls. Absolute and relative muscle strength also increased and decreased in all groups, respectively.

Conclusion: It seems that performing HIIT despite consuming a HFD leads to improved physical function and reduced body weight gain.

Keywords: High-intensity interval training, High-fat diet, Muscle strength, Endurance capacity, Lee index

Received: Aug 12, 2023 **Revised:** Dec 09, 2023 **Accepted:** Dec 25, 2023

How to cite this article: Taji Tabas A, Saghebjoo M, Niakan M, Hedayati M, Ghahremani R. The effect of high-intensity interval training on physical function and energy intake in male rats consuming a high-fat diet. Daneshvar Medicine 2024; 31(5):35-48. doi: 10.22070/DANESHMED.2024.18065.1383

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial License 4.0 (CCBYNC), where it is permissible to download, share, remix, transform, and buildup the work provided it is properly cited. The work cannot be used commercially without permission from the journal.

اثر تمرین تناوبی شدید بر عملکرد بدنی و انرژی دریافتی موش‌های صحرایی نر دریافت‌کننده رژیم غذایی پر چرب

آسیه تاجی طبس[۱]، مرضیه ثاقب‌جو[۱*]، مهدی هدایتی[۲]، رضا قهرمانی[۱]

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲. مرکز تحقیقات سلولی مولکولی غدد درون ریز، پژوهشکده علوم غدد درون ریز، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: مرضیه ثاقب جو **Email:** m_saghebjoo@birjand.ac.ir

چکیده

مقدمه و هدف: رژیم غذایی پرچرب (HFD)، منجر به تغییرات نامطلوب در عضلات اسکلتی می‌شود. فعالیت ورزشی منظم از طریق حفظ عملکرد بدنی، باعث کاهش اختلالات در عضلات اسکلتی می‌شود. هدف مطالعه حاضر، بررسی اثر تمرین تناوبی شدید (HIIT) بر قدرت عضلانی، ظرفیت استقامتی، غذای مصرفی، انرژی دریافتی و شاخص لی در موش‌های صحرایی نر دریافت‌کننده HFD و رژیم غذایی نرمال (ND) بود.

مواد و روش ها: ٤٤ سر موش صحرایی به چهار گروه مساوی شامل کنترل ND (ND control) ، کنترل HFD (HFD control)، HIIT+ND و HIIT+HFD تقسیم شدند. برنامه HIIT به مدت ۱۲ هفته با شدت ۹۰-۸۵ درصد حداکثر سرعت انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آنالیز واریانس با اندازه‌گیری تکراری و آنالیز واریانس یک‌طرفه در سطح P≤ ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج: غذای مصرفی و انرژی دریافتی در گروه کنترل HFD نسبت به کنترل ND، به‌ترتیب پایین‌تر و بالاتر بود. همچنین وزن بدن، شاخص لی، غذای مصرفی و انرژی دریافتی در گروه HIIT+HFD در مقایسه با کنترل HFD و شاخص لی و غذای مصرفی در گروه HIIT+HFD در مقایسه با گروه HIIT+ND به‌طور معناداری پایین‌تر بود. علاوه‌براین، ظرفیت استقامتی در گروه HIIT+HFD در مقایسه با کنترل HFD و در گروه HIIT+ND در مقایسه با گروه‌های کنترل ND و HFD به‌طور معناداری بالاتر بود. قدرت مطلق و نسبی عضلانی نیز در تمامی گروه‌ها به‌ترتیب افزایش و کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد انجام HIIT با وجود مصرف HFD، سبب بهبود عملکرد بدنی و کاهش شیب افزایش وزن بدن می‌شود.

واژه های کلیدی: تمرین تناوبی شدید، رژیم غذایی پرچرب، قدرت عضلانی، ظرفیت استقامتی، شاخص لی

وصول مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱
اصلاحیه نهایی: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

مقدمه

رژیم غذایی پرچرب[1] (*HFD*) و سبک زندگی بی‌تحرک شرایط نگران‌کننده بهداشت عمومی است که می‌تواند باعث چاقی، آتروفی عضله اسکلتی و کاهش عملکرد ورزشی شود (۱). بر اساس گزارش برخی مطالعات، مصرف طولانی‌مدت *HFD*، باعث تجمع چربی داخل سلولی عضله اسکلتی شده است. همچنین تجمع بیش از حد چربی می‌تواند به اختلال در عملکرد عضلات اسکلتی جوندگان منجر شود (۳-۲) و باعث از دست‌دادن قدرت عضلانی می‌شود (٤). در این راستا، ریواس و همکاران (۲۰۱٦) مشاهده کردند که کاهش توده و قدرت عضلانی در عضلات اسکلتی موش‌های چاق جوان و موش‌های غیرچاق مسن، با افزایش لیپیدهای زیست‌فعال شامل سرامید و دی‌آسیل گلیسرول‌ها مرتبط است (۵). مشارکت در فعالیت ورزشی روشی امیدوارکننده برای افزایش ظرفیت استقامتی و قدرت عضلات اسکلتی است (٦). سازگاری عضلات اسکلتی ناشی از فعالیت ورزشی نقش کلیدی در افزایش عملکرد ورزشی و مزایای متابولیک دارد؛ باعث اعمال بار مکانیکی می‌شود و انقباض عضلانی و مقاومت در برابر خستگی را بهبود می‌بخشد (۹-۷). سلدین و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که ۱٦ هفته تمرین تناوبی شدید[2] (*HIIT*)، باعث افزایش عملکرد بدنی (قدرت، استقامت، سرعت راه‌رفتن) در موش‌های نر می‌شود (۱۰). همچنین در مطالعه دیگری، ژنگ و همکاران (۲۰۲۰)، افزایش ظرفیت استقامتی موش‌های صحرایی نر را متعاقب تمرین استقامتی دویدن روی نوارگردان (چهار هفته، پنج جلسه در هفته) نشان دادند (۹). به‌طور کلی، تمرین ورزشی بر سیستم‌های فیزیولوژیکی متعددی تأثیر می‌گذارد که در طول زمان منجر به تغییر در ترکیب بدن و عملکرد عضلات اسکلتی می‌شود (۱۱-۸).

از جمله موانع اصلی در انجام فعالیت ورزشی می‌توان به کمبود زمان گزارش‌شده و ناتوانی در پایبندی به برنامه‌های تمرینی طولانی‌مدت اشاره کرد (۱۲) و *HIIT* یک شکل مؤثر و کارآمد در مدت زمان اجرای تمرینات هوازی است که زمان انجام فعالیت ورزشی را کاهش می‌دهد و اثرات مثبتی بر ترکیب بدن و متابولیسم انرژی دارد (۱۲-۱۱). از سوی دیگر، با توجه به مشکلات مرتبط با مدیریت و حفظ یک برنامه ورزشی منظم، استراتژی‌های دیگری از جمله رویکردهای تغذیه، توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. ازآنجا که وادارکردن نمونه‌های انسانی به مصرف *HFD* و هم‌زمان انجام تمرین شدید، به لحاظ ملاحظات اخلاقی، مطالعه روی جمعیت انسانی را محدود می‌کند؛ ازاین‌رو، مطالعه حاضر روی موش‌های صحرایی انجام شد. بررسی اثر تمرین ورزشی هم‌زمان با مصرف *HFD* بر عوارض احتمالی ناشی از این رژیم‌ها بر پارامترهای آنتروپومتریکی، عضلانی و دریافت انرژی، می‌تواند در شناسایی استراتژی‌های مناسب در جهت تعدیل عوارض *HFDs* مؤثر باشد، لذا مطالعه حاضر اثر ۱۲ هفته *HIIT* را بر قدرت عضلانی، ظرفیت استقامتی، حجم غذای مصرفی، انرژی دریافتی، وزن بدن و شاخص لی[3] (مشابه با شاخص توده بدن[4] (*BMI*) در انسان، برای ارزیابی چاقی در موش‌ها استفاده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که موش‌های دارای شاخص لی بالاتر از ۳۱۰، چاق در نظر گرفته می‌شوند (۱۳)) در موش‌های صحرایی نر دریافت‌کننده *HFD* و رژیم غذایی نرمال[5] (*ND*) مورد بررسی قرار داد..

مواد و روش‌ها

حیوانات

در این مطالعه تجربی و آزمایشگاهی، تعداد ٤٤ سر موش صحرایی نر ویستار ۸-۷ هفته‌ای با محدودهٔ وزنی ۲۰۰-۱۵۰ گرم از مرکز تحقیقات انستیتو پاستور (کرج، ایران) خریداری شدند. موش‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه حیوانات دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در قفس‌های پلی‌کربنات (سه موش در هر قفس) و در شرایط استاندارد (دمای ۲٤-۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۳۰-۲۰ درصد و چرخه روشنایی-تاریکی ۱۲ ساعته) نگهداری شدند. تعداد آزمودنی در هر گروه، با استناد به حجم نمونه در مطالعات مشابه ۱۰ سر در نظر گرفته شد (۱۵-۱٤)، و با در نظر گرفتن ۱۰ درصد ریزش احتمالی، تعداد ۱۱ سر موش در

[1] *High-fat diet*
[2] *High-intensity interval training*
[3] *Lee index*
[4] *Body mass index*
[5] *Normal diet*

هر گروه قرار گرفت. پس از پنج روز آشنایی با محیط آزمایشگاه و تغذیه با رژیم غذایی نرمال، موش‌ها به‌صورت تصادفی به چهار گروه مساوی شامل کنترل HFD و کنترل ND، HIIT+HFD و HIIT+ND تقسیم شدند. لازم به ذکر است که طی مراحل مطالعه، دسترسی به آب و غذا برای تمامی گروه‌ها آزادانه بود. ذکر این نکته ضروری است که در طول مطالعه، یک موش از گروه HIIT+ND تلف شد و بنابراین آنالیز نهایی داده‌ها بر اساس ٤٣ سر موش انجام پذیرفت.

پروتکل رژیم غذایی

رژیم غذایی پرچرب و نرمال به‌صورت پلت از پژوهشکده زیست‌فناوری رؤیان اصفهان تهیه شد. حجم غذای مصرفی از کم‌کردن وزن غذای باقی‌مانده بعد از ٢٤ ساعت از وزن غذای گذاشته‌شده در ٢٤ ساعت قبل، محاسبه شد و انرژی دریافتی روزانه نیز بر اساس حاصل‌ضرب میزان گرم غذای مصرفی در هر روز در مقدار کالری در هر گرم از غذای مصرفی اندازه‌گیری شد.

رژیم غذایی پرچرب:

شامل ٤٠ درصد انرژی دریافتی از چربی، ١٧ درصد انرژی دریافتی از پروتئین و ٤٣ درصد انرژی دریافتی از کربوهیدرات بر اساس رژیم غذایی در تحقیقات روی نمونه‌های حیوانی با کد D12079B بود (١٦). میزان انرژی در هر گرم از این غذا، معادل ٤/٧ کیلوکالری بود و موش‌های گروه‌های HIIT+HFD و کنترل HFD با این رژیم تغذیه شدند.

رژیم غذایی نرمال:

شامل ١٦ درصد انرژی دریافتی از چربی، ٢٠ درصد انرژی دریافتی از پروتئین و ٦٤ درصد انرژی دریافتی از کربوهیدرات بر اساس رژیم غذایی در تحقیقات روی نمونه‌های حیوانی با کد D11112201 بود (١٧). میزان انرژی در هر گرم از این غذا، معادل ٣/٤ کیلوکالری بود و موش‌های گروه‌های HIIT+ND و کنترل ND با این رژیم تغذیه شدند.

برنامه تمرین

آشناسازی با نوارگردان:

ابتدا موش‌های گروه‌های HIIT+HFD و HIIT+ND به مدت پنج روز (یک جلسه در هر روز)، پروتکل آشناسازی با نوارگردان (شیب صفردرجه) را مطابق برنامه جدول ١ انجام دادند (١٩–١٨)

.

جدول ١. برنامه هفته آشناسازی روی نوارگردان

جلسه اول	**١٠ دقیقه با سرعت ١٢ متر بر دقیقه**
جلسه دوم	**٢٠ دقیقه با سرعت ١٢ متر بر دقیقه**
جلسه سوم	**٣٠ دقیقه با سرعت ١٢ متر بر دقیقه**
جلسه چهارم	**١٠ دقیقه با سرعت ١٢ متر بر دقیقه+ ٥ دقیقه با سرعت ١٨ متر بر دقیقه**
جلسه پنجم	**(٥ دقیقه با سرعت ١٠ متر بر دقیقه + ٤ دقیقه با سرعت ١٨ متر بر دقیقه) × ٢ (بین دو تناوب یک دقیقه فاصله بود).**

اندازه‌گیری حداکثر سرعت:

پس از ٤٨ ساعت از آخرین جلسه آشناسازی، موش‌های گروه‌های تمرین متحمل یک آزمون ورزشی فزاینده تا مرز خستگی شدند تا حداکثر سرعت دویدن روی نوارگردان (با شیب ٢٥ درجه) تخمین زده شود. برای آزمون حداکثر سرعت دویدن، ابتدا برنامه گرم‌کردن موش‌ها به مدت شش متر بر دقیقه با شیب صفر انجام شد. سپس هر دو دقیقه، سرعت نوارگردان دو متر در دقیقه با شیب ثابت ٢٥ درجه، افزایش یافت. این افزایش سرعت تا زمانی ادامه یافت که موش‌ها با وجود تحریک الکتریکی، بیش از ١٥ ثانیه روی نوارگردان استراحت کردند و تلاش مجددی جهت ادامه حرکت روی نوارگردان انجام ندادند. این سرعت معادل با حداکثر سرعت دویدن در نظر گرفته شد (٢١–٢٠). لازم به ذکر است که اندازه‌گیری حداکثر سرعت موش‌ها هر دو هفته یک بار در طول پروتکل ١٢ هفته‌ای اندازه‌گیری و شدت جدید تمرین بر اساس آن تعیین شد (٢٢).

پروتکل HIIT:

این پروتکل به مدت ۱۲ هفته (پنج جلسه در هفته، هر جلسه با احتساب گرم و سرد کردن ۷۰ دقیقه) روی نوارگردان با شیب ۲۵ درجه انجام شد؛ به‌طوری‌که، هر جلسه تمرین شامل ۱۰ تناوب چهاردقیقه‌ای با شدت ۹۰–۸۵ درصد حداکثر سرعت (معادل ۹۰–۸۵ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی) همراه با دو دقیقه استراحت فعال بین دو تناوب با شدت ۵۰ درصد حداکثر سرعت (معادل ۵۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی) بود. سرعت نوارگردان به‌صورت پیش‌رونده تا هفته دهم افزایش یافت و در هفته یازدهم و دوازدهم سرعت نوارگردان حفظ شد. گرم‌کردن و سردکردن نیز به مدت پنج دقیقه با شدت کم (۵۰–۴۵ درصد حداکثر سرعت)، در شروع و پایان هر جلسه تمرین اعمال شد (۲۳).

گروه‌های کنترل نیز تحت برنامه تمرین نبودند، اما به دلیل همسان‌کردن دریافت استرس احتمالی ناشی از صدای نوارگردان، هنگام دویدن گروه‌های تمرینی، قفس‌های نگهداری موش‌های گروه کنترل (بدون وجود آب و غذا) در مجاورت نوارگردان قرار می‌گرفت.

اندازه‌گیری وزن و شاخص لی:

در پایان هر هفته از مدت زمان اجرای مطالعه، وزن بدن موش‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با حساسیت ۰/۱ گرم، (مدل 440-N47، کمپانی کرن[1]، کشور آلمان) اندازه‌گیری شد. همچنین قد (با استفاده از خط‌کش تی با حساسیت یک میلی‌متر) و شاخص لی ((وزن ۰/۳۳(گرم)/ طول بینی تا مقعد (سانتی‌متر × ۱۰۰۰) (۲٤) قبل از شروع پروتکل تمرین و هر چهار هفته در طول مطالعه اندازه‌گیری شد.

ارزیابی قدرت مطلق و نسبی عضلانی:

آزمون‌های عملکرد بدنی، شامل ارزیابی قدرت مطلق و نسبی عضله بود که در چهار مرحله شامل ابتدای مداخله تمرین و تغذیه و در پایان هر چهار هفته مداخله در ساعت هشت صبح انجام شد.

برای ارزیابی قدرت عضلانی از آزمون وزنه استفاده شد. آزمون وزنه شامل یک صفحه سیمی محقق‌ساخته برای گرفتن توسط موش بود که به آن حلقه‌های فلزی متصل می‌شد. موش‌ها با گرفتن ناحیه دم توسط آزمون‌گر، آویزان می‌شدند و اجازه داده می‌شد نخستین وزنه که روی میز آزمایشگاه قرار داشت را با پنجه‌های اندام‌های جلویی خود بگیرد. بلافاصله پس از اینکه موش، اولین وزنه (۷۰ گرم) را با پنجه‌های اندام‌های جلویی نگه می‌داشت، آزمون‌گر با گرفتن دم موش، موش را تا جایی بالا می‌آورد که حلقه موجود در پنجه‌های جلویی حیوان از سطح میز جدا شود و از لحظه جداشدن حلقه از سطح میز، مدت زمان نگه‌داشتن وزنه ثبت می‌شد. اگر موش، وزنه را در کمتر از سه ثانیه نگه می‌داشت، حدود ۱۰ ثانیه به موش استراحت اعمال می‌شد و یک بار دیگر آزمون وزنه تکرار می‌شد؛ درحالی‌که اگر سه بار شکست می‌خورد، آزمون پایان می‌یافت و حداکثر وزنه مرحله قبلی ثبت می‌شد. اگر موش وزنه را به مدت سه ثانیه نگه می‌داشت، آزمون با وزنه سنگین‌تر بعدی ادامه می‌یافت؛ تا جایی که موش نتواند مراحل آزمون وزنه سنگین‌تر را کامل کند (۲۵). امتیاز در این آزمون، از حاصل‌ضرب تعداد سنگین‌ترین حلقه‌ها برای سه ثانیه کامل، ضرب در زمان نگه‌داشتن آنها (ثانیه) محاسبه شد (۲۵). قدرت نسبی عضلانی نیز از تقسیم قدرت عضلانی به وزن بدن هر موش محاسبه شد (۲٦).

ارزیابی ظرفیت استقامتی:

ظرفیت استقامت هر موش با استفاده از پروتکل تحمل ورزش روی نوارگردان در دو مرحله شامل ابتدای مداخله تمرین و تغذیه و در پایان پروتکل تمرین در ساعت هشت صبح اندازه گیری گردید. مطابق با پروتکل، تمرین روی نوارگردان با سرعت شش متر در دقیقه ابتدا در شیب صفر درجه به مدت پنج دقیقه شروع می‌شد و سپس هر دو دقیقه، سرعت نوارگردان دو متر در دقیقه با شیب ثابت ۲۵ درجه، افزایش می‌یافت و تا زمانی ادامه پیدا می‌کرد که موش‌ها با وجود تحریک الکتریکی، بیش از ۱۵ ثانیه روی نوارگردان استراحت کرده، و مجدد جهت ادامه حرکت روی نوارگردان تلاش نکردند (۲۳). شاخص ارزیابی ظرفیت استقامتی، مجموع زمان این آزمون در نظر گرفته شد (۱٤).

[1] *Kern*

روش‌های آماری

بررسی نرمال‌بودن توزیع داده‌ها، توسط آزمون شاپیرو-ویلک[1] و بررسی فرض برابری واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون[2] انجام شد. آزمون‌های آماری مورد استفاده شامل آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری تکراری[3] و آزمون تعقیبی بونفرونـــی[4] بود. محاسبات آماری با نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۵ در سطح معناداری P≤۰/۰۵ انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار گراف‌پد پریسم[5] نسخه ۸ استفاده شد.

نتایج

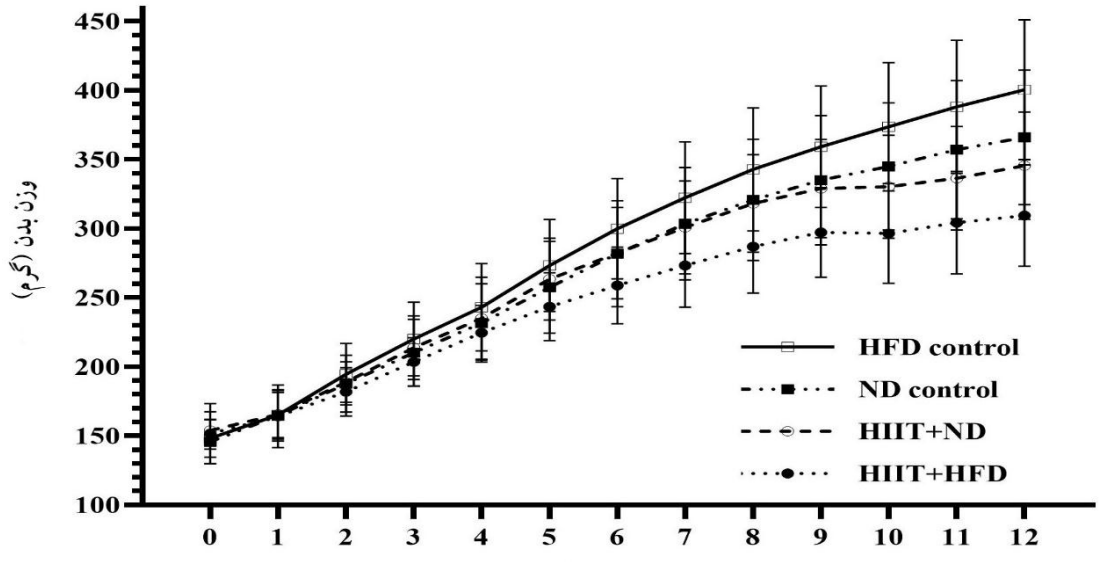
وزن بدن: تفاوت معناداری بین گروه‌ها در میانگین وزن بدن در ابتدای مداخله وجود نداشت (P>۰/۰۵). آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری تکراری، معناداری اثرات زمان، گروه و تعامل زمان×گروه را نشان داد (مقادیر P به‌ترتیب ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۱). در مقایسه با مقادیر پایه، افزایش وزن بدن قابل توجهی در تمامی گروه‌های مطالعه بعد از هفته دوازدهم مشاهده شد (در تمامی گروه‌ها P≤۰/۰۵)، به‌گونه‌ای که گروه کنترل HFD، بیشترین افزایش وزن بدن را در بین گروه‌های مطالعه داشت.

علاوه‌براین، بر اساس مقایسه‌های زوجی، در پایان هفته دوازدهم وزن بدن در گروه‌های HIIT+HFD و HIIT+ND به‌طور معناداری پایین‌تر از گروه کنترل HFD بود (مقادیر P به‌ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۷) (نمودار ۱. الف).

شاخص لی:

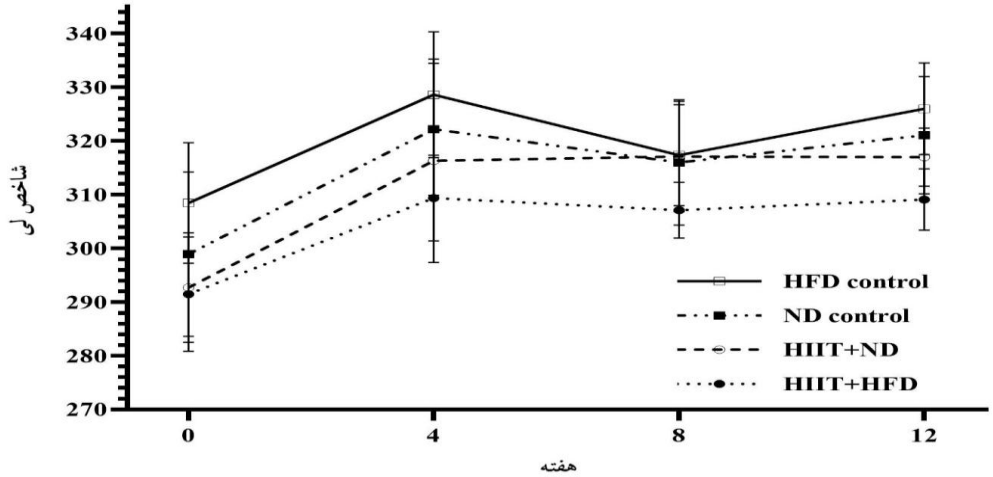
در ابتدای مداخله، میانگین شاخص لی در گروه‌های HIIT+HFD و HIIT+ND به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل HFD بود (P≤۰/۰۵) و بین سایر گروه‌ها تفاوت معناداری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). نتایج حاضر، عدم تغییر معنادار در مقادیر شاخص لی در تعامل زمان×گروه را نشان داد (P=۰/۲٤)، درحالی‌که عامل زمان و عامل گروه معنادار بود (مقادیر P به‌ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱). مقایسه نتایج در پایان مداخله نسبت به هفته اول، افزایش معنادار شاخص لی در تمامی گروه‌های مطالعه را نشان داد (P≤۰/۰۵). علاوه‌براین، در پایان هفته دوازدهم، شاخص لی در گروه HIIT+HFD پایین‌تر از گروه‌های HIIT+ND و کنترل HFD (مقادیر P به‌ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۰۰۱) و در گروه HIIT+ND نیز پایین‌تر از کنترل HFD بود (P=۰/۰۱) (نمودار ۱. ب).

الف)



[1] *Shapiro-Wilk test*
[2] *Levene's test*
[3] *Repeated measures analysis of variance*
[4] *Bonferroni*
[5] *GraphPad prism*

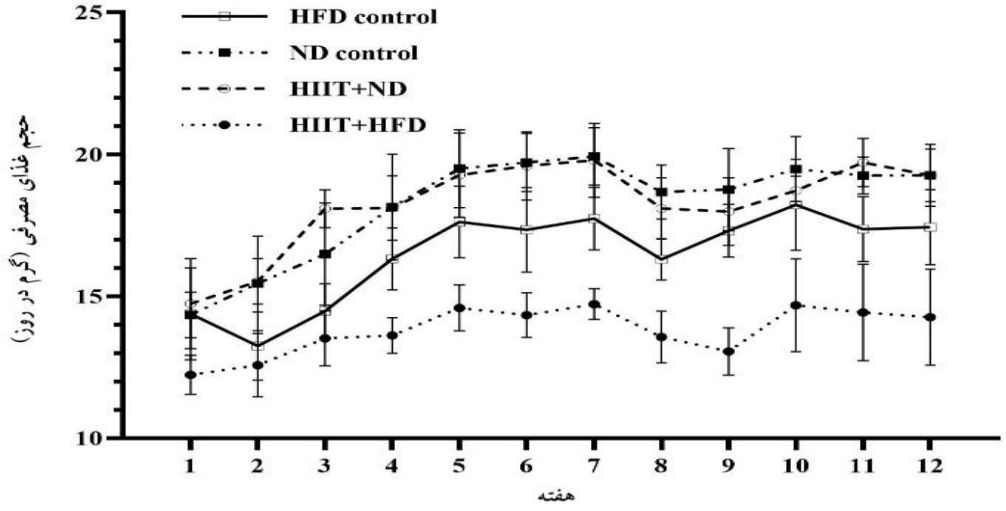
ب)



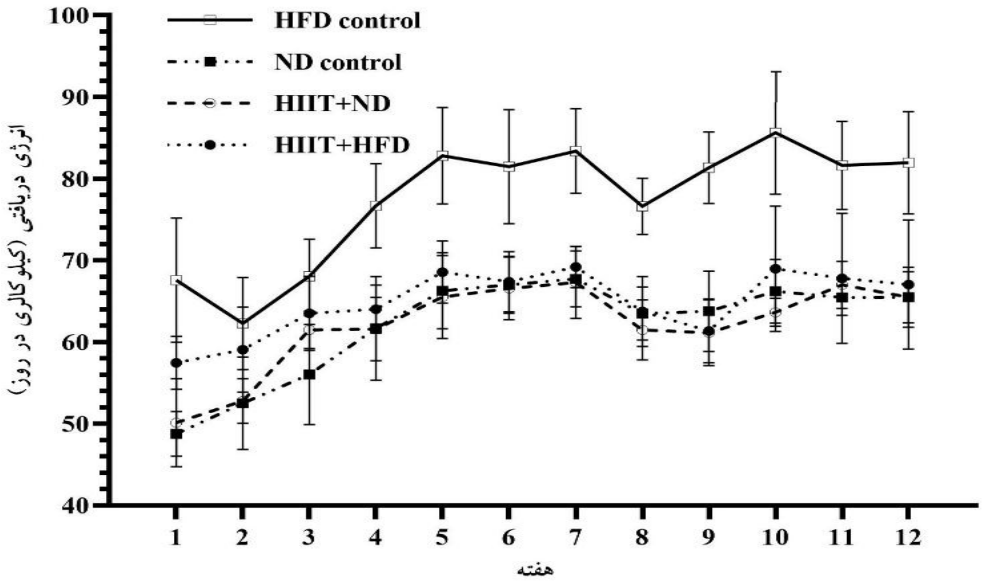
نمودار ۱. مقایسه تغییرات (الف) وزن بدن و (ب) شاخص لی در گروه‌های مطالعه، **HFD control**: کنترل رژیم غذایی پرچرب، **ND control**: کنترل رژیم غذایی نرمال، **HIIT+ND**: تمرین تناوبی شدید همراه با رژیم غذایی نرمال و **HIIT+HFD**: تمرین تناوبی شدید همراه با رژیم غذایی پرچرب (تفاوت‌های معنادار در متن مشخص شده است).

حجم غذای مصرفی و انرژی دریافتی: بر اساس نتایج، اثرات زمان، گروه و تعامل زمان ×گروه در حجم غذای مصرفی (مقادیر P در هر سه مورد مساوی ۰/۰۱) و انرژی دریافتی (مقادیر P در هر سه مورد مساوی ۰/۰۱) معنادار بود. میزان حجم غذای مصرفی و انرژی دریافتی گروه‌ها طی دوازده هفته، روند ثابت افزایشی یا کاهشی نداشت و با نوسان همراه بود. حجم غذای مصرفی و انرژی دریافتی در هفته دوازدهم نسبت به هفته اول در تمامی گروه‌های مطالعه، افزایش معناداری را نشان داد (در تمامی گروه‌ها P≤۰/۰۵). همچنین، حجم غذای مصرفی در گروه HIIT+HFD در مقایسه با گروه HIIT+ND و در گروه کنترل HFD در مقایسه با گروه کنترل ND در تمام هفته‌ها کمتر بود (P≤۰/۰۵) و در گروه HIIT+HFD در مقایسه با گروه کنترل HFD نیز در تمام هفته‌ها (به‌جز هفته دوم و سوم) پایین‌تر و در گروه HIIT+ND در مقایسه با گروه کنترل HFD بالاتر بود (به جز هفته نهم و دهم) (P≤۰/۰۵). از نتایج دیگر این مطالعه، بالاتربودن مقدار انرژی دریافتی در گروه کنترل HFD در مقایسه با گروه‌های HIIT+HFD (به‌جز هفته دوم) و HIIT+ND و کنترل ND (در تمام هفته‌ها) بود (P≤۰/۰۵). همچنین انرژی دریافتی در گروه HIIT+HFD در مقایسه با گروه HIIT+ND در تمام هفته‌ها بالاتر بود که البته فقط در هفته دوم و دهم معنادار بود (P≤۰/۰۵) (نمودار ۲. الف و ب)

الف)



ب)

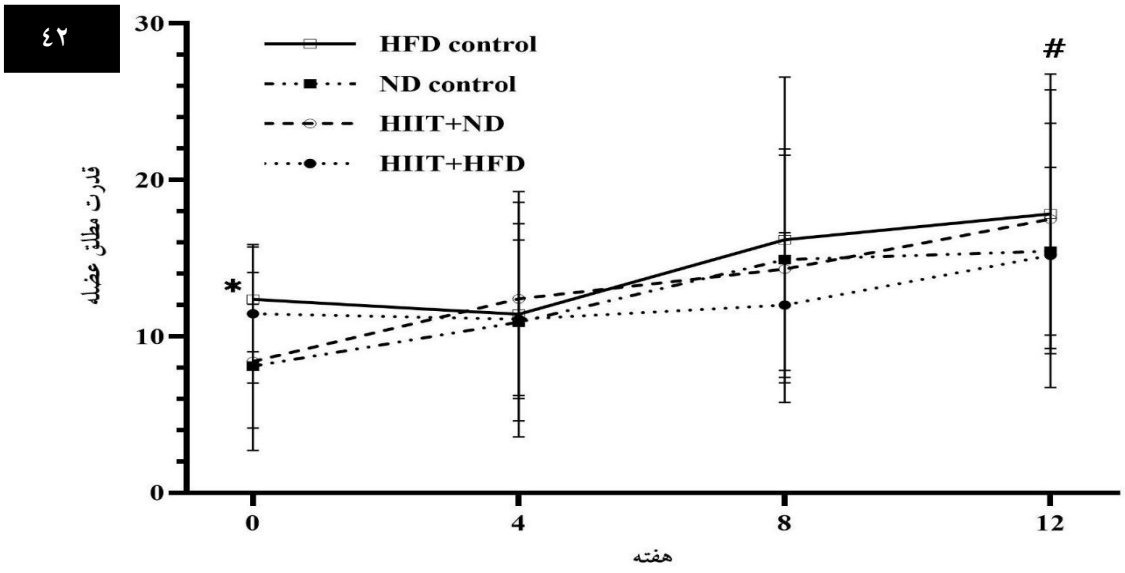


نمودار ۲. مقایسه تغییرات (الف) حجم غذای مصرفی و (ب) انرژی دریافتی در گروه‌های مطالعه (تفاوت‌های معنادار در متن مشخص شده است).

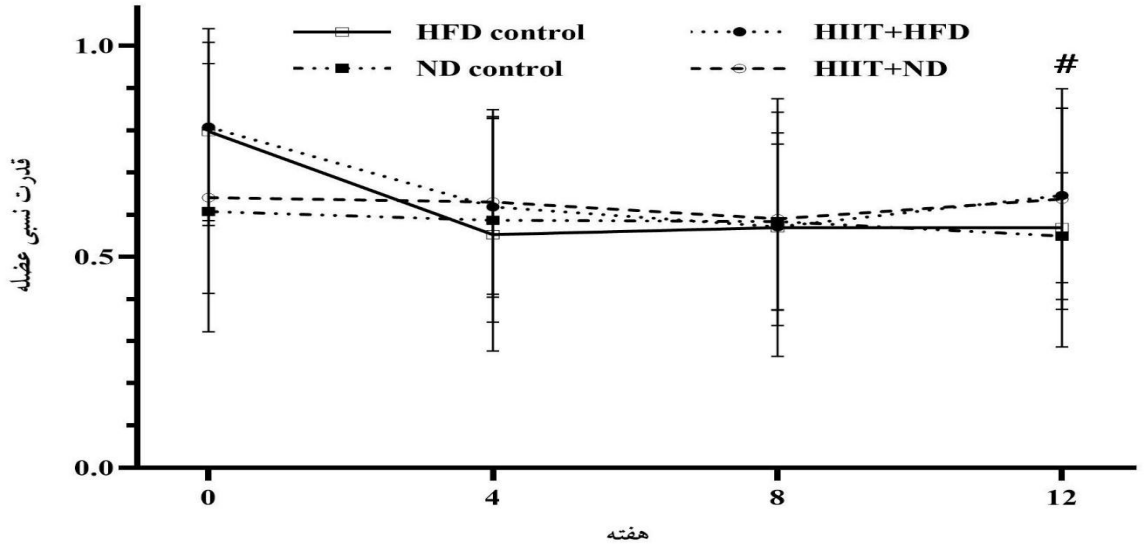
قدرت مطلق و نسبی عضله

در ابتدای مداخله، میانگین قدرت مطلق در گروه کنترل HFD به‌طور معناداری بیشتر از گروه‌های کنترل ND و HIIT+ND بود (P≤۰/۰۵)، و تفاوت معناداری بین گروه‌ها در میانگین قدرت نسبی وجود نداشت (P>۰/۰۵). بر اساس نتایج، اثرات گروه و تعامل زمان×گروه در مقادیر قدرت مطلق (مقادیر P به‌ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۴۲) و قدرت نسبی (مقادیر P به‌ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۱۲) معنادار نبود؛ درحالی‌که معناداری اثر زمان در قدرت مطلق و قدرت نسبی مشاهده شد (مقادیر P در هر دو مورد مساوی ۰/۰۱)؛ به‌گونه‌ای که قدرت مطلق در تمامی گروه‌ها در هفته دوازدهم نسبت به هفته اول افزایش یافت (P≤۰/۰۵ ، نمودار۳. الف)، اما مقادیر قدرت نسبی در هفته دوازدهم نسبت به هفته اول در تمامی گروه‌ها کاهش معناداری یافت (P≤۰/۰۵، نمودار ۳. ب).

الف)



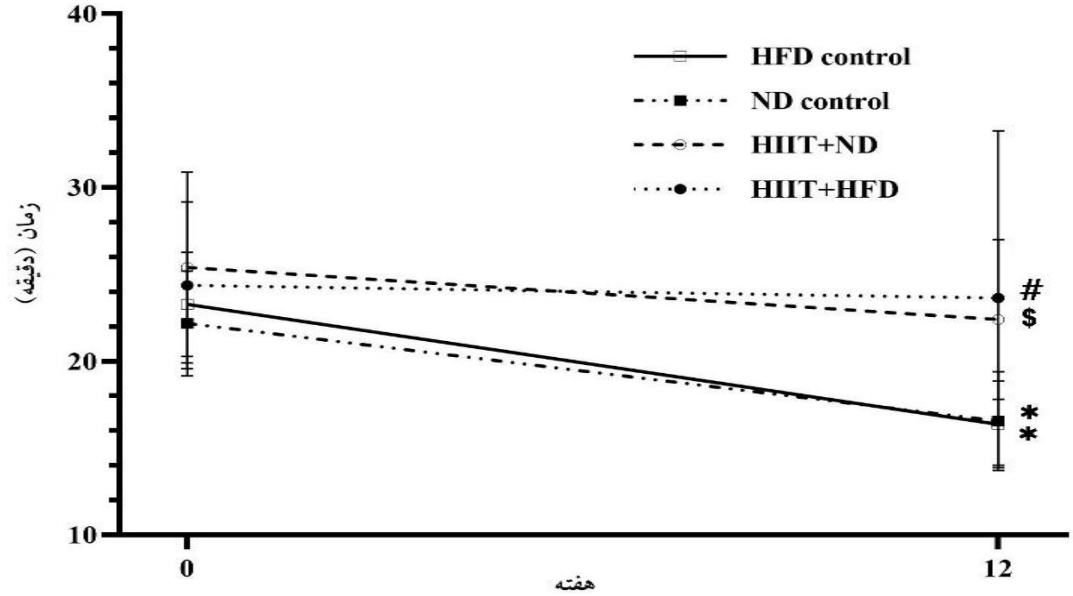
ب)



نمودار ۳. مقایسه تغییرات (الف) قدرت مطلق و (ب) قدرت نسبی عضله دوقلو در گروه‌های مطالعه،* تفاوت معنادار نسبت به گروه‌های کنترل **ND** و **HIIT+ND**، # تفاوت معنادار نسبت به هفته اول (**P**≤۰/۰۵).

ظرفیت استقامتی:

در ابتدای مداخله، تفاوت معناداری در میانگین ظرفیت استقامتی بین گروه‌ها وجود نداشت (P>۰/۰۵). آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری تکراری، معناداری اثرات زمان، گروه و تعامل زمان×گروه را نشان داد (مقادیر P به‌ترتیب ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۵)؛ به‌طوری‌که در هفته دوازدهم نسبت به هفته اول، ظرفیت استقامتی در گروه‌های کنترل ND و HFD کاهش یافت (مقادیر P در هر دو مورد مساوی ۰/۰۰۱). درنهایت، بر اساس مقایسه‌های زوجی در پایان هفته دوازدهم، ظرفیت استقامتی در گروه HIIT+HFD نسبت به گروه کنترل HFD به‌طور معناداری بالاتر بود (P=۰/۰۰۵). همچنین، در گروه HIIT+ND در مقایسه با گروه‌های کنترل HFD و ND مقادیر ظرفیت استقامتی بالاتر بود (مقادیر P در هر دو مورد مساوی ۰/۰۲) (نمودار ٤).



نمودار ٤. مقایسه تغییرات ظرفیت استقامتی در گروه‌های مطالعه. * تفاوت معنادار نسبت به هفته اول، # تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل **HFD**، $ تفاوت معنادار نسبت به گروه‌های کنترل **ND** و کنترل **HFD**.

بحث

هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر HIIT بر عملکرد بدنی و انرژی دریافتی موش‌های صحرایی نر دریافت‌کننده HFD بود. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، وزن بدن در گروه‌های HIIT+HFD و HIIT+ND به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل HFD بود؛ علاوه‌براین، شاخص لی در گروه HIIT+HFD در مقایسه با گروه‌های HIIT+ND و کنترل HFD و در گروه HIIT+ND در مقایسه با گروه کنترل HFD به‌طور معناداری کمتر بود. در مطالعه‌ای مشابه، لیو و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند وزن بدن و شاخص لی بعد از هشت هفته تمرین شنا در شرایط HFD در موش‌های صحرایی کاهش معناداری داشت (۲۷). نتایج مطالعه دیگری نشان داد که ۱۸ هفته HFD به افزایش معنادار وزن بدن و شاخص لی منجر شد که نشان‌دهنده توسعه چاقی در آزمودنی‌هاست، ولی تمرین هوازی نتوانست از این افزایش جلوگیری کند که دلیل آن احتمالاً بروز تعادل مثبت انرژی است (۲۸). احتمال دارد در مطالعه حاضر تعادل منفی انرژی در گروه‌های تمرین، باعث کمتر بودن شاخص لی در این گروه‌ها نسبت به گروه کنترل HFD باشد؛ به‌گونه‌ای که سئو و همکاران (۲۰۱٤) به این نتیجه رسیدند کاهش شاخص لی به‌طور عمده به مصرف انرژی ناشی از تمرین وابسته است (۲۹). علی‌اکبری و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود مشاهده کردند که ۱۰ هفته دویدن روی نوارگردان، موجب کاهش شاخص لی و حجم غذای مصرفی در موش‌های چاق به دنبال مصرف HFD شد، لذا بیان کردند کاهش توده بدن با مصرف انرژی با انجام تمرین ورزشی مرتبط است و ازاین‌رو حجم غذای مصرفی نیز ممکن است کاهش یابد (۳۰). مطالعه حاضر نیز نشان داد که تمرین ورزشی با حجم غذای مصرفی کمتر در گروه‌های تمرین مرتبط است، به‌گونه‌ای که در گروه HIIT+HFD در مقایسه با گروه کنترل HFD، حجم غذای مصرفی و انرژی دریافتی کمتر بود. با توجه به اینکه گزارش شده است تمرین ورزشی می‌تواند با افزایش مصرف انرژی و کاهش حجم غذای مصرفی به کاهش چربی بدن کمک کند (۳۱)، لذا به نظر می‌رسد کمتر بودن حجم غذای مصرفی و انرژی دریافتی در گروه‌های تمرین مطالعه حاضر نیز ناشی از انجام تمرین ورزشی باشد. در مطالعه حاضر بیشترین مقادیر انرژی دریافتی مربوط به گروه کنترل HFD بود. احتمال دارد افزایش مقادیر انرژی دریافتی در این گروه به علت کاهش پروتئین موجود در غذای روزانه باشد. به‌گونه‌ای که ارالنس لایسیا و همکاران (۲۰۱٤) به این نتیجه رسیدند که در HFDs، به‌واسطه کاهش دریافت پروتئین، حجم غذای مصرفی و انرژی دریافتی در طی روز توسط موش‌ها افزایش می‌یابد (۳۲). درمجموع، انجام تمرین ورزشی باعث کاهش مصرف غذا و افزایش مصرف انرژی حتی در موش‌های تغذیه‌شده با کنترل HFD می‌شود و می‌تواند به کاهش شیب افزایش وزن ناشی از کنترل HFD منجر شود.

از یافته‌های دیگر این مطالعه، عدم تفاوت در مقادیر قدرت مطلق و قدرت نسبی در بین گروه‌ها بود؛ به‌گونه‌ای که در تمامی گروه‌های مطالعه در هفته دوازدهم نسبت به هفته اول، قدرت مطلق افزایش و قدرت نسبی کاهش یافت. در این راستا، سلدین و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که ۱٦ هفته HIIT در موش‌های نر باعث افزایش قدرت مطلق می‌شود (۱۰)، اما در مطالعه دیگری تغییر معناداری در قدرت مطلق و نسبی موش‌های ماده متعاقب هشت هفته تمرین HIIT مشاهده نکردند (۳۳). قدرت عضلانی یک شاخص کیفیت عملکرد عضله است که تحت تأثیر مشتقات چربی عضله اسکلتی قرار می‌گیرند (۳۵-۳٤). نشان داده شده است که نفوذ چربی داخل عضلانی می‌تواند بر قدرت عضلانی تأثیر منفی بگذارد (۳٤). همچنین، عوامل فیزیکی متفاوتی مانند تغییرات قد و وزن با تغییر در قدرت عضلانی مرتبط هستند؛ قدرت عضلانی ضعیف با وزن کمتر بدن مرتبط است و بالعکس (۳٦). این احتمال وجود دارد که از جمله عوامل مؤثر بر نتایج قدرت عضلانی در مطالعه حاضر، دقت ابزار اندازه‌گیری مورد

استفاده باشد. در این مطالعه، به دلیل عدم دسترسی به دستگاه هندگریپ[1] برای اندازه‌گیری قدرت، از ابزار محقق‌ساخته استفاده شد که می‌تواند بر نتایج تأثیر گذاشته باشد. علاوه‌براین، سازگارکردن حیوان آزمایشگاهی با سازوکار آزمون، نکته قابل توجهی است که می‌تواند استرس حیوان به دنبال قرارگیری در شرایط ناآشنا را کاهش دهد و نتایج قابل استنادتری حاصل گردد (۳۷). با توجه به انجام آزمون قدرت در فاصله‌های یک‌ماهه در مطالعه حاضر و احتمال ایجاد استرس در برخی حیوانات در مواجهه با شرایط ناآشنای آزمون مربوطه، می‌تواند پارامتر مهمی بر نتایج آزمون باشد. از عوامل استرس‌زای دیگر در انجام آزمون قدرت در مطالعه حاضر، جابه‌جایی مکرر موش با دست در مدت زمان کوتاه است. به‌طور کلی، در مطالعات قبلی نشان داده شده است که عوامل استرس‌زا غیرقابل پیش‌بینی هستند و حیوان نمی‌تواند به آنها خو گرفته و سازگار شود؛ درنتیجه وجود عوامل استرس‌زا باعث اختلالات رفتاری در موش‌ها می‌شود (۳۹-۳۸).

در بخش دیگری از نتایج مطالعه حاضر، ظرفیت استقامتی گروه HIIT+HFD در مقایسه با گروه کنترل HFD و ظرفیت استقامتی گروه HIIT+ND در مقایسه با گروه‌های کنترل ND و HFD به‌طور معناداری بالاتر بود. هارامیزو و همکاران (۲۰۱٤)، افزایش ظرفیت استقامتی موش‌ها را به دنبال ۱۲ هفته مصرف مکمل غذایی غشای گلبول چربی شیر[2] (MFGM) همراه با تمرین ورزشی شنا مشاهده کردند. آنها علت این افزایش ظرفیت استقامتی را با افزایش استفاده از چربی مرتبط دانستند (٤۰). همان‌طور که در مطالعه حاضر مشاهده شد، موش‌های گروه HIIT+HFD، دارای بالاترین ظرفیت استقامت نسبت به سایر گروه‌ها بودند و کمترین ظرفیت استقامتی مربوط به گروه کنترل HFD بود که نتایج این مطالعه نشان‌دهنده پارادوکس ورزشکار[3] است. این پارادوکس اختلاف بین پیامدهای تجمع چربی در ورزشکاران استقامتی و افراد چاق را نشان می‌دهد (٤۱). از جمله سازوکارهای افزایش ظرفیت استقامتی، استفاده از چربی است (٤۲-٤۰)؛ به‌طوری که، افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب در طول فعالیت ورزشی، میزان مصرف کربوهیدرات را به‌عنوان منبع انرژی کاهش می‌دهد و از تولید لاکتات جلوگیری می‌کند و منجر به بهبود ظرفیت استقامتی می‌شود (٤۰،٤۳). به‌طور کلی، اثرات HFDs بر ظرفیت استقامتی مبهم است؛ زیرا نشان داده شده است که ظرفیت استقامتی در اثر HFD، مختل شده، یا افزایش یافته و یا بدون تغییر مانده است (٤٤). این پاسخ‌های متغیر می‌تواند به دلیل تفاوت در وضعیت تمرین، پروتکل‌های ورزشی، ترکیب رژیم غذایی، یا مدت مداخله رژیم غذایی باشد (٤٤). مطالعه حاضر با محدودیت‌هایی نیز همراه بود که مهم‌ترین آن، عدم دسترسی به دستگاه هندگریپ برای اندازه‌گیری دقیق قدرت عضلانی است..

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تمرین در شرایط دریافت HFD و ND، منجر به افزایش قدرت عضلانی، جلوگیری از کاهش ظرفیت استقامتی و کاهش شیب افزایش وزن بدن و شاخص لی شد، اما به نظر می‌رسد کاهش شیب افزایش وزن بدن و شاخص لی در گروه HIIT+HFD بیشتر بود؛ بنابراین، HIIT حتی زمانی‌که HFD مصرف می‌شود؛ یک راهبرد مؤثر در ایجاد تغییرات مثبت در عملکرد بدنی است و احتمالاً تأثیر قابل توجهی در ارتقای سازگاری‌هایی دارد که ظرفیت‌های متابولیکی عضله و عملکرد آن را بهبود می‌بخشد. در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود از نمونه‌های انسانی جهت بررسی دقیق‌تر نقش HIIT در شرایط دریافت HFD و ND بر عملکرد بدنی و انرژی دریافتی استفاده شود.

[1] *Handgrip*
[2] *Milk fat globule membrane*
[3] *Athlete's paradox*

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری مصوبه دانشگاه بیرجند است. بدین‌وسیله از تمام افرادی که در انجام این مطالعه همکاری داشته‌اند قدردانی می‌کنیم.

.

ملاحظات اخلاقی

تمامی اقدامات انجام‌شده در این مطالعه مورد تأیید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه بیرجند با کد IR.BIRJAND.REC.1400.011 قرار گرفت.

تعارض و منافع

نویسندگان مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضادی در منافع وجود ندارد.

منابع

1. Ferretti R, Moura EG, Dos Santos VC, Caldeira EJ, Conte M, Matsumura C Y, et al. High-fat diet suppresses the positive effect of creatine supplementation on skeletal muscle function by reducing protein expression of IGF-PI3K-AKT-mTOR pathway. Plos One 2018; 13(10): e0199728.
2. Lee SR, KhamouiAV, Jo E, Park BS, Zourdos M C, Panton L B, et al. Effects of chronic high-fat feeding on skeletal muscle mass and function in middle-aged mice. Aging Clinical and Experimental Research 2015; 27(4): 403-11 .
3. Andrich DE, Ou Y, Melbouci L, Leduc-Gaudet JP, Auclair N, Mercier J, et al. Altered lipid metabolism impairs skeletal muscle force in young rats submitted to a short-term high-fat diet. Frontiers in Physiology 2018; 9: 1327.
4. Apablaza P, Bórquez JC, Mendoza R, Silva M, Tapia G, Espinosa A, et al. Exercise induces an augmented skeletal muscle mitochondrial unfolded protein response in a mouse model of obesity produced by a high-Fat diet. International Journal of Molecular Sciences 2023; 24(6): 5654 .
5. Rivas DA, McDonald DJ, Rice NP, Haran PH, Dolnikowski GG, and Fielding, RA. Diminished anabolic signaling response to insulin induced by intramuscular lipid accumulation is associated with inflammation in aging but not obesity. American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 2016; 310: 561−69 .
6. Yoshida Y, Tsutaki A, Tamura Y, Kouzaki K, Sashihara K, Nakashima S, et al. Dietary apple polyphenols increase skeletal muscle capillaries in Wistar rats. Physiological Reports 2018; 6(18).
7. Vargas-Mendoza N, Ángeles-Valencia M, Madrigal-Santillán, EO, Morales-Martínez M, Tirado-Lule JM, Solano-Urrusquieta A, et al. (2020). Effect of silymarin supplementation on physical performance, muscle and myocardium histological changes, bodyweight, and food consumption in rats subjected to regular exercise training. International Journal of Molecular Sciences 2020; 21(20), 7724.
8. Gómez-Barroso M, Vargas-Vargas MA, Peña-Montes DJ, Cortés-Rojo, C, Saavedra-Molina A, Sánchez-Duarte E, et al. Effect of three different exercise intensities in combination with diazoxide on contraction capacity and oxidative stress of skeletal muscle in obese rats. Biology 2022; 11(9):1367.
9. Zheng J, Liu W, Zhu X, Ran L, Lang H, Yi L, et al. Pterostilbene enhances endurance capacity via promoting skeletal muscle adaptations to exercise training in rats. Molecules 2020; 25(1): 186.
10. Seldeen KL, Lasky G, Leiker MM, Pang M, Personius K E, et al. High intensity interval training improves physical performance and frailty in aged mice. The Journal of Gerontology: Biological Sciences 2018; 73(4): 429-437.
11. Atakan MM, Güzel Y, Bulut S, Koşar N, McConell Gk, Turnagöl, HH. Six HIIT sessions over 5 days increases VO2max, endurance capacity and sub-maximal exercise fat oxidation as much as 6 high-intensity interval training sessions over 2 weeks. The Journal of Sport and Health Science 2020; 10(4): 478-487.
12. Tsirigkakis S, Mastorakos G, Koutedakis Y, Mougios V, Nevill AM, Pafili Z, et al. Effects of two workload-matched high-intensity interval training protocols on regional body composition and fat oxidation in obese men. Nutrients 2021; 13(4): 1096.
13. Hariri N, Thibault L. High-fat diet-induced obesity in animal models. Nutrition Research Review 2010; 23(2): 270-299.

14. Kim JC, Kang, YS, Noh E B, Seo, BW, Seo DY, Park GD, et al. Concurrent treatment with ursolic acid and low-intensity treadmill exercise improves muscle atrophy and related outcomes in rats. The Korean Journal of Physiology & Pharmacology 2018; 22(4): 427-36.
15. Lambert K, Hokayem M, Thomas C, Fabre O, Cassan C, Bourret A, et al. Combination of nutritional polyphenols supplementation with exercise training counteracts insulin resistance and improves endurance in high-fat diet-induced obese rats. Scientific Reports 2018; 8(1): 2885.
16. Gopalan V, Yaligar J, Michael N, Kaur K, Anantharaj R, Verma SK et al. (2021). A 12-week aerobic exercise intervention results in improved metabolic function and lower adipose tissue and ectopic fat in high-fat diet fed rats. Bioscience Reports 2021; 41(1).
17. Pirman T, Lenardič A, Nemec Svete A, Horvat S. Supplementation with> Your< Iron Syrup Corrects Iron Status in a Mouse Model of Diet-Induced Iron Deficiency. Biology 2021; 10(5): 357.
18. Groussard C, Maillard F, Vazeille E, Barnich N, Sirvent P, Otero YF, et al. Tissue-specific oxidative stress modulation by exercise: A comparison between MICT and HIIT in an obese rat model. Oxidative Medicine and Cellular Longevity 2019.
19. Qin F, Dong Y, Wang S, Xu M, Wang Z, Qu C, et al. Maximum oxygen consumption and quantification of exercise intensity in untrained male Wistar rats. Scientific Reports 2020; 10(1): 1-8.
20. Batista ML, Rosa JC, Lopes RD, Lira FS, Martins E, Yamashita AS, et al. Exercise training changes IL-10/TNF-α ratio in the skeletal muscle of post-MI rats. Cytokine 2010; 49(1): 102-108.
21. Chavanelle V, Boisseau N, Otero YF, Combaret L, Dardevet D, Montaurier C, et al. Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on glycaemic control and skeletal muscle mitochondrial function in db/db mice. Scientific Reports 2017; 7(1): 1-10.
22. Delfan, M., Asl, S. G. Comparison of eight weeks of high intensity interval training vs. continuous training on the genes expression of IL-6 and CRP in adipose tissue of diabetic rats induced by high-fat foods and fructose. Research in Medicine: Journal of Research in Medical Sciences 2020; 44(4): 573-79.
23. Khalafi M, Mohebbi H, Symonds ME, Karimi P, Akbari A, Tabari E, et al. (2020). The impact of moderate-intensity continuous or high-intensity interval training on adipogenesis and browning of subcutaneous adipose tissue in obese male rats. Nutrients 2020; 12(4): 925.
24. Azagra-Boronat I, Tres A, Massot-Cladera M, Franch À, Castell M, Guardiola F, et al. Lactobacillus fermentum CECT5716 supplementation in rats during pregnancy and lactation impacts maternal and offspring lipid profile, immune system and microbiota. Cells 2020; 9(3): 575 .
25. Deacon RMJ. Measuring the strength of mice. The Journal of Visualized Experiments 2013;76: 2610 .
26. Ahmadabadi F, Saghebjoo M, Huang CJ, Saffari I, Zardast M. The effects of high-intensity interval training and saffron aqueous extract supplementation on alterations of body weight and apoptotic indices in skeletal muscle of 4T1 breast cancer-bearing mice with cachexia. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism 2020; 45(5): 555-63.
27. Lu Y, Li H, Shen SW, Shen ZH, Xu M, Yang CJ, etn al. Swimming exercise increases serum irisin level and reduces body fat mass in high-fat-diet fed Wistar rats. Lipids in Health and Disease 2016;15(1): 1-8.
28. Yaghoobpour Yekani O, Azarbayjani MA, Peeri M, Farzanegi P. (2018). The effect of aerobic training on anthropometric indices of obesity in male rats fed with high fat diet. Medical Science Journal of Islamic Azad Univesity-Tehran Medical Branch 2018, 28(1), 31-36.
29. Seo DY, Kwak HB, Lee SR, Cho YS, Song IS, Kim N, et al. Effects of aged garlic extract and endurance exercise on skeletal muscle FNDC-5 and circulating irisin in high-fat-diet rat models. Nutrition Research and Practice 2014; 8(2):177-82.
30. Aliakbari M, Saghebjoo M, Sarir H, Hedayati M. Hydroalcoholic extract of dill and aerobic training prevents high- fat diet- induced metabolic risk factors by improving miR- 33 and miR- 223 expression in rat liver. Journal of Food Biochemistry 2022; 46(8): 14195.
31. Castoldi RC, Magalhães AJB, Ozaki G AT, Koike TE, Garcia TA, Camargo RCT, et al. Alterations in Morphology and Aerobic Resistance of Rats Subjected to Different Physical Training Protocols. International Journal of Morphology 2018; 36(4):1472-1479.
32. Arellanes- Licea, EDC, Báez- Ruiz A, Carranza ME, Arámburo C, Luna M,

Díaz- Muñoz M. Daily patterns and adaptation of the ghrelin, growth hormone and insulin- like growth factor- 1 system under daytime food synchronisation in rats. Journal of Neuroendocrinology 2014; 26(5): 282-95.

33. Seldeen KL, Redae YZ, Thiyagarajan R, Berman RN, Leiker MM, Troen BR. High intensity interval training improves physical performance in aged female mice: A comparison of mouse frailty assessment tools. Mechanisms of Ageing and Development 2019; 180: 49-62.
34. Poggiogalle E, Rossignon F, Carayon A, Capel F, Rigaudière JP, de Saint Vincent S, et al Deleterious Effect of High-Fat Diet on Skeletal Muscle Performance Is Prevented by High-Protein Intake in Adult Rats but Not in Old Rats. Frontiers in Physiology (2022);12: 2369.
35. Bang HS, Seo DY, Chung YM, Oh KM, Park JJ, Arturo F, et al. Ursolic acid-induced elevation of serum irisin augments muscle strength during resistance training in men. The Korean Journal of Physiology & Pharmacology 2014; 18(5): 441-46.
36. Hasan NAKAK, Kamal HM, Hussein, ZA. Relation between body mass index percentile and muscle strength and endurance. Egyptian Journal of Medical Human Genetics 2016; 17(4): 367-72.
37. Zavvari F, Karimzadeh F. A review on the behavioral tests for learning and memory assessments in rat. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam 2017; 5(4): 110-24.
38. Zavvari F, Karimzadeh F. (2015). A methodological review of development and assessment of behavioral models of depression in rats. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam 2015; 3(4): 151-160.
39. Grippo AJ, Sullivan NR, Damjanoska KJ, Crane JW, Carrasco GA, Shi J, et al. Chronic mild stress induces behavioral and physiological changes, and may alter serotonin 1A receptor function, in male and cycling female rats. Psychopharmacology 2005; 179: 769-780.
40. Haramizu S, Ota N, Otsuka A, Hashizume K, Sugita S, Hase T, et al. Dietary milk fat globule membrane improves endurance capacity in mice. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 2014; 307(8): 1009-1017.
41. Kawanishi N, Takagi K, Lee H C, Nakano D, Okuno T, Yokomizo T, et al. Endurance exercise training and high-fat diet differentially affect composition of diacylglycerol molecular species in rat skeletal muscle. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 2018; 314(6): 892-901.
42. Charlot A, Morel L, Bringolf A, Georg I, Charle AL, Goupilleau F, et al. Octanoic Acid-Enrichment Diet Improves Endurance Capacity and Reprograms Mitochondrial Biogenesis in Skeletal Muscle of Mice. Nutrients 2022; 14(13): 2721.
43. Murase T, Haramizu S, Shimotoyodome A, Nagasawa A, Tokimitsu I. Green tea extract improves endurance capacity and increases muscle lipid oxidation in mice. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 2005; 288(3): 708-15.
44. Fleming J, Sharman MJ, Avery NG, Love DM, Gómez AL, Scheett TP, et al. Endurance capacity and high-intensity exercise performance responses to a high-fat diet. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 2003; 13(4): 466-478.