پژوهش در علوم ورزشی شماره ۲۵، زمستان ۱۳۸۸، صص ۶۶-۵۳

آثار چاقی بر اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در طی فعالیت زیربیشینه

دکتر فرهاد رحمانی‌نیا[۱]، دکتر ارسلان دمیرچی[۲]، دکتر بهمن میرزایی[۳]، دکتر صادق حسن‌نیا[۴]، محسن ابراهیمی[۵]

۱. استاد دانشگاه گیلان
۲ و ۳. دانشیار دانشگاه گیلان
۴. استادیار دانشگاه گیلان
۵. دانشجوی دکترای فیزیولوژی ورزشی دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۵/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۱۲/۲۶

چکیده

ظرفیت اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در طول فعالیت نقشی مهم در نوع سوبسترای مصرفی و ذخیره‌سازی انرژی در بدن دارد. هدف از این پژوهش بررسی اثر چاقی بر اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در هنگام فعالیت ورزشی می‌باشد. ۶ مرد چاق و ۶ مرد لاغر (شاخص توده بدن به ترتیب برابر با۱/۲۲± ۲۹/۵۵ و۱/۳۵± ۱۸/۲۷ کیلوگرم بر متر مربع) غیرفعال و بزرگسال (سن به‌ترتیب ۰/۸۳ ±۰/۵۰ ۲۲ و ۱/۳۲ ± ۲۱/۸۳ سال، قد ۹/۱۲ ± ۱۷۴ و ۴/۷۵ ± ۱۷۵/۱۷ سانتی‌متر، وزن ۸/۸۵ ± ۸۹/۳۱ و ۵/۵۸± ۵۶/۱ کیلوگرم، چربی بدن ۳/۶۲ ± ۲۶/۳۸ و ۳/۹۲ ± ۱۱/۳۵ درصد)، ۳۰ دقیقه دویدن روی نوارگردان را با شدت ۶۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی در شرایط مشابه انجام دادند. جلسهٔ آزمون در هنگام صبح و پس از ۱۲ ساعت ناشتا انجام گرفت. اکسیژن مصرفی، هزینهٔ انرژی و اکسیداسیون چربی/ کربوهیدرات در حین فعالیت به روش اسپیرومتری مدار باز و کالری سنجی غیرمستقیم با دستگاه گاز آنالایزر اندازه‌گیری و محاسبه شد. روش آماری آنالیز واریانس دوطرفه مکرر و آزمون t نشان داد که اکسیژن مصرفی(P =۰/۰۰۲) و انرژی مصرفی(P =۰/۰۰۳) در افراد چاق نسبت به افراد لاغر بیشتر بود، اما تفاوت معنی‌داری در نسبت اکسیداسیون چربی/ کربوهیدرات مشاهده نشد (P ۰/۳۹۴ =). این یافته‌ها نشان می‌دهد که نوع اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در افراد چاق نسبت به لاغر در

فعالیت ملایم و کوتاه مدت، تفاوتی ندارد و تفاوت در درصد چربی نمی‌تواند موجب تغییر در اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در فعالیت زیر بیشینه شود.

کلیدواژه‌های فارسی: فعالیت ورزشی، چاقی، اکسیداسیون چربی، کربوهیدرات.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

کلیهٔ دستاوردهای اصولی برای کاهش وزن، همگی به این نقطه ختم می‌شوند که بدن باید تعادل انرژی خود را حفظ کند. به همین دلیل برای لاغر شدن باید کاری کرد که بدن انرژی (کالری) بیشتری نسبت به مقدار دریافتی، مصرف کند. به عبارت دیگر برای کاهش وزن باید میزان انرژی مصرفی بدن بیشتر از انرژی جذب شده باشد و پیشنهاد شده است که برای درمان چاقی، فعالیت بدنی باید با رژیم غذایی کاهش وزن همراه گردد (۱ و ۲). تحقیقات نشان می‌دهند که فعالیت جسمانی موجب افزایش انرژی مصرفی و افزایش مصرف چربی در عضلات اسکلتی می‌شود و تمرینات ورزشی اکسیداسیون چربی را در هنگام فعالیت افزایش می‌دهند (۵-۳). اما آیا این مطلب در مورد افراد چاق و لاغر یکسان است؟ شناسایی الگوی انتخاب سوخت هنگام فعالیت ورزشی، کاربرد مهمی‌در طرح‌ریزی برنامه‌های ورزشی مناسب برای کاهش وزن و جلوگیری از چاقی دارد. اعمال اثر چاقی و فعالیت بدنی به شکل همزمان در انتخاب نوع اکسیداسیون در هنگام فعالیت ورزشی می‌تواند به این سؤال پاسخ دهد که آیا نوع سوبسترای مصرفی در هنگام فعالیت با چاقی تغییر می‌کند یا خیر؟.

مشخص شده است که ظرفیت آنزیم‌های اکسایشی و سطح آنزیم کارنیتین پالمیتیل ترانسفراز[1] در عضلهٔ اسکلتی افراد چاق کمتر است(۶). آیا این ویژگی‌ها در افراد چاق موجب محدودیت در ظرفیت استفاده از چربی در فعالیت ورزشی می‌شود؟به هر حال شناخت کمی‌در مورد الگوی سوخت مصرفی هنگام فعالیت در افراد چاق وجود دارد. برخی از تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که در مقایسه با افراد لاغر، انرژی مصرفی(۷ و ۸) و اکسیداسیون چربی(۹) در هنگام استراحت در افراد چاق کمتر است که هر دوی اینها با افزایش وزن و چاقی در ارتباط است. همچنین برخی از تحقیقات نشان دادند که اکسیداسیون چربی/ کربوهیدرات در

1. Carnitine palmitoyl transferase

وضعیت ناشتا (۱۰)، بلافاصله پس از صرف غذا (۱۱) و ۲۴ ساعت پس از صرف غذا (۱۰) در افراد نسبتا چاق، در مقایسه با افراد معمولی کمتر است.

نتایج اغلب تحقیقاتی که در وضعیت استراحت انجام شدند، همخوانی زیادی با هم دارند اما در هنگام فعالیت چنین نیست. مثلاً گیرلینگ[1] و همکاران همبستگی معنی‌داری را بین چربی بدن و نسبت تبادل تنفسی در فعالیت روی دوچرخه کارسنج با شدت ۴۵ درصد VO_{2max}مشاهده نکردند(۱۲). پرز[2] و همکاران ابراز داشتند که وقتی شدت فعالیت یکسان باشد، اکسیداسیون چربی در افراد چاق کمتر از افراد لاغر است و حداکثر اکسیداسیون چربی در افراد چاق در شدت فعالیت پایین‌تری نسبت به افراد لاغر اتفاق می‌افتد (۱۳). اما گودپاستر[3] و همکاران نشان دادند که اکسیداسیون چربی هنگام فعالیت روی چرخ کارسنج با شدت ۵۰ درصد VO_{2max} در افراد چاق بیشتر از افراد لاغر است(۱۴). جالب است که اخیرا زونکویین[4] و همکاران دریافتند که اکسیداسیون چربی در فعالیت روی چرخ کارسنج با شدت ۳۰ درصد VO_{2max} در پسرهای نوجوان چاق و لاغر یکسان بود اما در شدت ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد VO_{2max} در پسرهای لاغر بیشتر از پسرهای چاق بود(۱۵). علت وجود تناقض در نتایج این تحقیقات که همه آنها از روش کالری سنجی غیر مستقیم[5] برای اندازه‌گیری اکسیداسیون چربی/ کربوهیدرات استفاده کردند هنوز مشخص نشده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Geerling

2. Perez

3. Goodpaster

4. Zunquin

5. Indirect calorimetry

با توجه به این که مقدار چربی ذخیره شده در عضله به شکل تری گلیسیرید در افراد چاق بیشتر است (۱۶)، ظرفیت افراد چاق در استفاده از تری گلیسیرید به‌عنوان سوخت هنگام فعالیت ورزشی می‌تواند به شناساندن بیشتر اثر ورزش بر چاقی کمک کند. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی اثر چاقی بر اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در فعالیت ورزشی می‌باشد.

روش پژوهش

۱۲ مرد سالم غیرورزشکار، شش نفر (BMI>۲۸) به‌عنوان آزمودنی‌های چاق و شش نفر (BMI<۲۰) به‌عنوان آزمودنی‌های لاغر داوطلب شرکت در این تحقیق شدند(۱۸،۱۷،۱۴). پیش از انتخاب آزمودنی‌ها، افراد سیگاری به‌وسیلهٔ پرسشنامه‌ها از تحقیق حذف شدند. تمام مراحل کار، سختی‌ها و خطرات احتمالی برای آزمودنی‌ها شرح داده شد و سپس آنها فرم رضایت‌نامه را تکمیل کردند.

آزمودنی‌ها یک هفته پیش از انجام آزمون، به‌منظور تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) و اندازه‌گیری‌های اولیه به آزمایشگاه مراجعه کردند. VO_{2max} آزمودنی‌ها با استفاده از یک پروتکل تداومی فزاینده روی نوارگردان اندازه‌گیری شد. روش کار به این صورت بود که از آزمودنی‌ها خواسته شد تا در طول ۲۴ ساعت قبل از اجرای آزمون از هر گونه فعالیت شدید خودداری کنند. پیش از اجرای آزمون، آزمودنی‌ها به مدت پنج دقیقه به گرم کردن پرداختند. سرعت نوارگردان در ابتدا سه کیلومتر در ساعت بود که به‌تدریج هر دقیقه، یک کیلومتر در ساعت به سرعت آن اضافه می‌شد. در طول آزمون، آزمودنی‌ها به شکل کلامی تشویق می‌شدند. ملاک رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی مشاهدهٔ حداقل سه مورد از موارد زیر در آزمودنی‌ها بود:

۱. نسبت تبادل تنفسی(RER) بیشتر از ۱/۱؛
۲. رسیدن ضربان قلب به ±۱۰ ضربان قلب بیشینه از طریق فرمول سن-۲۲۰؛

۳. به فلات رسیدن نمودار HR/VO2؛
۴. حالت آزمودنی و رسیدن به واماندگی (۱۹).

اندازه‌گیری‌های متابولیکی با استفاده از تکنیک استاندارد کالری‌متری مدار باز (دستگاه گاز آنالایزر ساخت شرکت کازمد[1] ایتالیا) در حین آزمون انجام می‌گرفت و داده‌ها بر روی مانیتور نشان داده می‌شد. وزن، شاخص توده بدنی(BMI)، درصد چربی و وزن بدون چربی(FFM) به روش بیوالکتریکال ایمپدنس[2] با دستگاه (inbody 3.0 ساخت کشور کره جنوبی) اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های آزمودنی‌ها در جدول ۱ آمده است.

از آزمودنی‌ها خواسته شد که حداقل یک روز پیش از آزمون از انجام هر گونه فعالیت شدید خودداری کنند. جلسهٔ آزمون، در ساعت ۱۰ صبح و پس از ۱۲ ساعت حالت ناشتا انجام گرفت. آزمودنی‌ها به مدت ۳۰ دقیقه روی نوار گردان با شدت ۶۰ درصد VO_{2max} ،که از پیش تعیین شده بود، دویدند. ترتیب جلسه‌ها به‌صورت تصادفی و به‌شکل متعادل تنظیم شد.

اکسیژن مصرفی (VO_2)، دی اکسید کربن دفع شده (VCO_2)، نسبت تبادل تنفسی (RER) و هزینهٔ انرژی (EE) در حین فعالیت به روش اسپیرومتری مدار باز و کالری سنجی غیرمستقیم[3] با دستگاه گاز آنالایزر اندازه‌گیری و محاسبه شد. این متغیرها با فشار، دما و رطوبت استاندارد شده توسط دستگاه اصلاح و محاسبه می‌شد. کالیبراسیون دستگاه گاز آنالایزر برای هر آزمودنی در هر وهله از اندازه‌گیری‌ها قبل از اجرای پروتکل انجام می‌شد. میانگین دمای اتاق آزمایشگاه در هنگام اجرای پروتکل برابر با ۱/۷۲ ± ۲۴/۴۶ بود. ضربان قلب (HR) آزمودنی‌ها

1. Cosmed
2. Bioelectrical Impedance
3. Indirect Calorimetry

هنگام دویدن به روش تلمتری از بلت[1] که دور قفسهٔ سینهٔ آزمودنی‌ها بسته شده بود، به دستگاه گاز آنالایزر انتقال یافته و ثبت می‌شد. سرعت اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات با فرمول فرین(۱۹۸۳)[2] (۲۰) به‌وسیلهٔ دستگاه گاز آنالایزر محاسبه می‌شد:

سرعت اکسیداسیون کربوهیدرات (میلی گرم در دقیقه) = ۴/۵۸۵ VCO_2 – ۳/۲۲۵۵ VO_2

سرعت اکسیداسیون چربی (میلی گرم در دقیقه) = - ۱/۷۰۱۲ VCO_2 + ۱/۶۹۴۶ VO_2

جدول ۱ – ویژگی‌های آزمودنی‌ها

ویژگی	لاغر	چاق
سن(سال)	۲۱/۸۳±۱/۳۲	۲۲/۵۰±۰/۸۳
قد (سانتی‌متر)	۱۷۵/۱۷±۴/۷۵	۱۷۴±۹/۱۲
وزن (کیلوگرم)*	۵۶/۱±۵/۵۸	۸۹/۳۱±۸/۸۵
BMI (کیلوگرم بر مترمربع)*	۱۸/۲۷±۱/۳۵	۲۹/۵۵±۱/۲۲
چربی بدن (درصد)*	۱۱/۳۵±۳/۹۲	۲۶/۳۸±۳/۶۲
FFM (کیلوگرم)*	۴۶/۸۷±۳/۷۴	۶۲/۴۷±۸/۶۶
VO_{2max} (لیتر در دقیقه)*	۲/۵۱ ±۰/۶۳	۳/۴۹±۰/۵
VO_{2max}(میلی لیتر بر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه)	۴۳/۵۹± ۸/۱۲	۳۸/۷۶± ۲/۲۰
VO_{2max} (میلی لیتر بر کیلوگرم وزن بدون چربی بدن در دقیقه)	۵۳/۱۳±۹/۰۹	۵۶/۰۴±۳/۲۷

مقادیر به شکل میانگین ± انحراف استاندارد بیان شده است.

BMI، شاخص توده بدن؛ FFM ، وزن بدون چربی؛ VO_{2max}، حداکثر اکسیژن مصرفی.

* $P < ۰/۰۵$ لاغر در مقابل چاق

برای داده‌های اکسیژن مصرفی و انرژی مصرفی از روش آنالیز واریانس دوطرفهٔ مکرر و برای تعیین وجود تفاوت بین میانگین اندازه‌گیری‌های انجام شده در دو

1. Belt

2. Frayn KN (1983)

گروه از آزمون t مستقل استفاده شد. سطح معنی‌داری در این آزمون ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های آزمودنی‌های چاق و لاغر در جدول شمارهٔ ۱ مشاهده می‌شود. آزمودنی‌های چاق از درصد چربی، وزن بدون چربی (FFM) (P= ۰/۰۰۰) و BMI (P= ۰/۰۰۲) بالاتری نسبت به آزمودنی‌های لاغر برخوردار بودند. تفاوت معنی‌داری در سن آزمودنی‌ها وجود نداشت(P= ۰/۳۲۳) و حداکثر اکسیژن مصرفی هنگامی‌که به لیتر در دقیقه محاسبه شد در افراد چاق بالاتر از افراد لاغر بود (P = ۰/۰۱۴) ولی هنگامی‌که به میلی‌لیتر در کیلوگرم وزن بدن و میلی‌لیتر در کیلوگرم وزن بدون چربی بدن محاسبه شد، تفاوت بین دو گروه معنی‌دار نبود (P = ۰/۱۹۰).

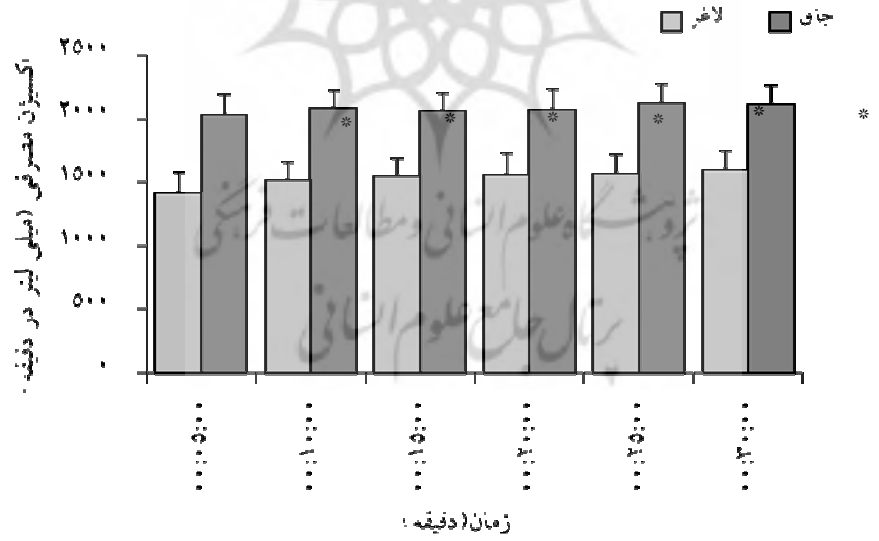
میانگین اکسیژن مصرفی در طول فعالیت در افراد چاق بالاتر از افراد لاغر بود (P= ۰/۰۰۲) اما تفاوت معنی‌داری بین میانگین اکسیژن مصرفی بر حسب کیلوگرم وزن بدن (P= ۰/۰۸۸) و کیلوگرم وزن بدون چربی بدن (P= ۰/۲۱۷)، بین آزمودنی‌های چاق و لاغر مشاهده نشد. همچنین میانگین انرژی مصرفی در طول فعالیت در افراد چاق بالاتر از افراد لاغر بود(P=۰/۰۰۳). تفاوت بین میانگین انرژی مصرفی بر حسب کیلوگرم وزن بدن(P= ۰/۱۲۳) و کیلوگرم وزن بدون چربی بدن(P= ۰/۳۴۶) بین آزمودنی‌های چاق و لاغر معنی‌دار نبود. با وجود پایین‌تر بودن میانگین نسبت تبادل تنفسی هنگام فعالیت در افراد لاغر نسبت به افراد چاق، این اختلاف نیز معنی‌دار نبود(P= ۰/۳۹۴). میانگین ضربان قلب در طول فعالیت در آزمودنی‌های چاق به طور معنی‌داری بیشتر از آزمودنی‌های لاغر بود(P =۰/۰۴۴). در نمودار ۱، میانگین هر پنج دقیقه از فعالیت مشاهده می‌شود.

جدول ۲- مقادیر به‌دست آمده در آزمودنی‌های چاق و لاغر

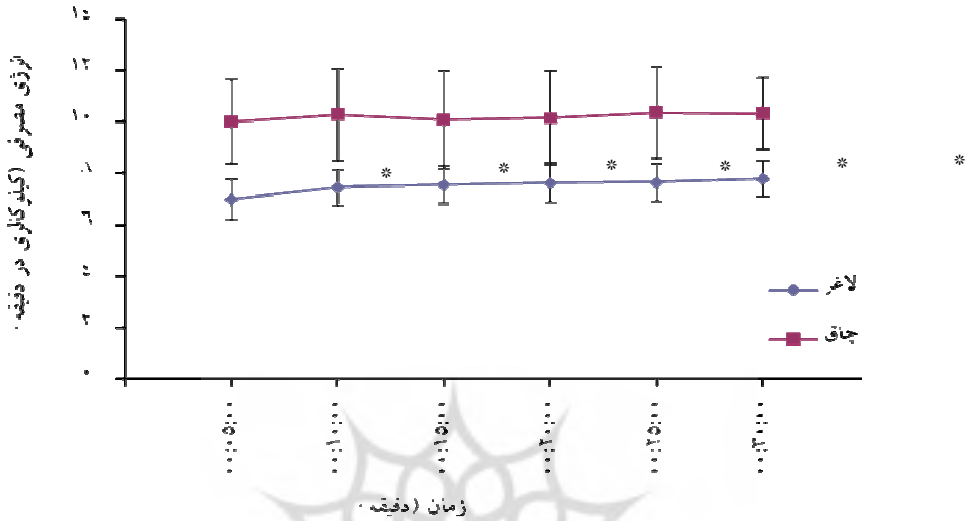
چاق	لاغر

اکسیژن مصرفی		
میلی لیتر در دقیقه(ml/min)	۲۰۶۷/۵۰ ±۳۲۹*	۱۴۱۸/۵۰ ±۲۱۷
میلی لیتر در کیلوگرم وزن بدن در دقیقه (mL/kg /min)	۲۲/۹۹ ±۲/۷۲	۲۶/۱۱ ±۲,۹۹
میلی لیتر در کیلوگرم وزن بدون چربی بدن در دقیقه mL/kg (FFM/min)	۳۳/۲۸ ±۴/۳۲	۳۰/۲۳ ±۳/۶۴
انرژی مصرفی		
کیلوکالری در دقیقه (kcal/min)	۱۰/۱۵ ±۱/۵۷*	۷/۱۴ ±۱/۱۳
کیلوکالری در کیلوگرم وزن بدن در دقیقه (kcal/kg/min)	۰/۱۱ ± ۰/۰۱	۰/۱۲ ± ۰/۰۱
کیلوکالری در کیلوگرم وزن بدون چربی بدن در دقیقه (kcal/kgFFM/min)	۰/۱۶ ± ۰/۰۲	۰/۱۵ ± ۰/۰۱
ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	۱۵۵/۳۳ ±۷/۳۳*	±۱۷/۲۷ ۱۳۷/۶۶
اکسیداسیون چربی		
درصد (٪)	۳۱/۳۱	۳۵/۰۳
میانگین میزان اکسیداسیون (mg/min)	۳۴۱/۲۴	۲۸۱/۹۳
اکسیداسیون کربوهیدرات		
درصد (٪)	۶۶/۳۷	۶۱/۸۷
میانگین میزان اکسیداسیون (mg/min)	۱۶۱۲/۲۱	۱۱۰۲/۲۷

* $P < ۰/۰۵$ لاغر در مقابل چاق



نمودار ۱.اکسیژن مصرفی (VO_2) در طول ۳۰ دقیقه دویدن روی نوار گردان با شدت ۶۰٪ حداکثر اکسیژن مصرفی در آزمودنی‌های چاق و لاغر. تفاوت بین آزمودنی‌های چاق و لاغر معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$).



نمودار ۲. انرژی مصرفی(EE) در طول ۳۰ دقیقه دویدن روی نوار گردان با شدت ۶۰٪ حداکثر اکسیژن مصرفی در آزمودنی‌های چاق و لاغر. تفاوت بین آزمودنی‌های چاق و لاغر، معنی‌دار بود (P<۰/۰۵).

نمودار ۳. نسبت اکسیداسیون چربی/کربوهیدرات در طول ۳۰ دقیقه دویدن روی نوار گردان با شدت ۶۰٪ حداکثر اکسیژن مصرفی در آزمودنی‌های چاق و لاغر. تفاوت بین آزمودنی‌های چاق و لاغر، معنی‌دار نبود ($P < ۰/۰۵$).

بحث

سطح آمادگی جسمانی در انتخاب نوع سوخت مصرفی می‌تواند اثر گذار باشد(۲۱). در تحقیق حاضر، عدم معنی‌داری تفاوت VO_{2max} بین آزمودنی‌های چاق و لاغر (جدول ۱) نشان می‌دهد که آزمودنی‌ها در دو گروه از سطح آمادگی هوازی تقریبا یکسانی برخوردار بودند. از این رو احتمالا عامل آمادگی هوازی نمی‌تواند بر مقایسه نتایج تحقیق بین دو گروه اثر گذار باشد.

یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که در فعالیت زیر بیشینه (۶۰ درصد VO_{2max})، اکسیژن مصرفی و انرژی مصرفی در افراد چاق بیشتر از افراد لاغر است. اما هنگامی‌که این متغیرها براساس وزن بدون چربی(FFM) بیان شدند، این تفاوت معنی‌دار نبود. از آنجایی که به‌نظر می‌رسد FFM بهتر از کل وزن بدن، نشان‌دهندهٔ فعالیت سوخت و سازی بافت‌ها هنگام فعالیت می‌باشد، پس احتمالاً فعالیت سوخت و سازی بافت‌ها در هنگام فعالیت با این شدت، بین دو گروه برابر بوده است و تفاوت موجود احتمالاً به علت توده چربی بدن می‌باشد.

تحقیق حاضر نشان داد که چاقی اثر معنی‌داری بر نوع اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در طول ۳۰ دقیقه فعالیت با شدت ۶۰ درصد VO_{2max} ندارد. این یافته با نتایج گودپاستر و همکاران که نشان دادند اکسیداسیون چربی در افراد چاق در فعالیت زیربیشینه، بیشتر از افراد لاغر است، مغایرت دارد. به‌نظر می‌رسد این مغایرت احتمالاً ناشی از تفاوت موجود در شدت فعالیت (۵۰ در مقابل ۶۰ درصد) و مدت فعالیت (۶۰ در مقابل ۳۰ دقیقه) در دو تحقیق باشد. از این یافته‌ها می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که اگر تفاوتی در اکسیداسیون چربی بین افراد چاق و لاغر هنگام فعالیت وجود داشته باشد، احتمالا در شدت‌های کمتر و مدت‌های طولانی‌تر، بهتر نمایان می‌شود. شاید به این دلیل که با افزایش مدت

فعالیت و کاهش شدت فعالیت، اتکا بـه اکـسیداسیون چربـی بـرای تولیـد انـرژی افزایش می‌یابد و این تفاوت برجسته‌تر می‌شود. پرز و همکـاران(۲۰۰۱) نیـز ابـراز داشتند که شدت فعالیتی که در آن حداکثر اکسیداسیون چربی اتفاق می‌افتـد در افراد چاق پایین‌تر از افراد لاغر است(۱۳). البته مطالعات زیادی نیز وجود دارد(۱۲ و ۲۲) که مخالف نظر گودپاستر و همکاران است. گودپاستر و همکاران مکانیزمی از خود پیشنهاد نکردند و فقط علت تناقض یافته‌های خود با یافته‌هـای تحقیقـات دیگر را همسان بودن سطح آمادگی هـوازی در گـروه‌هـای آزمـودنی خـود اعـلام کردند، اما در تحقیق اخیر که توسـط زونکـویین و همکـاران(۲۰۰۸) انجـام شـد، نشان داده شد که اکسیداسیون چربی در پسر بچه‌های(۱۲ ساله) لاغر در فعالیـت با شدت ۶۰ درصد VO_{2max} بیشتر از پسر بچه‌های (۱۲ساله) چاق بوده است. آنهـا چنین نتیجه‌گیری کردنـد کـه علـت کمتـر بـودن اکـسیداسیون چربـی در پـسر بچه‌های چاق ناشی از کمتر بودن ظرفیت FFM برای اسـتفاده از چربـی در طـول فعالیت متوسط می‌باشد (۱۵). شاید در تحقیق حاضر نیز اگر FFM در دو گـروه برابر می‌بود، چنین نتیجه‌ای بدست می‌آمـد زیـرا بـا وجـود بـالاتر بـودن FFM در آزمودنی‌های چاق، مشاهده شد که اکسیداسیون چربی در دو گروه برابـر اسـت. از طرفی، اسچیفلرز و همکاران(۲۳) با تزریق هپارین که موجب افزایش غلظت اسید چرب پلاسما شد نشان دادند که نسبت تبادل تنفسی به‌طـور مـشابهی در هـر دو گروه چاق و لاغر کاهش یافت. این بدین معنی اسـت کـه ظرفیـت اکـسیداسیون چربی در افراد چاق و لاغر برابر است و تفاوت‌های مشاهده شده احتمالاً بـه‌دلیـل ناتوانی افراد چاق در به حرکت در آوردن چربـی از منـابع آن باشـد. در هـر حـال مطالعات بیشتری لازم است تا بتوان به یک نتیجه‌گیری کلی رسید.

یکی از نتایج جالب توجه پژوهش حاضر این بود که علی‌رغم عـدم وجـود تفـاوت معنی‌دار در شدت نسبی فعالیت بین آزمودنی‌های چاق و لاغر (۵۹/۵۶ در مقابـل ۵۹/۶۳)، میانگین ضربان قلب در طول فعالیت در آزمـودنی‌هـای چـاق بیـشتر از آزمودنی‌های لاغر بود. این نشان می‌دهد که در شدت‌های مساوی دویدن (از نظـر

درصد اکسیژن مصرفی)، افراد چاق با ضربان قلب بالاتری نسبت به افراد لاغر به فعالیت می‌پردازند. احتمالاً افراد چاق به‌دلیل فشار خون بالاتری که نسبت به افراد لاغر دارند با پیش بار بیشتری در حجم ضربه‌ای مواجه بوده و به‌دلیل کاهش حجم ضربه‌ای، ضربان قلب بالاتری دارند. برای اثبات این پیشنهاد، همان‌طور که در ادامه اشاره خواهد شد، نیاز به تحقیقات بیشتری می‌باشد. شاید علت تفاوت در نتایج این تحقیق و برخی از تحقیقات گذشته ناشی از این نکته باشد که اغلب تحقیقات پیشین از چرخ کارسنج برای فعالیت استفاده کرده‌اند، اما تحقیق حاضر تنها تحقیقی است که به مقایسه اکسیداسیون سوبسترای افراد چاق و لاغر در فعالیت زیربیشینه روی نوارگردان پرداخته است. علاوه بر حمل وزن بدن در نوارگردان، یکی دیگر از تفاوت‌های موجود بین فعالیت روی چرخ کارسنج و نوارگردان، درگیر شدن عضلات بیشتر در نوارگردان نسبت به چرخ کارسنج است. همچنین پیشنهاد شده است که فشار وارده بر هر تار عضله، در فعالیت روی چرخ کارسنج بیشتر از نوارگردان است(۲۴). آخن[1] و همکاران(۲۰۰۳) که به مقایسه اکسیداسیون بین دویدن روی نوارگردان و فعالیت روی چرخ کارسنج در آزمودنی‌های تمرین کرده پرداختند، نشان دادند که حداکثر اکسیداسیون چربی در فعالیت روی نوارگردان بالاتر از فعالیت روی چرخ کارسنج است اما شدتی که در آن حداکثر اکسیداسیون چربی اتفاق می‌افتد بین دو فعالیت تفاوت معنی‌داری ندارد(۲۴)، این تحقیقات به بررسی تفاوت‌های بین فعالیت روی نوار گردان و چرخ کارسنج پرداختند اما هیچکدام ضربان قلب را مد نظر قرار ندادند و همچنین تحقیقی وجود ندارد که به بررسی اثر نوع فعالیت (چرخ کارسنج یا نوارگردان) بر تفاوت‌های میان افراد چاق و لاغر پرداخته باشد. لذا بحث در این زمینه نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

1. Achten

از طرف دیگر معمولاً برای تعیین شدت فعالیت در برخی از تحقیقات و همچنین برای تجویز ورزش برای افراد چاق، از روش درصد ضربان قلب استفاده می‌شود. هرچند که نیاز به پژوهش‌های بیشتری در این زمینه است تا بتوان بدون تردید این نکته را عنوان کرد اما نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برای تعیین شدت فعالیت در افراد چاق، روش ضربان قلب روش مناسبی نمی‌باشد زیرا با وجود مساوی بودن شدت نسبی فعالیت، افراد چاق دارای ضربان قلب بالاتری بودند. پس بهتر است برای برآورد شدت فعالیت با این روش، ملاحظاتی را در مورد افراد چاق و لاغر مد نظر داشت. چرا که تغییر اندکی در شدت فعالیت موجب تغییر زیادی در نسبت اکسیداسیون چربی/کربوهیدرات می‌شود. متأسفانه پژوهشگران تحقیق حاضر، پژوهشی که به بررسی این نکته پرداخته باشد نیافته‌اند. فقط در نتایج تحقیق براکو و همکاران می‌توان چنین یافته‌ای را در مورد ضربان قلب در زنان چاق و لاغر در فعالیت راه رفتن روی نوارگردان با شدت ۵۰ درصد VO_{2max} به مدت ۳۰ دقیقه مشاهده کرد. اما براکو و همکاران ظاهرا به این نکته توجه نکرده بودند و هیچ بحثی در مورد آن ارائه ندادند. لذا نیاز به پژوهش‌های بیشتری در این زمینه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بنابراین به‌نظر می‌رسد تفاوت در درصد چربی نمی‌تواند موجب تغییر نسبت اکسیداسیون کربوهیدرات به چربی در فعالیت زیر بیشینه شود و در شرایط مصرف انرژی مساوی، فعالیت کم شدت و طولانی مدت بهتر از فعالیت شدیدتر و کوتاه مدت موجب از دست دادن چربی بدن در افراد چاق می‌گردد. همچنین، وقتی‌که انرژی مصرفی نسبت به وزن بدن بیان شود، مصرف انرژی در افراد چاق و لاغر هنگام فعالیت با هم تفاوتی ندارد.

منابع

1. Solomon T. P. J., Sistrun S. N., Krishnan R K., Del Aguila L F., Marchetti C.M., O'Carroll S M., O'Leary V B., and Kirwan1J P.(2008): Exercise and diet enhance

fat oxidation and reduce insulin resistance in older obese adults. *J Appl Physiol*. 104: 1313-1319.

2. Wei M, Kampert JB, Barlow CE (1999): Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal-weight, overweight, and obese men, *JAMA.,* 282: 1547–53.
3. Van Loon LJ, Jeukendrup AE, Saris WH, Wagenmakers AJ (1999): Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion. *J Appl Physiol*.;87:1413–20.
4. Friedlander AL, Casazza GA, Horning MA, Buddinger TF, Brooks GA (1998): Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *Am J Physiol Endocrinol Metab*.; 275:E853–E63.
5. Amati F, Dubé J J., Shay Ch, and Goodpaster B H. (2008): Separate and combined effects of exercise training and weight loss on exercise efficiency and substrate oxidation. *J Appl Physiol*. 105: 825-831.
6. Simoneau JA, Veerkamp JH, Turcotte LP, Kelley DE: Markers of capacity to utilize fatty acids in human skeletal muscle (1999): relation to insulin resistance and obesity and effects of weight loss. *FASEB J*.;13:2051–60.
7. Bogardus, C., S. Lillioja, E. Ravussin, W. Abbott, J. K. Zawadzki, A. Young, W. C. Knowler, R. Jacobwitz, and P. P. Moll (1986): Familial dependence of the resting metabolic rate. *N.Engl. J.Med*., 315: 96–100.
8. Ravussin, E., S. Lillioja, W. C. Knowler, L. Christin, D. Freymond, W. G. H. Abott, V. Boyce, B. V. Howard, and C. Bogardus (1988): Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body weight gain. *N. Engl. J.Med*., 318: 467–472.
9. Zurlo, F., S. Lillioja, A. Esposito-del Puente, B. L. Nyomba, I. Raz, M. F. Saad, B. A. Swinburn, W. C. Knowler, C. Bogardus, and E. Ravussin (1990): Low ratio of fat to carbohydrate oxidation as predictor of weight gain: study of 24-h RQ. *Am. J. Physiol*., 259 (Endocrinol.Metab. 22): E650–E657.
10. Astrup, A., B. Buemann, N. J. Christensen, and J. Madsen (1992): 24-Hour energy expenditure and sympathetic activity in postobese women consuming a high-carbohydrate diet. *Am. J. Physiol. 262 Endocrinol.Metab*., 25: E282–E288.
11. Raben A H B, Andersen, N. J. Christensen, J. Madsen, J. J. Holst, and A.Astrup (1994): Evidence for an abnormal postprandial response to a high-fat meal in women predisposed to obesity. *Am. J. Physiol.,267 (Endocrinol.Metab. 30)*: E549–E559.
12. Geerling BJ, Alles MS, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Harding M, Prentice AM (1994): Fatness in relation to substrate oxidation during exercise. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 18(7):453-9.

13. Perez Martin A, Dumortier M, Raynaud E, Brun J F, Fedou C, Bringer J, Mercier J (2001): Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes-Metab*. 27(4 Pt 1): 466-74.

14. Goodpaster BH, Robert R. Wolfe, and David E. Kelley (2002): Effect of obesity on substrate utilization during exercise. *Obesity research*, 10: 575-584.

15. Zunquin G, Theunynck D, Sesboue B, Arhan P, Bougle D (2008): Comparison of fat oxidation during exercise between lean and obese pubertal boys: clinical implications. *Br J Sports Med.*; 0:044529v1.

16. Goodpaster BH, Theriault R, Watkins SC, Kelley DE (2000): Intramuscular lipid content is increased in obesity and decreased by weight loss. *Metabolism*.;49:467–72.

17. Bracco D, Ferrarra JM, Arnaud MJ, Jequier E, Schutz Y (1995): Effect of caffeine on energy metabolism, heart rate, and methylxanthine metabolism in lean and obese women. *Am J Physiol*.; 269: E671-8.

18. Lee SoJung, Hutson R, Kilpatrick K, and Graham TE, Ross R (2005): Caffeine ingestion is associated with reduction in glucose uptake independent of obesity and type 2 diabetes before and after exercise training. *Diabetes Care*., 28:566- 572.

۱۹. تودورهال، فیزیولـوژی ورزشـی(۱۳۷۸). متـرجم: رحمـانی نیـا و همکـاران. انتشارات دانشگاه گیلان.

20. Frayn KN (1983): Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol*. ;55: 628-634.

21. Van Loon LJ, Jeukendrup AE, Saris WH, Wagenmakers AJ (1999): Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion. *J Appl Physiol*.;87:1413–20.

22. Wade AJ, Marbut MM, Round JM. (1990): Muscle fiber type and aetiology of obesity. Lancet.; 335:805-8.

23. Schiffelers SL, Saris WH, Van Baak MA (2001): The effect of increase free fatty acid concentration on thermogenesis and substrate oxidation in obese and lean men. *Int J Obes Relat Metab Disord*.; 25(1):33-8.

24. Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE (2003): Fat Oxidation Rates Are Higher During Running Compared With Cycling Over a Wide Range of Intensities. *Metabolism.*; 52(6):747-52.