پژوهش‌نامهٔ فیزیولوژی ورزشی کاربردی **مقاله پژوهشی**
سال هفدهم/ شماره سی و چهارم/پاییز و زمستان ۱۴۰۰

دریافت: ۱۴۰۰/۷/۸ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶ ص ص: ۱۷۰-۱۵۳

تاثیر ۸ هفته تمرین هوازی با رادیو فرکانسی بر سطوح سرمی آنزیم لیپاز حساس به هورمون، لپتین و پروفایل لیپیدی در مردان چاق

حسن نقی زاده[۱]، ساناز میراسماعیلی[۲]، سید هادی اصغری[۳]

چکیده

زمینه و هدف: بافت چربی با ترشح آدیپوکاین‌ها به عنوان یک غده درون‌ریز عمل می‌کند. این آدیپوکاین‌ها علاوه بر تنظیم سوخت وساز چربی، نقش مهمی در فرایندهای فیزیولوژیکی و پاتولوژیکی دارند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تاثیر ۸ هفته تمرین هوازی با رادیو فرکانسی (RF) بر سطوح سرمی آنزیم لیپاز حساس به هورمون (HSL)، لپتین و پروفایل لیپیدی در مردان چاق بود.

مواد و روش‌ها: تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی بود. ۶۰ مرد جوان و چاق به صورت داوطلبانه در تحقیق حاضر شرکت کردند و به صورت تصادفی به ۴ گروه تمرین هوازی، RF، تمرین هوازی-RF و کنترل تقسیم شدند. تمرین هوازی شامل رکاب زدن با دوچرخه ثابت و دویدن روی نوار گردان با شدت ۵۵ تا ۸۰ درصد ضربان قلب ذخیره و مداخله RF با فرکانس ۸ تا ۹ هرتز (۱۵۰ وات) ۳ روز در هفته و به مدت ۸ هفته بود. قبل و بعد از مداخله جهت ارزیابی HSL، لپتین و نیمرخ لیپیدی از همه آزمودنی‌ها در حالت ناشتا خون‌گیری به عمل آمد. داده‌ها با آزمون تحلیل واریانس دوراهه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج: نتایج نشان داد که اثر تمرین و اثر متقابل تمرین با RF سبب کاهش معنی‌داری مقادیر لپتین،TC، TG، LDL و افزایش معنی‌داری HDL و HSL سرم شد ($p<۰/۰۵$). اثر RF سبب کاهش معنی‌داری مقادیر TG سرم شد ($p<۰/۰۵$). اندازه اثر قوی مربوط به اثر متقابل تمرین با RF بود.

نتیجه‌گیری: بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که اثر متقابل ۸ هفته تمرین هوازی با RF می‌تواند عامل موثری برای ایجاد تغییرات مطلوب در HSL، لپتین و پروفایل لیپیدی مردان چاق باشد..

واژه‌های کلیدی: تمرین هوازی، HSL، لپتین، پروفایل لیپیدی، چاقی

[۱]استادیار گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. نویسنده مسئول:naghizadeh2011@ardakan.ac.ir
[۲]دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزش، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری، ایران.
[۳]دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزش، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

مقدمه

نشان داده شده چاقی یک مشکل جهانی در تمام گروه‌های سنی است که ۲۵۰ میلیون نفر را در جهان که ۷ درصد از آنها را تشکیل می‌دهند، تحت تاثیر قرار داده است. بر اساس گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی، تعداد افراد چاق و دارای اضافه وزن حدود ۱/۵ میلیارد در سال ۲۰۱۵ در سراسر جهان بوده است (Jafari-Adli et al., 2014). چاقی شکمی در چندین شهر ایران شایع است که تخمین زده می‌شود این شیوع نسبت به استان تهران (۷۶٪)، رفسنجان (۵۴/۷٪)، اصفهان (۸۴/۶٪)، اراک (۶۶/۸٪)، نجف آباد (۸۲/۲٪) و استان مازندران (۸۲/۲٪) بیشتر باشد (Jafari-Adli et al., 2014). یکی از مهمترین گزارش های مهمی از وضعیت چاقی در ایران نشان می‌دهد که طی سالهای ۱۳۸۵–۱۳۷۷، شیوع چاقی در افراد ۲۵ تا ۶۴ ساله از ۱۳/۶ درصد به ۲۲/۳ درصد افزایش یافته است (Khabazkhoob et al., 2017). علت اصلی چاقی و اضافه وزن عدم تعادل بین انرژی دریافتی و انرژی مصرفی است. بنابراین، راه مبارزه با چاقی (به استثنای مداخلات دارویی) لزوماً از تعادل منفی انرژی نشات می‌گیرد (Secor et al., 2020; De Lorenzo et al., 2019). مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که موثرترین رویکرد برای دستیابی به تعادل منفی انرژی ترکیبی از رژیم غذایی، تمرینات ورزشی و اصلاحات رفتاری است (Jakicic et al., 2018; Petridou et al., 2019). فعالیت بدنی به عنوان یک رفتار مهم در سبک زندگی می‌تواند بر وزن و ترکیب بدن اثر گذاشته و موجب پیشگیری و درمان اضافه وزن و چاقی گردد (Jakicic et al., 2018). سه روش پیشگیری و درمان چاقی شامل درمان دارویی، جراحی و ترکیب رژیم غذایی و تمرین ورزشی است. موثرترین مدل تمرینی توصیه شده برای پیشگیری و درمان چاقی، فعالیت هوازی منظم است (Bellicha et al., 2021; van Baak et al., 2021). تمرین هوازی زمانی در کاهش چربی و وزن بدن موثر است که ۳ تا ۵ روز در هفته، با شدت ۵۰ تا ۸۵ درصد اکسیژن مصرفی بیشینه (VO_2max) یا ۶۰ تا ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه (HR_{max}) و مدت زمان ۴۵ تا ۶۰ دقیقه در هر جلسه اجرا گردد (Park et al., 2020). یکی از مشخصه‌های اصلی چاقی تجمع بیش از حد تری گلیسیریدها (TG) در بافت چربی سفید (WAT) است. اولین مرحله تجزیه چربی، هیدرولیز TG (به اصطلاح لیپولیز) به گلیسرول و اسیدهای چرب آزاد است. آنزیم‌های آدیپوز تری آسیل گلیسرول لیپاز (ATGL) و لیپاز حساس به هورمون (HSL) که بر روی غشای ذرات چربی واقع شده‌اند به عنوان آنزیم‌های اصلی در طی فرآیند لیپولیز شناخته می‌شوند. فعالیت لیپولیزی HSL توسط پیام رسان‌های درون سلولی و پیام رسان‌های برون سلولی مانند هورمون‌ها، اعصاب سمپاتیک و گیرنده‌های انرژی درون سلولی از طریق فسفوریلاسیون جایگاه‌های مخصوص سرینی تنظیم شود. از این رو، فعالیت HSL به عنوان تنظیم کننده اصلی لیپولیز شناخته می‌شود (Liu et al., 2020). در پژوهشی ریان و همکاران به بررسی اثر ۱۲ هفته تمرین هوازی با شدت متوسط بر پروتئین‌های لیپولیتیک عضله اسکلتی افراد چاق پرداختند. نتایج نشان داد در فراوانی پروتئین HSL عضله اسکلتی نسبت به قبل از مطالعه تغییری ایجاد نشد (Ryan et al., 2020). از طرفی در مطالعه لوچه و همکاران ۸ هفته تمرین استقامتی موجب افزایش فسفوریلاسیون HSL در عضلات اسکلتی افراد چاق شد (Louche et al., 2013). آدیپوکاین‌های مترشحه از بافت چربی از قبیل لپتین نقش مهمی در تعادل انرژی و تنظیم فرآیندهای التهابی و عملکرد سیستم ایمنی بدن ایفا می‌کنند. لپتین اثر پیش التهابی دارد و تولید عوامل پیش التهابی مانند عامل نکروز توموری آلفا (TNF-α) و اینترلوکین -۱ (IL-1) را افزایش می‌دهد (Parastesh et al., 2020). لپتین دارای سه عمل اصلی شامل افزایش کالری مصرفی، کاهش تولید

ATP و کاهش اشتها است. لپتین با شرکت در سرکوب سنتز نوروپپتیدهایی از قبیل نوروپپتید-Y (عامل افزایش اشتها) در ثابت نگه داشتن منابع چربی و در نتیجه کاهش اشتها نقش ایفا می‌کند (Rezaie et al., 2019). تأثیر فعالیت بدنی بر میزان لپتین بحث برانگیز است. اخیراً در مطالعه سیستماتیک تحفه و همکاران، نشان داده شد که از ۴۸ مطالعه بررسی شده ۳۹ مطالعه کاهش معنی‌داری در سطح لپتین را گزارش کردند. این نتایج از این مفهوم حمایت می‌کند که کاهش چربی بدن موجب کاهش وزن و این عامل منجر به کاهش سطح لپتین می‌گردد Tehfe et al., 2021). با این حال، ۹ مطالعه عدم تغییر یا حتی افزایش سطح لپتین را گزارش کردند Tehfe et al., (2021). اما در زمینه تمرینات هوازی پرستش و همکاران، نشان دادند که ۱۲ هفته تمرین هوازی با شدت ۶۰ تا ۸۰ درصد HR_{max} (سه روز در هفته) موجب کاهش سطح لپتین سرمی افراد چاق می‌شود Parastesh et al., (2020). همچنین در مطالعه رضایی و همکاران ۸ هفته تمرین هوازی با شدت ۵۰ تا ۶۰ درصد HR_{max} (سه روز در هفته) سبب کاهش سطح لپتین در زنان چاق شد (Rezaie et al., 2019). به طور کلی نیمرخ لیپیدی شامل کلسترول تام (TC) ، کلسترول لیپوپروتئین پرچگال (HDL)، کلسترول لیپوپروتئین کم چگال (LDL) و تری گلیسیریدها می‌باشد (Vittal et al., 2021). اختلال چربی یا دیس لیپیدمی با افزایش غیرطبیعی در سطوح TG، TC، LDL و کاهش HDL همراه است (Escalante et al., 2012). تمرینات ورزشی موجب بهبود معنی‌دار در نیمرخ لیپیدی افراد اضافه وزن و چاق می‌شود. در این راستا، مطالعه پاهو و همکاران نشان داد که ۱۲ هفته تمرین هوازی با شدت ۴۰ تا ۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره نیمرخ لیپیدی (TG,TC,LDL,HDL) در پسران دارای اضافه وزن و چاق را بهبود بخشید (Paahoo et al., 2021). از سوی دیگر، فربد و همکاران بدنبال ۱۲ هفته تمرین هوازی با شدت ۶۰ تا ۷۵ درصد HR_{max} تغییر قابل توجهی در شاخص‌های TC، TG، LDL گروه تمرینی مشاهده نکردند، اما بعد از اتمام مداخله مقادیر HDL گروه تمرینی افزایش داشت Farbod et al., (2020).

فرکانس رادیویی (RF)[1] نوعی انرژی الکترومغناطیسی با فرکانس بالا است که عمل آن گرم کردن بافت‌ها است. زمانی که امواج RF به بافت هدف اعمال می‌شود، باعث ایجاد میدان مغناطیسی نوسانی و حرکت ذرات باردار الکتریکی و تولید گرما در بافت هدف می‌گردد. میزان تولید گرما در بافت هدف به مقاومت آن بافت بستگی دارد. انرژی الکتریکی در بافت چربی به انرژی گرمایی تبدیل می شود. امواج RF با گرم کردن موضعی اضافی پوستی و افزایش گردش خون در پوست باعث تغییر شکل و بازسازی فیبرهای کلاژن می‌شوند. این تغییرات منجر به سفت شدن پوست و بهبود سلولیت می‌شود. گرمای RF هم‌چنین بر متابولیسم سلول‌های چربی، آپوپتوز و کاهش حجم سلول‌های چربی تأثیر دارد (Vale et al., 2018). تاثیر مداخلات RF بر بهبود متغیرهای ترکیب بدنی و آنتروپومتریک در چندین مطالعه گزارش شده است. در این راستا، در تحقیق پامپرلا و همکاران بیست نفر از افراد مبتلا به سندرم متابولیک یک هفته (۴جلسه) تحت درمان با RF قرار گرفتند. نتایج کاهش چربی زیر جلدی شکمی را نشان داد (Pumprla et al., 2015). همچنین، گروهی دیگر از محققان بدنبال ۴ جلسه تمرین RF (یک جلسه در هفته) کاهش قابل توجهی در وزن بدن، توده چربی، چربی زیرپوستی شکم، چربی زیرپوستی فوقانی ایلیاک و دور شکم مردان گزارش کردند (Arpini et al., 2020). رویکرد ترکیب تمرین هوازی همراه با RF می‌تواند یک مداخله بسیار موثر برای از بین بردن چربی‌های نامطلوب بدن باشد. بر این اساس، واله و همکاران

[1] Radio Frequency

(۲۰۱۹) در یک مطالعه اثر ۴ جلسه تمرین هوازی همراه با RF را بر شاخص‌های آنتروپومتریکی ۲۸ زن سالم بررسی کردند. نتایج این مطالعه کاهش قابل توجه در شاخص دور کمر، ضخامت چربی زیر جلدی شکمی و چین افقی شکمی در گروه تجربی را نشان داد (Vale et al., 2019). نقش مثبت تمرینات هوازی در بهبود نیمرخ لیپیدی (Mann et al., 2014) و کاهش سطح لپتین (Yu et al., 2017). در افراد چاق و اضافه وزن به اثبات رسیده است، اما اثر تمرینات هوازی برHSL به خوبی روشن نشده است به طوری که در بعضی از مطالعات کاهش (Ryan et al., 2020) و در بعضی از مطالعات افزایش HSL (Louche et al., 2013) گزارش شده است. انجام تمرینات هوازی با شدت متوسط (۱۵۰ دقیقه در هفته) اغلب به کاهش کم یا عدم کاهش چربی منجر می شود(Maillard et al., 2018) و اساساً مداخله مطلوبی برای کاهش وزن قابل توجه از نظر بالینی نیست. از این رو، دستیابی به نتایج مثبت نیازمند اجرای تمرینات هوازی با شدت بالاتر و یا با مدت زمان بیشتر است (Swift et al., 2018) که امروزه چنین الگویی تمرینی از سوی شرکت کنندگان با هدف کاهش وزن چربی کمتر استقبال می‌شود (Zouhal et al., 2020). بنابراین، امروزه استفاده از دستگاه‌های غیرتهاجمی پیکرتراشی مانند رادیوفرکانسی به واسطه اثرات گرمازایی آن به اعماق بافت چربی و بدنبال آن افزایش لیپولیز نقش کلیدی در حذف یا کاهش چربی‌های موضعی در نواحی شکم، ران و پهلو ایفا می‌کنند Pahlavani et al., (2021). با این وجود، اثر RF روی شاخص‌های HSL، لپتین و نیمرخ لیپیدی در افراد چاق و اضافه وزن تاکنون بررسی نشده است. علیرغم اینکه مطالعات اخیرا تایید کرده‌اند مداخلات ترکیبی (ترکیب تمرین و رژیم غذایی) نسبت به مداخلات ایزوله منجر به کاهش وزن بیشتری (صرفاً هوازی) می‌شوند (Swift et al., 2018). از این رو، از یک طرف با در نظر گرفتن تاثیر سودمند فعالیت‌های بدنی و فرکانس رادیویی (RF) بر بافت چربی و از طرف دیگر با توجه به بررسی پیشینه تحقیق حاضر و با علم در دسترس ما مشخص شد که تاکنون در مطالعه‌ای اثر متقابل تمرین هوازی و RF بر غلظت سرمی لپتین، آنزیم لیپاز حساس به هورمون و نیمرخ لیپیدی در مردان چاق بررسی نشده است. لذا، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر متقابل ۸ هفته تمرین هوازی وRF برHSL، لپتین و نیمرخ لیپیدی سرم در مردان چاق انجام گرفت و امید آن می‌رود که با بهره‌گیری از نتایج تحقیق حاضر بتوان تا حدی پاسخ سوالات مبهم در این زمینه را روشن ساخت و افق علمی وسیع‌تری پیش روی محققان آتی گذاشت.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح پیش آزمون و پس آزمون بود که با گروه کنترل اجرا شد. جامعه آماری تحقیق حاضر را مردان داوطلب سالم و چاق تشکیل دادند. پس از فراخوان در سطح باشگاه‌ها در مرحله‌ی اول تعداد ۱۲۷ نفر آمادگی خود را برای شرکت در تحقیق حاضر اعلام کردند. معیارهای ورود به تحقیق عبارت بود از سالم بودن، شاخص توده بدن مساوی یا بزرگتر از ۳۰ کیلوگرم بر مترمربع، نداشتن فعالیت بدنی منظم حداقل شش ماه قبل از شروع مطالعه، عدم ابتلا به بیماری‌های خاص مفصلی و فیزیولوژیکی، عدم مصرف دخانیات و مشروبات الکلی، عدم مصرف مکمل و مولتی ویتامین بود. معیارهای خروج از مطاله نیز عبارت بود از: پرداختن به فعالیت بدنی دیگر، مصرف مکمل و تغییر رژیم غذایی، غیبت بیش از دو جلسه در جلسات تمرینی، ابتلا به بیماری‌های خاص. حجم نمونه بر اساس نتایج تحقیقات قبلی (Khadem et al., 2011) و بر اساس انحراف معیار، توان آزمون ۸۵٪ و میزان اطمینان ۹۵ درصد، ۵۴ نفر برآورد شد. با احتمال ریزش آزمودنی‌ها در طول مطاله حجم نمونه برابر با ۶۰ نفر در نظر گرفته شد. بر اساس یک برنامه‌ی زمان بندی شده شرکت کنندگان داوطلب (۱۲۷ نفر) در

باشگاه ورزشی حضور یافتند و در ادامه بر اساس معیارهای ورود به تحقیق تحت بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت، ۷۷ نفر حائز شرایط ورود به تحقیق شدند. سپس به روش نمونه گیری تصادف ساده تعداد ۶۰ به عنوان نمونه تحقیق انتخاب و به طور تصادفی در یکی از چهار گروه ۱۵ نفره شامل گروه تمرین هوازی (میانگین سنی ۱/۶۳ ± ۳۲/۲۸ و میانگین قد ۲/۶۹ ± ۱۶۷/۰۸)، گروه RF (میانگین سنی ۲/۰۵ ± ۳۰/۹۳ و میانگین قد ۲/۰۹ ± ۱۶۹/۶۳)، گروه تمرین هوازی همراه با RF (میانگین سنی ۲/۱۶ ± ۳۲/۶۶ و میانگین قد ۲/۵۷ ± ۱۶۸/۵۶) و کنترل (میانگین سنی ۲/۲۶ ± ۳۱/۲۰ و میانگین قد ۳/۱۱ ± ۱۶۵/۹۶) جایگزین شدند. گروه تمرین هوازی به مدت هشت هفته و هفته‌ای سه جلسه مطابق جدول ۱ برنامه خود را اجرا کردند. گروه RF طبق دستورالعمل برنامه RF را اجرا کردند. گروه تمرین هوازی – RF ابتدا از دستگاه RF استفاده نمودند و سپس برنامه تمرین هوازی را اجرا کردند. گروه کنترل در هیچ فعالیت خاصی شرکت نکردند و توصیه شد که فعالیت‌های عادی روزانه خود را به مانند سابق داشته باشند. رژیم غذایی شرکت کنندگان توسط متخصص تغذیه ارزیابی و پایش شد و مواردی که به عنوان عامل مزاحم بر متغیرهای وابسته تحقیق اثر داشتند با توصیه متخصص تغذیه حذف یا جایگزین شدند. تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها از نظر مصرف درشت مغذی‌ها و کالری دریافتی قبل از مطالعه، حین و پس از مطالعه مشاهده نشد. برنامه تمرین هوازی به مدت ۸ هفته و ۳ جلسه در هفته مطابق جدول ۱ اجرا شد. در این پژوهش از دستگاه Mono-Polar Nemesis RF 360w استفاده شد. فرکانس ۸ تا ۹ هرتز (۱۵۰ وات) که دمای پوست را بین ۴۰ تا ۴۲ درجه حفظ کند، اعمال شد. عمق نفوذ امواج در این دستگاه در مقایسه با سایر دستگاه‌های مشابه بالاتر است و تا حدود ۲۵ میلیمتر می‌رسد و به سهولت چربی‌های اضافی موجود در لایه هایپودرم را هدف قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر، ابتدا ۲۰ دقیقه دستگاه RF حرارتی بر روی کل نقاط شکم به صورت دایره‌ای کوچک از دور ناف و دایره‌های بزرگتر تا پهلوها بکار برده شد و سپس ۱۰ دقیقه از وکیوم به صورت لوزی بر روی نقاط هدف استفاده شد.

روش‌های اندازه‌گیری متغیرها: تمامی متغیرهای پژوهش در دو مرحله پیش از آزمون و پس از آزمون در شرایط دمایی و مکانی یکسان سنجش شدند. قد و وزن آزمودنی‌ها با استفاده از ترازوی پزشکی دنا توزین مدل HBMI، بدون کفش و جوراب با حداقل لباس اندازه‌گیری شد. شاخص‌های ترکیب بدنی با استفاده از دستگاه بادی آنالیز InBody 770 اندازه‌گیری شد. اکسیژن مصرفی بیشینه ($VO2_{max}$) از طریق اجرای پروتکل فاکس بر روی دوچرخه کارسنج به مدت ۵ دقیقه، با شدت ۱۵۰ وات و سرعت ۶۰ دور در دقیقه و ثبت ضربان قلب در پایان دقیقه‌ی پنجم (HR_5) و جایگزینی در فرمول ($VO2_{max}$ (ml.min-1)= ۶۳۰۰ -۱۹/۲۶(HR_5) محاسبه شد. با تقسیم عدد بدست آمده بر وزن بدن، مقدار اکسیژن مصرفی بیشینه($VO2_{max}$) بر حسب (ml/kg/min) بیان می‌گردد (۳۲). نمونه‌های خونی در پژوهش حاضر در دو مرحله، مرحله اول ۴۸ ساعت پیش از شروع تمرینات و مرحله دوم ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین به مقدار ۱۰ میلی لیتر در حالت ۱۲ ساعت ناشتایی از ورید بازویی دست چپ در وضعیت نشسته در ساعت بین ۸ الی ۹ صبح توسط متخصص علوم آزمایشگاهی گرفته شد. غلظت HDL با حساسیت ۳ میلی گرم در دسی لیتر و TC با حساسیت ۳ میلی گرم در دسی لیتر و با روش آنزیماتیک CHOD-PAP و TG با حساسیت کمتر از ۱ میلی گرم در دسی لیتر با روش آنزیماتیک GPO-PAP و با استفاده از کیت شرکت پارس آزمون اندازه‌گیری شدند. غلظت LDL از طریق فرمول Friedewald-Fredrickson محاسبه شد. (HDL-C + TG/5)- کلسترول تام =LDL-C

لپتین با استفاده از کیت Mercodia ساخت کشور سوئد با حساسیت ۰/۵ نانوگرم در میلی‌لیتر و ضریب تغییرات درون سنجی۶/۷ درصد به روش الایزا اندازه‌گیری شد. HSL با استفاده از کیت (0845-H7248 - ZellBio (Cat No: ZB ساخت کشور آلمان با حساسیت ۰/۱۹ نانوگرم در میلی‌لیتر و ضریب تغییرات درون سنجی کمتر از ۱۰ درصد به روش الایزا سنجش شد.

جدول ۱: برنامه تمرین هوازی

بخش‌های تمرین		شکل تمرین	شدت تمرین	مدت زمان
گرم کردن		راه رفتن و حرکات کششی	٪ ۴۵- ۴۰ HRR	۱۵-۱۰ دقیقه
بخش اصلی	هفته اول	رکاب زدن با دوچرخه ثابت ۱۲ دقیقه – دویدن روی نوارگردان ۱۲ دقیقه	٪ ۶۰-۵۵ HRR	۲۴ دقیقه
	هفته دوم	رکاب زدن با دوچرخه ثابت ۱۵ دقیقه – دویدن روی نوارگردان ۱۵ دقیقه	٪ ۶۰-۵۵ HRR	۳۰ دقیقه
	هفته سوم	رکاب زدن با دوچرخه ثابت ۱۸ دقیقه – دویدن روی نوارگردان ۱۸ دقیقه	٪ ۶۵-۶۰ HRR	۳۶ دقیقه
	هفته چهارم	رکاب زدن با دوچرخه ثابت ۲۰ دقیقه – دویدن روی نوارگردان ۲۰ دقیقه	٪ ۶۵-۶۰ HRR	۴۰ دقیقه
	هفته پنجم	رکاب زدن با دوچرخه ثابت ۲۳ دقیقه – دویدن روی نوارگردان ۲۳ دقیقه	٪ ۷۰-۶۵ HRR	۴۶ دقیقه
	هفته ششم	رکاب زدن با دوچرخه ثابت ۲۵ دقیقه – دویدن روی نوارگردان ۲۵ دقیقه	٪ ۷۵-۷۰ HRR	۵۰ دقیقه
	هفته هفتم	رکاب زدن با دوچرخه ثابت ۲۸ دقیقه – دویدن روی نوارگردان ۲۸ دقیقه	٪ ۸۰-۷۵ HRR	۵۶ دقیقه
	هفته هشتم	رکاب زدن با دوچرخه ثابت ۳۰ دقیقه – دویدن روی نوارگردان ۳۰ دقیقه	٪ ۸۰-۷۵ HRR	۶۰ دقیقه
سرد کردن		راه رفتن با سرعت متوسط و کشش	٪ ۳۵-۳۰ HRR	۱۰-۵ دقیقه

ضربان قلب ذخیره (HRR) با استفاده از فرمول کارونن محاسبه شد.

نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون آماری شاپیرو–ویلک و همگنی واریانس‌ها با کمک آزمون لوین بررسی شد. در ادامه بعد از تایید فرض طبیعی بودن توزیع داده‌ها و آزمون برابری واریانس، از آزمون آنالیز واریانس دوراهه برای تعیین اثر متقابل عامل تمرین و RF بر متغیرهای پژوهشی استفاده شد. از آزمون تعقیبی توکی جهت تعیین تفاوت‌های بین گروهی استفاده شد. جهت تعیین تفاوت موجود بین مقادیر پیش آزمون با پس

آزمون در هر گروه از آزمون تی همبسته استفاده شد. داده‌های جمع آوری شده با بهره‌گیری از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ تجزیه و تحلیل شدند. سطح معنی‌داری $\alpha=$ ۰/۰۵ ($P<$۰/۰۵) در نظر گرفته شد

یافته ها

مشخصات ترکیب بدنی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌های چهار گروه در جدول ۲ و مشخصات متغیرهای بیوشیمایی اندازه گیری شده در جدول ۳ گزارش شده است. نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک و آزمون لوین بررسی و تایید شدند. آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه در مقایسه میانگین پیش آزمون متغیرهای وزن بدن، شاخص توده بدن، درصد چربی بدن، اکسیژن مصرفی بیشینه و سطوح سرمی لپتین، TC، TG، LDL، HDL و HSL نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در مرحله پیش آزمون وجود ندارد ($P>$۰/۰۵). از نظر بررسی تغییرات درون گروهی نتایج آزمون تی همبسته نشان داد میانگین متغیرهای وزن بدن، شاخص توده بدن، درصد چربی بدن و اکسیژن مصرفی بیشینه در گروه‌های تمرین و تمرین هوازی همراه با RF در پس آزمون نسبت به پیش آزمون اختلاف معنی‌داری داشت ($P <$ ۰/۰۵)(جدول ۲). بعلاوه سطوح سرمی لپتین، TC، TG، LDL، HDL و HSL در گروه‌های تمرین و تمرین هوازی همراه با RF در پس آزمون نسبت به وضعیت پایه اختلاف معنی‌داری داشت ($P <$ ۰/۰۵)(جدول ۳). بیشترین درصد تغییرات ایجاد شده در شاخص‌های فوق از پیش آزمون تا پس آزمون به گروه تمرین هوازی همراه با RF اختصاص داشت (جداول ۲ و ۳).

در بررسی اثر ۸ هفته تمرین هوازی همراه با رادیو فرکانسی بر متغیرهای لپتین، TC، TG، LDL، HDL و HSL در پس آزمون، نتایج تحلیل واریانس دوراهه (اثر متقابل تمرین*RF) نشان داد آزمودنی‌های مداخله ترکیبی (تمرین هوازی همراه با RF) نسبت به سایر شرایط، بیشترین کاهش در غلظت سرمی TC، TG، LDL و لپتین و بیشترین افزایش در غلظت سرمی HDL و HSL را داشتند(جدول ۳). در ادامه، نتایج تحلیل واریانس دوراهه نشان داد که اثر تعاملی تمرین هوازی و RF ($F_{۱و۵۴}=$۷/۱۱۵ و $p=$ ۰/۰۰۲) سبب کاهش معنی‌دار غلظت TC سرم در مردان چاق شد. (جدول ۴). تست تعقیبی توکی نشان داد بین تمرین با RF ($p=$ ۰/۰۱۶)، تمرین با کنترل ($p=$ ۰/۰۰۰۱) و تمرین+RF با RF ($p=$ ۰/۰۰۲) و تمرین+RF با کنترل ($p=$ ۰/۰۰۰۱) تفاوت معناداری وجود داشت. همچنین نتایج نشان داد اثر تمرین ($F_{۱و۵۴}=$۲۶۸/۶۶۲ و $p=$ ۰/۰۰۰۱)، اثر RF ($F_{۱و۵۴}=$۲۰/۹۵۴ و $p=$ ۰/۰۳۱) و اثر تعاملی تمرین هوازی و RF ($F_{۱و۵۴}=$۱۵/۱۳۲ و $p=$ ۰/۰۰۰۱) سبب کاهش معنی‌دار غلظت TG سرم در مردان چاق شد. (جدول ۴). تست تعقیبی توکی نشان داد بین تمرین با RF ($p=$ ۰/۰۰۰۱)، تمرین با کنترل ($p=$ ۰/۰۰۲)؛ تمرین+RF با RF ($p=$ ۰/۰۰۰۱)، تمرین+RF با تمرین ($p=$ ۰/۰۱۳) و تمرین+RF با کنترل ($p=$ ۰/۰۰۰۱) و RF با کنترل ($p=$ ۰/۰۰۳) تفاوت معناداری وجود داشت.

بعلاوه، نتایج تحلیل واریانس دوراهه در ارتباط با غلظت LDL سرم نشان داد که اثر تمرین (F۱و۵۴ =۲۱۰/۲۶۳ و $p=$ ۰/۰۳۱) و اثر متقابل تمرین هوازی و RF (F۱و۵۴ =۱۰/۴۳۸ و $p=$ ۰/۰۴۰) سبب کاهش معنی‌دار غلظت LDL سرم در مردان چاق شد. اما اثر RF ($F_{۱و۵۴}=$۱۸/۷۴۷ و $p=$ ۰/۱۱۴) معنی‌دار نشد (جدول ۴). تست تعقیبی توکی نشان داد در میانگین تغییرات این توزیع بین تمرین با RF ($p=$ ۰/۰۲۴)، تمرین با کنترل ($p=$ ۰/۰۰۰۱) و تمرین+RF با RF ($p=$ ۰/۰۱۷) و تمرین+RF با کنترل ($p=$ ۰/۰۰۰۱) تفاوت معناداری وجود داشت. نتایج نشان داد اثر تمرین ($F_{۱و۵۴}=$۱۰۱/۱۱۱ و $p=$ ۰/۰۱۴) و اثر متقابل تمرین هوازی و RF ($F_{۱و۵۴}=$۷/۲۱۹ و ۰/۰۲۴

(p= سبب کاهش معنی‌دار غلظت لپتین سرم در مردان چاق شد (جدول ۴). تست تعقیبی توکی نشان داد در میانگین تغییرات این توزیع بین تمرین با RF (p= ۰/۰۰۰۱)، تمرین با کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) و تمرین+RF با RF (p= ۰/۰۰۰۱) و تمرین+RF با کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) تفاوت معناداری وجود داشت.

جدول ۲- میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های ترکیب بدنی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها

متغیر	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	درصد تغییرات	t
وزن بدن (کیلوگرم)	تمرین هوازی	۹۲/۳۶ ± ۳/۵۲	۸۹/۳۰ ± ۳/۱۰	-۳/۴۳	۰/۰۰۰۱
	RF	۹۳/۲۰ ± ۳/۴۴	۹۲/۹۳ ± ۳/۳۴	-۰/۲۸	۰/۰۹۳
	تمرین هوازی- RF	۹۴/۲۷ ± ۲/۶۲	۹۰/۱۵ ± ۳/۲۰	-۴/۶۱	۰/۰۰۰۱
	کنترل	۹۳/۱۳ ± ۲/۳۶	۹۳/۹۲ ± ۲/۷۴	۰/۶۳	۰/۳
شاخص توده بدن (kg/m^2)	تمرین هوازی	۳۳/۱۱ ± ۱/۶۹	۳۲/۰۱ ± ۱/۶۰	-۳/۴۳	۰/۰۰۰۱
	RF	۳۲/۴۰ ± ۱/۵۷	۳۲/۳۱ ± ۱/۵۴	-۰/۲۸	۰/۰۷۶
	تمرین هوازی- RF	۳۳/۲۰ ± ۱/۵۲	۳۱/۷۵ ± ۱/۵۹	۴/۶۰	۰/۰۰۰۱
	کنترل	۳۳/۹۰ ± ۱/۱۴	۳۴/۱۲ ± ۱/۲۰	۰/۶۳	۰/۰۹۴
درصد چربی بدن	تمرین هوازی	۲۹/۸۵ ± ۲/۸۰	۲۷/۱۶ ± ۲/۳۸	-۹/۹۸	۰/۰۱۵
	RF	۳۱/۶۵ ± ۲/۰۰	۳۱/۴۱ ± ۱/۹۶	۰/۷۸	۰/۴
	تمرین هوازی- RF	۳۰/۷۸ ± ۲/۵۳	۲۷/۴۵ ± ۲/۷۹	-۱۲/۴۱	۰/۰۰۰۱
	کنترل	۳۱/۴۵ ± ۲/۱۳	۳۱/۸۰ ± ۲/۱۵	۱/۱۲	۰/۵
اکسیژن مصرفی بیشینه ($mil.kg.min^{-1}$)	تمرین هوازی	۳۰/۱۸ ± ۲/۲۷	۳۲/۷۸ ± ۲/۷۹	۷/۹۶	۰/۰۲۸
	RF	۳۱/۴۳ ± ۲/۴۱	۳۱/۷۷ ± ۲/۴۷	۱/۰۱	۰/۳
	تمرین هوازی- RF	۲۹/۷۰ ± ۳/۰۲	۳۳/۰۰ ± ۳/۸۷	۹/۸۷	۰/۰۱۰
	کنترل	۳۰/۵۳ ± ۲/۶۱	۳۰/۴۶ ± ۲/۵۸	-۰/۱۶	۰/۴

P<۰/۰۵ سطح معنادار در نظر گرفته شده است.

از طرف دیگر، نتایج نشان داد که اثر تمرین ($F_{۱و۵۴}$ =۱۲۱/۹۰۵ و p= ۰/۰۰۰۱) و اثر متقابل تمرین هوازی و RF ($F_{۱و۵۴}$ =۱/۰۴۲ و p= ۰/۰۴۳) سبب افزایش معنی‌دار غلظت HDL سرم در مردان چاق شد. تست تعقیبی توکی نشان داد در میانگین تغییرات این توزیع بین تمرین با RF (p= ۰/۰۲۴)، تمرین با کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) و تمرین+RF با RF (p= ۰/۰۱۷) و تمرین+RF با کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنین نتایج بیان شده در جدول ۴ در ارتباط با غلظت HSL سرم حاکی از آن است که اثر تمرین ($F_{۱و۵۴}$ =۱۵۴/۷۴۹ و p= ۰/۰۰۰۱) و اثر متقابل تمرین هوازی و RF ($F_{۱و۵۴}$ =۱/۵۸۰ و p= ۰/۰۳۳) سبب افزایش معنی‌دار غلظت HSL سرم در مردان چاق شد. تست تعقیبی توکی نشان داد بین تمرین با RF (p= ۰/۰۳۵)، تمرین با کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) و تمرین+RF با RF (p= ۰/۰۰۲) و تمرین+RF با کنترل (p= ۰/۰۰۰۱) تفاوت معنی‌داری وجود داشت.

جدول ۳- میانگین و انحراف استاندارد نیمرخ لیپیدی، لپتین و HSL آزمودنی‌ها

متغیر	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	درصد تغییرات	t
TC (mg/dl)	تمرین هوازی	۱۶۶/۵۷ ± ۱۱/۹۲	۱۵۵/۸۵ ± ۱۰/۸۷	-۶/۹۳	۰/۰۰۰۱
	RF	۱۶۴/۱۳ ± ۱۰/۵۵	۱۶۱/۲۷ ± ۱۰/۲۱	-۱/۷۸	۰/۰۵۸
	تمرین هوازی- RF	۱۶۴/۴۰ ± ۹/۷۰	۱۵۱/۲۰ ± ۱۱/۲۴	-۸/۸۷	۰/۰۰۰۱
	کنترل	۱۶۳/۲۷ ± ۱۱/۱۸	۱۶۴/۴۰ ± ۱۱/۲۱	۰/۶۹	۰/۲
TG (mg/dl)	تمرین هوازی	۱۸۸/۹۳ ± ۲۲/۵۱	۱۷۳/۹۳ ± ۲۱/۲۱	-۸/۷۰	۰/۰۰۰۱
	RF	۱۸۲/۷۳ ± ۲۳/۳۳	۱۷۸/۶۰ ± ۲۳/۰۹	-۲/۳۴	۰/۰۴۳
	تمرین هوازی- RF	۱۸۳/۲۷ ± ۲۰/۳۹	۱۶۴/۳۳ ± ۱۸/۴۱	-۱۱/۵۴	۰/۰۰۰۱
	کنترل	۱۸۶/۷۳ ± ۲۱/۳۵	۱۸۷/۰۸ ± ۲۱/۵۷	۰/۱۸	۰/۰۷۶
LDL (mg/dl)	تمرین هوازی	۹۲/۰۲ ± ۱۲/۹۶	۸۲/۴۳ ± ۱۰/۷۳	-۱۱/۸۹	۰/۰۲۵
	RF	۹۰/۲۶ ± ۱۰/۴۲	۸۸/۰۳ ± ۹/۴۴	-۲/۴۹	۰/۰۶۲
	تمرین هوازی- RF	۹۳/۱۸ ± ۱۱/۴۷	۸۰/۹۳ ± ۹/۷۴	-۱۵/۸۹	۰/۰۰۰۱
	کنترل	۸۹/۵۷ ± ۹/۶۷	۹۰/۹۳ ± ۹/۷۱	۱/۵۲	۰/۱۳۸
HDL (mg/dl)	تمرین هوازی	۳۶/۷۷ ± ۵/۳۸	۳۸/۶۴ ± ۵/۶۶	۴/۸۴	۰/۰۴۰
	RF	۳۷/۳۳ ± ۴/۳۸	۳۷/۵۲ ± ۴/۴۵	۰/۵۰	۰/۲۴۶
	تمرین هوازی- RF	۳۴/۵۷ ± ۵/۱۹	۳۷/۴۰ ± ۵/۲۹	۷/۶۲	۰/۰۲۰
	کنترل	۳۶/۳۶ ± ۴/۱۳	۳۶/۰۵ ± ۴/۱۱	-۰/۸۸	۰/۳۸۱
HSL (ng/ml)	تمرین هوازی	۱۹/۴۳ ± ۴/۳۶	۲۳/۰۲ ± ۴/۵۹	۱۵/۶۲	۰/۰۳۳
	RF	۲۰/۶۰ ± ۴/۴۸	۲۱/۳۳ ± ۴/۵۴	۳/۴۶	۰/۱۴
	تمرین هوازی- RF	۱۸/۶۷ ± ۴/۰۶	۲۲/۹۳ ± ۴/۸۲	۱۸/۱۴	۰/۰۲۱
	کنترل	۱۸/۸۷ ± ۳/۶۸	۱۸/۱۳ ± ۳/۳۷	-۳/۹۳	۰/۴۱
Leptin (ng/ml)	تمرین هوازی	۳۹/۷۱ ± ۵/۲۱	۳۵/۴۵ ± ۵/۱۰	-۱۲/۴۴	۰/۰۱۷
	RF	۴۰/۵۵ ± ۴/۸۱	۳۹/۴۷ ± ۴/۳۲	-۲/۶۸	۰/۰۹۵
	تمرین هوازی- RF	۳۷/۵۳ ± ۴/۴۴	۳۱/۹۰ ± ۴/۴۱	-۱۸/۱۰	۰/۰۰۳
	کنترل	۳۹/۲۷ ± ۶/۱۶	۴۲/۸۷ ± ۶/۴۹	۸/۱۲	۰/۲

* تفاوت معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵.

بحث و نتیجه گیری

یافته اصلی تحقیق حاضر بر اساس تحلیل کوواریانس دوراهه در ارتباط با اثر ۸ هفته تمرین هوازی همراه با RF بر سطوح سرمی آنزیم لیپاز حساس به هورمون، لپتین و پروفایل لیپیدی در مردان چاق، حاکی از آن بود که اثر متقابل تمرین و RF و اثر اصلی تمرین سبب کاهش معنی‌داری غلظت TC، TG، LDL و لپتین سرم شد. بعلاوه، اثر متقابل تمرین و RF و اثر اصلی تمرین سبب افزایش معنی‌داری غلظت HDL و HSL سرم شد، ولی اثر اصلی RF سبب کاهش معنی‌داری غلظت TG سرم گردید و بر سایر متغیرها اثر معنی‌داری نداشت. از این رو، مقایسه میانگین‌ها و اثر متقابل تمرین و RF نشان داد آزمودنی‌هایی که تحت مداخله ترکیبی، یعنی تمرین هوازی و RF قرار گرفتند نسبت به سایر شرایط، بیشترین تغییرات مطلوب در متغیرهای اندازه گیری شده داشتند. در این راستا مشاهده گردید بیشترین اندازه اثر و درصد تغییرات به مداخله تمرین همراه با RF اختصاص داشت. بیان شد که تمرین هوازی همراه با RF (اثر متقابل تمرین*RF) سبب افزایش معنی‌دار غلظت HSL سرم شد. اثر اصلی تمرین نیز معنی‌دار، ولی اثر اصلی RF معنی‌دار نشد. با این وجود، تفاوت معنی‌داری بین گروه تمرین–RF با RF و کنترل، و بین گروه تمرین با RF و کنترل وجود داشت. این نتیجه از تحقیق حاضر با نتایج تحقیق ریان و همکاران (Ryan et al., 2020) همسو و با نتایج مطالعات لوچه و همکاران (Louche et al., 2013) و ریس و همکاران (Riis et al., 2019) ناهمسو است. این تناقض احتمالاً به دلیل تفاوت در جمعیت بررسی شده مردان و زنان، پروتکل‌های تمرینی متفاوت (شدت، حجم و مدت زمان تمرین)، وضعیت آزمودنی‌ها (تمرین کرده و تمرین نکرده)، کنترل رژیم غذایی افراد و نحوه اندازه‌گیری HSL باشد. یکی از سازوکارهای تاثیرگذار در افزایش معنی‌دار HSL را می‌توان به کاهش معنی‌دار درصد چربی بدن نسبت داد. در این راستا، مطالعه حاضر کاهش قابل توجه درصد چربی و وزن بدن در گروه‌های تمرین هوازی همراه با RF و تمرین هوازی را نشان داد. از طرفی، کنترل رژیم غذایی در طول هر دوره تمرینی ممکن است در تقویت سهم لیپولیز بافت چربی در حین تمرین و در نتیجه سازگاری با تمرین مفید باشد. در مطالعه ریس و همکاران پس از ۱۰ هفته تمرین هوازی تغییری در بیان پروتئین HSL حاصل نشد که این عدم تغییر را می‌توان به عدم کنترل غذایی در این مطالعه نسبت داد (Riis et al., 2019). در مطالعه ما رژیم غذایی افراد در همه گروه‌ها بر اساس یادآمد غذایی ۲۴ ساعته کنترل شد. از این رو، احتمالاً کنترل رژیم غذایی افراد در حین مطالعه در افزایش سطح HSL سرم در گروه تمرین هوازی همراه با RF و تمرین هوازی نقش مهمی ایفا کرده است. نحوه سنجش HSL نیز می‌تواند بر عدم تغییر سطوح HSL نقش داشته باشد. در مطالعه ریان و همکاران ۱۲ هفته تمرین هوازی تغییر قابل توجهی در فراوانی کل پروتئین HSL افراد چاق ایجاد نکرد، اما تنظیم کننده‌های مثبت HSL افزایش قابل توجهی داشتند که ممکن است در افزایش تنظیم لیپولیتیک عضلات اسکلتی نقش داشته باشند (Ryan et al., 2020). از این رو، عدم تغییر در سطوح HSL لزوماً به منزله کاهش سرعت فعالیت‌های لیپولیتیک نیست. در تحقیق حاضر افزایش فعالیت آنزیم HSL سرم در پاسخ به تمرین هوازی همراه با RF را احتمالاً می‌توان به فعالسازی گیرنده‌های β1– β2– β3 آدرنرژیک پروتئین G، پروتئین کیناز A وابسته آدنوزین مونوفسفات حلقوی در پاسخ به محرک‌های بتا–آدرنرژیک، آنزیم آدنیلیل سیکلاز، پریلیپین ۱، گلیکوژن سنتاز کیناز–۴ و کیناز وابسته به Ca^{2+}/calmodulin نسبت داد (Ryan et al., 2020) که به دنبال فعال شدن این مکانیسم ها، فعالیت مسیرهای سرکوب کننده لیپولیز مهار می‌گردد. مسیرهای سرکوب کننده لیپولیز و کاهش دهنده فعالیت آنزیم HSL شامل افزایش فعالیت

فسفودی استراز-۳B(PDE-3B)، فعال شدن گیرنده‌های آلفا-آدرنرژیک باعث مهار آنزیم آدنیلیل سیکلاز و متعاقباً کاهش تولید آدنوزین مونوفسفات حلقوی (cAMP) می گردد، فعال شدن گیرنده آدنوزینی و گیرنده پروستاگلاندین E2 می‌باشد که نتایج اثر اصلی تمرین و اثر متقابل تمرین و RF (تمرین*RF) در تحقیق حاضر (افزایش فعالیت آنزیم HSL) احتمالاً دلالت بر مهار مسیرهای سرکوب کننده لیپولیز دارد.

نتیجه دیگر تحقیق حاضر، کاهش معنی‌دار غلظت سرمی لپتین به دنبال ۸ هفته تمرین هوازی با RF بود. در این راستا اثر جداگانه تمرین نیز معنی‌دار شد ولی اثر RF معنی‌دار بدست نیامد. این نکته دلالت بر اثر هم‌افزایی هر دو عامل تمرین و RF بر تغییرات معنی‌دار غلظت لپتین سرم دارد. چرا که بیشترین اندازه اثر و تغییرات ایجاد شده در غلظت لپتین سرم به مداخله ترکیبی تمرین با RF اختصاص داشت. همچنین تفاوت معنی‌داری بین گروه تمرین-RF با RF و کنترل، و بین گروه تمرین با RF و کنترل مشاهده شد. این تغییرات کاهشی در سطح لپتین سرم با نتایج مطالعه پرستش و همکاران و رضایی و همکاران همسو است. در تحقیق رضایی و همکاران گزارش شده است که افزایش مصرف انرژی ناشی از تمرین به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیر گذار بر کاهش لپتین شناخته می‌شود (Rezaie et al., 2019). در مطالعه حاضر $VO2_{max}$ در گروه تمرین هوازی با RF و گروه تمرین هوازی افزایش معنی‌داری داشت. بنابراین، افزایش معنی‌دار $VO2_{max}$ در تحقیق حاضر را می‌توان یکی از مهم‌ترین دلایل توجیه کننده کاهش سطح لپتین سرم عنوان کرد. همچنین، تحقیق حاضر کاهش معنی‌داری در وزن بدن و درصد چربی بدن مردان چاق پس از ۸ هفته مداخله تمرین هوازی با RF و تمرین هوازی نشان داد، که احتمالاً این عامل نیز در کاهش سطح لپتین سرم نقش مهمی ایفا می‌کند. در یک مطالعه سیستماتیک مروری توسط تحفه و همکاران (۲۰۲۱)، گزارش شد که فعالیت بدنی از طریق مهار mTOR[1] باعث افزایش حساسیت به انسولین، کاهش چربی و کاهش بیان و پیام رسانی لپتین می‌شود و این تصور تایید شد که کاهش وزن ناشی از کاهش چربی بدن منجر به کاهش سطح لپتین می‌شود. همچنین رابطه معکوس بین لپتین و افزایش نوروپپتید Y که در تنیظم انرژی نقش دارد، گزارش شده است (Tehfe et al., 2019). سازگاری و پاسخ لپتین به تمرینات بدنی هنوز به طور کامل مشخص نشده است. دلایل متعددی وجود دارد که می‌تواند تغییر پاسخ لپتین به تمرین عضلانی را توضیح دهد. تمرین می‌تواند توده چربی را کاهش دهد، نقش مهمی در مصرف انرژی داشته باشد و بر غلظت هورمونی (انسولین، کورتیزول، هورمون رشد، کاتکول آمین ها، تستوسترون و غیره) و متابولیت‌ها (اسیدهای چرب آزاد، اسید لاکتیک، تری گلیسیرید و غیره) تاثیر بگذارد. با همه این دلایل، اعتقاد وجود دارد که ورزش و تمرین بدنی می‌تواند پاسخ لپتین را بسته به عوامل متعددی تغییر دهد. تناقضات موجود در ادبیات تحقیق احتمالاً به عوامل متعددی از جمله شدت و مدت ورزش، وضعیت تغذیه آزمودنی، ریتم شبانه روزی لپتین، ساعت خون‌گیری و عدم تعادل کالری ناشی از ورزش مرتبط باشد. ما احساس می‌کنیم بسیاری از سؤالات در این زمینه بی‌پاسخ باقی می‌مانند. از قبیل: اثرات کاهش یا پایداری لپتینمی[2] در طول و یا بعد از فعالیت بدنی چیست؟ مکانیسم‌هایی که در تنظیم سنتز و ترشح لپتین در حین و بعد از تمرین دخالت می‌کنند چیست؟ بنابر به ماهیت و هدف تحقیق حاضر، ما به بررسی این فرضیات نپرداختیم. لذا پاسخ روشن به چنین سوالات لزوم انجام تحقیقات گسترده آتی را نیاز دارد.

نتیجه دیگری که به دنبال ۸ هفته مداخله تمرینی و RF در تحقیق حاضر بدست آمد کاهش معنی‌داری غلظت TC، TG و LDL سرم و افزایش معنی‌داری غلظت HDL سرم بود. نتایج تحلیل واریانس دوراهه نشان داد

[1] Mechanistic Target Of Rapamycin
[2] Leptinemia

آزمودنی‌هایی که تحت شرایط تمرین با RF قرار گرفتند غلظت TC، TG و LDL سرم در آنها کاهش معنی‌داری بیشتر داشت و غلظت HDL سرم با افزایش معنی‌داری بیشتر همراه بود. هر چند اثر جداگانه تمرین هم چنین نتایجی را به دنبال داشت و اثر جداگانه RF فقط باعث کاهش معنی‌داری غلظت TG سرم شد. ولی مقایسه میانگین تغییرات بوجود آمده و اندازه اثر عامل آزمایشی نشان از برتری اثر متقابل تمرین با RF نسبت به اثر جداگانه تمرین و RF داشت. همچنین در تحقیق حاضر تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های تمرین هوازی و تمرین هوازی-RF با گروه‌های RF و کنترل در میانگین متغیرهای شاخص هلی لیپیدی مشاهده شد. نتایج مطالعه ما در ارتباط با شاخص‌های نیمرخ لیپیدی با نتایج مطالعه طالبی و همکاران (Talebi et al., 2021)، بابایی و همکاران (Talebi et al., 2021)، ، حبیبیان و همکاران (Habibian et al., 2021)، پورحیدری و همکاران (Pour Haydari et al., 2018)، همسو و با نتایج مطالعه فربد و همکاران (Farbod et al., 2020) ناهمسو است. مغایرت نتایج تحقیقات در این زمینه ممکن است با نوع تمرین، شدت تمرین و میزان سازگاری آزمودنی‌ها با این تمرینات مرتبط باشد (۳۶). تمرین هوازی از طریق افزایش لیپولیز تری گلیسیریدها و افزایش اکسیداسیون چربی و تنظیم سوخت و ساز و انرژی‌زایی، سطوح سرمی LDL، TC، TG را کاهش و HDL را افزایش می‌دهد (۳۷). بر اساس دیدگاه محققان، کاهش وزن متعاقب فعالیت ورزشی یکی از علل کاهش سطوح TG، LDL و افزایش HDL سرم می‌باشد. همچنین افزایش HDL بدنبال تمرینات هوازی با افزایش فعالیت آنزیم لیپوپروتئین لیپاز (LPL) کاتابولیسم لیپوپروتئین‌ها را افزایش می‌دهد و از این طریق در کاهش LDL نقش مهمی ایفا می‌کنند(Habibian et al., 2021). نقش کبد و بافت‌های محیطی نیز بر کنترل میزان HDL بسیار مهم است. کبد در پی تغییر آنزیم LPL و کاهش لیپاز کبدی به دنبال فعالیت بدنی موجب افزایش تولید HDL توسط کبد می‌شود. از طرفی تمرینات هوازی باعث افزایش فعالیت آنزیم لستین کلسترول آسیل ترانسفراز و LPL می‌شوند که مسئول انتقال استرکلسترول به HDL و افزایش HDL است (Bonab et al., 2021). تمرین هوازی با کاهش LDL و توده چربی بدن و همچنین با افزایش $VO2_{max}$ و HDL به عنوان یک عامل ضد آتروژنیک و ضد التهابی عمل نموده و با کاهش عوامل خطرزا و بهبود نیمرخ لیپیدی موجب اثر محافظت کنندگی در برابر بیماری‌های قلبی – عروقی در افراد دارای اضافه وزن می‌شوند (Pour Haydari et al., 2018). فربد و همکاران، بدنبال ۱۲ هفته تمرین هوازی تغییر قابل توجهی در شاخص‌های TC، TG، LDL گروه تمرینی مشاهده نکردند، اما در HDL گروه تمرینی افزایش قابل توجهی مشاهده کردند. یکی از محدودیت-های ذکرشده در مطالعه فربد و همکاران عدم کنترل رژیم غذایی افراد در طول دوره ۱۲ هفته‌ای مطالعه بود. بنابراین این احتمال وجود دارد که عدم کنترل رژیم غذایی از دلایل عدم کاهش TG، LDL، TC در این مطالعه باشد (Farbod et al., 2020). در زمینه ترکیب تمرین هوازی همراه با RF مطالعات بسیار محدودی انجام شده است و اطلاعات بسیار اندکی وجود دارد. در این زمینه، فقط در مطالعه واله و همکاران، ۴ جلسه تمرین هوازی همراه با RF موجب کاهش قابل توجه شاخص‌های آنتروپومتریکی از جمله شاخص دور کمر، ضخامت چربی زیر جلدی شکمی و چین افقی شکمی در زنان سالم شد (Vale et al., 2019). از لحاظ روش شناسی بین تحقیق حاضر و مطالعه واله تفاوت‌های بارزی وجود دارد. به طوری که واله فقط بر روی شاخص‌های آنتروپومتریکی تمرکز داشت و در تحقیق حاضر شاخص‌های ترکیب بدنی، فیزیولوژیکی و متغیرهای بیوشیمیایی بررسی شدند. از طرفی طول دوره مطالعه واله فقط ۴ جلسه (یک ماه) در حالی که طول دوره تحقیق حاضر ۸ هفته در نظر گرفته شد.

همچنین جمعیت مورد مطالعه در تحقیق واله زنان سالم و در تحقیق حاضر مردان چاق بودند. گرچه، بیشترین تغییرات کاهشی در TC، TG، LDL، لپتین و بیشترین تغییرات افزایشی در HDL و HSL به دنبال اثر متقابل تمرین هوازی با RF مشاهده شد. اما، نمی‌توان سازوکار دقیق این تغییرات را با توجه به عدم پیشینه نظری کافی در این زمینه به طور کامل و روشن توضیح داد. مطالعه ما نشان داد که RF به تنهایی موجب کاهش معنی‌داری وزن بدن و درصد چربی بدن نمی‌شود. این نتیجه گیری در مطالعات قبلی نیز به تایید رسیده است Suh et al., (2017). با این حال، به نظر می‌رسد که RF از طریق افزایش جریان خون پوستی مقاومت بافت را کاهش می‌دهد و این امر ممکن است منجر به کاهش بافت چربی شود(Vale et al., 2019). همچنین مطالعات نشان داده‌اند که RF با افزایش در دسترس قرار دادن سوبستراهای لیپیدی موجب افزایش بتا اکسیداسیون در حین تمرین هوازی می‌شود. احتمالاً، زمانی که RF به واسطه افزایش جریان خون بافت چربی و افزایش سوبستراهای در دسترس لیپیدی با تمرین هوازی ترکیب می‌شود اثرات بتااکسیدآسیون لیپیدها حین تمرینات هوازی را تقویت می‌کند (Wanitphakdeedecha et al., 2017., Hayre et al., 2016.; Mlosek et al., 2012). به طور کلی، با توجه به عدم وجود پیشینه نظری کافی در زمینه ترکیب تمرین هوازی با RF به مطالعات مشابه بیشتری نیاز است تا سازوکارهای دقیق اثر تمرینات هوازی همراه با RF بر HSL، لپتین و نیمرخ لیپیدی افراد چاق را مشخص ساخت.

نتیجه گیری

در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر می‌توان بیان کرد که اثر متقابل تمرینات هوازی و RF در مقایسه با اثرات جداگانه تمرین و RF سبب تغییرات مطلوب و افزایش معنی‌دار غلظت HSL و HDL سرم و کاهش معنی‌دار غلظت لپتین و نیمرخ لیپیدی در مردان چاق می‌شود. از این رو، به نظر می‌رسد که ترکیب تمرین هوازی با RF با افزایش عملکرد فیزیولوژیکی، کاهش توده چربی، بهبود فعالیت لیپولیزی، تغییرات مطلوب آدیپوکاین‌ها و نیمرخ لیپیدی در مردان چاق همراه باشد. با این حال، سازوکارهای دقیق اثر تمرین هوازی در ترکیب با RF بر بافت چربی و نیمرخ لیپیدی روشن و مشخص نیست. لذا مطالعات و تحقیقات آتی در این زمینه ضروری و بااهمیت خواهد بود.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مقاله از افراد داوطلب در پژوهش حاضر که با مساعدت و مشارکت خود امکان ارایه چنین نتایجی را فراهم ساختند، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

منابع

Arpini, M. S., Pochmann, D., da Silva, I. R. V., Arpini, R. P., Dorneles, G., Peres, A., & Elsner, V. R. (2020). Acute and chronic non-invasive radiofrequency intervention modulates inflammatory but non epigenetic makers in physically active women. *Comparative Exercise Physiology*, *16*(3), 169-178.

Bellicha, A., van Baak, M. A., Battista, F., Beaulieu, K., Blundell, J. E., Busetto, L., ... & Oppert, J. M. (2021). Effect of exercise training before and after bariatric surgery: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, e13296.

Bonab, S. B., Gharakhanlou, B. J. (2021). Effect of eight weeks of regular aerobic exercise on apolipoprotein AI gene expression and lipid profile indices in obese women. *Med J Tabriz Uni Med Sciences Health Services,* 42(6), 773-780.

De Lorenzo, A., Gratteri, S., Gualtieri, P., Cammarano, A., Bertucci, P., & Di Renzo, L. (2019). Why primary obesity is a disease?. *Journal of translational medicine*, 17(1), 1-13.

Escalante, Y., Saavedra, J. M., García-Hermoso, A., & Domínguez, A. M. (2012). Improvement of the lipid profile with exercise in obese children: a systematic review. *Preventive medicine*, *54*(5), 293-301.

Farbod, M., Eizadi, M., Rashidi, M., & Mirakhori, Z. (2020). Effects of Aerobic Training with No Caloric Restriction on Serum Resistin and Lipid Profile in Inactive Overweight Women. *International Journal of Basic Science in Medicine*, *5*(1), 9-15.

Habibian, M., Amirnia Shobi, S., & Zakeri Khatir, E. (2021). The Effects of 8 weeks of regular aerobic exercise on the TNF-α levels and lipid profile in obese girls. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*, *28*(1), 134-142.

Hayre, N., Palm, M., & Jenkin, P. (2016). A Clinical Evaluation of a Next Generation, Non-Invasive, Selective Radiofrequency, Hands-Free, Body-Shaping Device. *Journal of drugs in dermatology: JDD*, *15*(12), 1557-1561.

Jafari-Adli, S., Jouyandeh, Z., Qorbani, M., Soroush, A., Larijani, B., Hasani-Ranjbar, S. (2014). Prevalence of obesity and overweight in adults and children in Iran; a systematic review. *J Diabetes Metab Disord*, 13(1), 121

Jakicic, J. M., Rogers, R. J., Davis, K. K., & Collins, K. A. (2018). Role of physical activity and exercise in treating patients with overweight and obesity. *Clinical chemistry*, 64(1), 99-107.

Khabazkhoob, M., Emamian, M. H., Hashemi, H., Shariati, M., Fotouhi, A. (2017). Prevalence of overweight and obesity in the middleage population: a priority for the health system. *Iran J Public Health*, 46(6), 827-34

Khadem, H. H., Farsad, N. A., Pourghassem, G. B., Ali, A. A., Nemati, A. (2011). Effect of cinnamon supplementation on blood glucose and lipid levels in type2 diabetic patients. *Archives of Advances in bioscience (Journal of paramedical sciences),* 2(1), 2-6.

Liu, Y., Dong, G., Zhao, X., Huang, Z., Li, P., & Zhang, H. (2020). Post-exercise Effects and Long-Term Training Adaptations of Hormone Sensitive Lipase Lipolysis Induced by High-Intensity Interval Training in Adipose Tissue of Mice. Frontiers in Physiology, 11, 1503.

Louche, K., Badin, P. M., Montastier, E., Laurens, C., Bourlier, V., de Glisezinski, I. ... & Moro, C. (2013). Endurance exercise training up-regulates lipolytic proteins and reduces triglyceride content in skeletal muscle of obese subjects. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, *98*(12), 4863-4871.

Maillard, F., Pereira, B., Boisseau, N. (2018). Effect of High-Intensity Interval Training on Total, Abdominal and Visceral Fat Mass: A Meta-Analysis. *Sports Med*, 48(2), 269-288.

Mann, S., Beedie, Ch, Jimenez, A. (2014). Differential Effects of Aerobic Exercise, Resistance Training and Combined Exercise Modalities on Cholesterol and the Lipid Profile: Review, Synthesis and Recommendations. *Sports Med*, 44(2), 211–221.

Mlosek, R. K., Woźniak, W., Malinowska, S., Lewandowski, M., & Nowicki, A. (2012). The effectiveness of anticellulite treatment using tripolar radiofrequency monitored by classic and high-frequency ultrasound. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, *26*(6), 696-703.

Paahoo, A., Tadibi, V., & Behpoor, N. (2020). Effect of Two Chronic Exercise Protocols on Pre-Atherosclerotic and Anti-Atherosclerotic Biomarkers Levels in Obese and Overweight Children. *Iranian Journal of Pediatrics*, *30*(2).

Pahlavani, N., Nattagh-Eshtivani, E., Amanollahi, A., Ranjbar, G., Asadzadeh Aghdaei, H., Gholizadeh Navashenaq, J., ... & Norouzy, A. (2021). Effects of Microwave Technology on the Subcutaneous Abdominal Fat and Anthropometric Indices of Overweight Adults: A Clinical Trial. Journal of Cosmetic Dermatology.

Parastesh, M., Alibakhshi, E., Saremi, A., & Shavandi, N. (2020). The effect of aerobic exercise training on leptin and pulmonary function tests during weight loss in men with visceral obesity. *Journal of Shahrekord University of Medical Sciences*, *22*(2), 96-101.

Park, H. Y., Jung, W. S., Kim, J., Hwang, H., & Lim, K. (2020). Twelve weeks of aerobic exercise at the lactate threshold improves autonomic nervous system function, body composition, and aerobic performance in women with obesity. *Journal of obesity & metabolic syndrome*, 29(1), 67.

Petridou, A., Siopi, A., & Mougios, V. (2019). Exercise in the management of obesity. *Metabolism*, 92, 163-169.

Pour Haydari, A., & Rahmani Nia, F. (2018). Effects of aerobic training and detraining on body composition, lipid profile and insulin resistance in over weight policemen. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*, *6*(11), 85-93.

Pumprla, J., Howorka, K., Kolackova, Z., & Sovova, E. (2015). Non-contact radiofrequency-induced reduction of subcutaneous abdominal fat correlates with initial cardiovascular autonomic balance and fat tissue hormones: safety analysis. *F1000Research*, *4*.

Rezaie, N., Abedi, B., & Fatolahi, H. (2019). Effect of Eight Weeks of Aerobic Aquatic and Land Exercise Training on Leptin, Resistin, and Insulin Resistance in Obese Women. *Research in Medicine*, *43*(2), 83-89.

Riis, S., Christensen, B., Nellemann, B., Møller, A. B., Husted, A. S., Pedersen, S. B., ... & Jessen, N. (2019). Molecular adaptations in human subcutaneous

adipose tissue after ten weeks of endurance exercise training in healthy males. *Journal of Applied Physiology*, *126*(3), 569-577.

Ryan, B. J., Schleh, M. W., Ahn, C., Ludzki, A. C., Gillen, J. B., Varshney, P., ... & Horowitz, J. F. (2020). Moderate-intensity exercise and high-intensity interval training affect insulin sensitivity similarly in obese adults. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 105(8), e2941-e2959.

Secor, M. (2020). Exercise and Obesity: The role of exercise in prevention, weight loss, and maintenance of weight loss. *Journal of the American Association of Nurse Practitioners*, 32 (7), 530-537.

Suh, D. H., Kim, C. M., Lee, S. J., Kim, H., Yeom, S. K., & Ryu, H. J. (2017). Safety and efficacy of a non-contact radiofrequency device for body contouring in Asians. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, *19*(2), 89-92.

Swift, D. L., McGee, J. E., Earnest, C. P., Carlisle, E., Nygard, M., Johannsen, N. M. (2018). The Effects of Exercise and Physical Activity on Weight Loss and Maintenance. *Prog Cardiovasc Dis*, 61(2), 206-213.

Talebi, N., Haji Aqaei, S. Z. (2021). The Effect of a Selected Aerobic Exercise Program on Body Composition, Lipid Profile and Workability Index of Overweight and Obese Employees. *New Approaches in Sport Sciences*, *3*(5), 5-16.

Tehfe, R., Elkhansa, Z., Fu, S., & Tehfe, H. (2021). The Effect of Exercise on Leptin and Adiposity: A Systematic Review. *Undergraduate Research in Natural and Clinical Science and Technology Journal*, 1-11.

Vale, A. L., Pereira, A. S., Morais, A., de Carvalho, P., Vilarinho, R., Mendonça, A., & Noites, A. (2020). Effect of four sessions of aerobic exercise with abdominal radiofrequency in adipose tissue in healthy women: Randomized control trial. *Journal of cosmetic dermatology*, *19*(2), 359-367.

Vale, A. L., Pereira, A. S., Morais, A., Noites, A., Mendonça, A. C., Martins Pinto, J., ... & Carvalho, P. (2018). Effects of radiofrequency on adipose tissue: A systematic review with meta-analysis. *Journal of cosmetic dermatology*, *17*(5), 703-711.

van Baak, M. A., Pramono, A., Battista, F., Beaulieu, K., Blundell, J. E., Busetto, L., ... & Oppert, J. M. (2021). Effect of different types of regular exercise on physical fitness in adults with overweight or obesity: Systematic review and meta-analyses. *Obesity Reviews*, e13239.

Vittal BG, & Abhijith D. Fasting and non-fasting lipid profile–A comparative study. (2021). *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 5(1), 06-08.

Wanitphakdeedecha, R., Sathaworawong, A., Manuskiatti, W., & Sadick, N. S. (2017). Efficacy of multipolar radiofrequency with pulsed magnetic field therapy for the treatment of abdominal cellulite. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, *19*(4), 205-209.

Yu, N., Ruan, Y., Gao, X., Sun, J. (2017). Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized, Controlled Trials on the Effect of Exercise on Serum Leptin

and Adiponectin in Overweight and Obese Individuals. *Horm Metab Res*, 49(3), 164-173.

Zouhal, H., Ben Abderrahman, A., Khodamoradi, A., Saeidi, A., Jayavel, A., Hackney, A. C., ... & Jabbour, G. (2020). Effects of physical training on anthropometrics, physical and physiological capacities in individuals with obesity: A systematic review. *Obesity reviews*, *21*(9), e13039..

Effect of 8 weeks of aerobic training with Radio Frequency on serum levels of hormone-sensitive lipase enzyme, leptin and lipid profiles in obese men

Hasan Naghizadeh[1*], Sanaz Miresmaeli[2], Hadi Asghari[3]

1 Department of Exercise Physiology, Faculty of Humanities and Social Sciences, Ardakan University, Ardakan, Iran.
2 Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Islamic Azad University, Sari branch, Sari, Iran
3 Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

[*] **Corresponding author**: naghizadeh2011@ardakan.ac.ir

Background & Purpose: Adipose tissue acts as an endocrine gland by secreting adipokines. In addition to regulating fat metabolism, these adipokines play an important role in physiological and pathological processes. The aim of this study was to investigate the effect of 8 weeks of aerobic training with radio frequency (RF) on serum levels of hormone-sensitive lipase enzyme (HSL), leptin and lipid profiles in obese men.
Methodology: In this semi-experimental study, 60 young and obese men participated voluntarily in the present study and were randomly divided into 4 groups: aerobic training, RF, aerobic training-RF and control. Aerobic training included pedaling with a stationary bike and running on a treadmill with an intensity of 55 to 80% of the heart rate reserve and RF intervention with a frequency of 8 to 9 Hz (150 watts) was 3 days a week for 8 weeks. Fasting blood sample was taken from all subjects before and after intervention to evaluate HSL, leptin and lipid profile. Data were analyzed by two-way analysis of covariance at a significance level of 0.05.
Results: The results showed that the effect of training and the interaction of training with RF significantly reduced serum leptin, TC, TG, LDL and significantly increased serum HDL and HSL ($p < 0.05$).The effect of RF significantly reduced serum TG ($p < 0.05$).The strong effect size was related to the interaction of training with RF.
Conclusion: Therefore, based on the results, it is concluded that the interaction of 8 weeks of aerobic training and RF can be an effective factor in causing favorable changes in HSL, leptin and lipid profile of obese men.
Key Words: Aerobic training, HSL, leptin, Lipid profile, Obesity