فیزیولوژی ورزشی شماره ۲۸، زمستان ۱۳۹۴. صص ۴۴-۳۱

مقایسهٔ حداکثر اکسیداسیون چربی و Fat_{max} بین زنان تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده

هادی روحانی[۱]، سیدصالح صفری موسوی[۲]، سمیرا غلامیان[۳]، اسماعیل فرزانه[۴]

۱. استادیار پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی*
۲. دانشجوی دکتری دانشگاه گیلان
۳. دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد، کارشناس آزمایشگاه پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی
۴. کارشناس ارشد گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۰۵

مقاله مستخرج از طرح پژوهشی پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی**

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، مقایسهٔ حداکثر اکسیداسیون چربی و شدتی از فعالیت ورزشی که حداکثر اکسیداسیون چربی در آن اتفاق می‌افتد (Fat_{max})، در زنان تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده بود. ۱۰ زن سالم تمرین‌نکرده (با سطح فعالیت ورزشی کمتر از سه ساعت در هفته و میانگین حداکثر اکسیژن مصرفی ۲/۶۶±۰/۳۴ لیتر در دقیقه) و ۱۰ زن سالم تمرین‌کرده (از اعضای یک تیم بسکتبال باشگاهی با میانگین حداکثر اکسیژن مصرفی ۲/۸۳±۰/۲۹ لیتر در دقیقه) که به‌صورت هدفمند انتخاب شدند، نمونه آماری این پژوهش را تشکیل دادند. آزمودنی‌ها پس از۱۰ تا ۱۲ ساعت ناشتایی شبانه، آزمون ورزشی فزاینده‌ای را روی چرخ کارسنج با مراحل سه دقیقه‌ای تا سرحد خستگی اجرا کردند. در طول آزمون گازهای تنفسی با استفاده از دستگاه گاز آنالایزر اندازه‌گیری شد و میزان اکسیداسیون مواد، حداکثر اکسیداسیون چربی و Fat_{max} محاسبه گردید. همچنین، از آزمون آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و تی مستقل به‌منظور مقایسهٔ متغیرها در سطح $P<0.05$ استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین حداکثر اکسیداسیون چربی و Fat_{max} در آزمودنی‌های تمرین‌کرده، به‌طور معناداری بالاتر از مقدار آن در آزمودنی‌های تمرین‌نکرده می‌باشد ($P<0.05$). همچنین، مقادیر اکسیداسیون چربی در شدت‌های بالاتر از ۵۵ درصد VO_2max در افراد تمرین‌کرده، به‌طور معناداری بالاتر از افراد تمرین‌نکرده بود ($P<0.05$). به‌طورکلی، بالابودن سطح آمادگی جسمانی افراد تمرین‌کرده سبب افزایش میزان اکسیداسیون چربی و کاهش اکسیداسیون کربوهیدرات در جریان فعالیت شده و شروع کاهش اکسیداسیون چربی در این افراد در شدت بالاتری اتفاق می‌افتد؛ بنابراین، دیرتر به منابع کربوهیدرات وابسته می‌شوند.

واژگان کلیدی: حداکثر اکسیداسیون چربی، Fat_{max}، سطح آمادگی جسمانی

* نویسنده مسئول Email: h_rohani7@yahoo.com

** عنوان طرح پژوهشی: بررسی و مقایسهٔ حداکثر اکسیداسیون چربی و Fatmax در دختران تمرین کرده و تمرین نکرده

مقدمه

انرژی مورد استفاده پس از جذب غذا در خلال استراحت و فعالیت بدنی، به‌طور عمده از اکسیداسیون کربوهیدرات و چربی تأمین می‌شود. گلوکز خون، گلیکوژن عضله، اسید چرب پلاسما و تری گلیسرید درون عضلانی، منابع اصلی تولیدکنندهٔ انرژی در بدن می‌باشند. چربی در انتهای سلسله‌مراتب اکسیداتیوی که تعیین‌کنندهٔ انتخاب سوخت است وجود دارد و اکسیداسیون آن با حضور یا عدم حضور دیگر درشت‌مغذی‌ها کنترل می‌شود. درمقابل، اکسیداسیون کربوهیدرات به‌شدت تحت‌تأثیر مصرف کربوهیدرات قرار دارد (۱). درواقع، مشارکت مطلق و نسبی این سوخت‌ها می‌تواند تحت‌تأثیر عوامل متعددی از جمله تغذیه، محتوای گلیکوژن عضله، شدت و مدت تمرین ورزشی و وضعیت آمادگی جسمانی فرد قرار گیرد. درهمین زمینه، لیما سیلوا[1] و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که تغییر در شدت‌های ورزشی، تغییراتی را در استفاده از سوبسترا ایجاد می‌کند. با افزایش شدت ورزشی، مشارکت نسبی کربوهیدرات به‌عنوان منبع تولید انرژی افزایش می‌یابد و هم‌زمان، مشارکت نسبی اکسیداسیون چربی کاهش پیدا می‌کند. بااین‌حال، در شرایط مطلق، اکسیداسیون کربوهیدرات متناسب با شدت فعالیت ورزشی افزایش پیدا خواهد کرد. درحالی‌که میزان اکسیداسیون چربی، ابتدا افزایش یافته و سپس با افزایش شدت فعالیت ورزشی، کاهش پیدا می‌کند (۲). در شدتی که میزان گلیکولیز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند (در شدت ورزشی بالاتر از آستانهٔ لاکتات)، میزان کمتری از اسیدهای چرب به‌عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، اگرچه هزینهٔ انرژی افزایش می‌یابد؛ اما میزان مطلق اکسیداسیون چربی کاهش خواهد داشت (۳). هر اندازه این شدت ورزشی بالاتر باشد، نشان‌دهندهٔ توانایی بیشتر جهت ایجاد اکسیداسیون چربی و استفاده از مزایای بهبود در اکسیداسیون چربی می‌باشد. شدتی از فعالیت که بیشترین میزان اکسیداسیون چربی[2] (MFO) در آن روی می‌دهد را Fat_{max} گویند. این شدت ورزشی ممکن است برای برنامه‌های کاهش وزن و برنامه های ورزشی مرتبط با سلامتی مهم باشد (۴). ازطرفی، یکی از سازگاری‌های اصلی برای تمرین‌های استقامتی، تغییر از سوخت‌وساز کربوهیدرات به‌سوی سوخت‌وساز چربی می‌باشد؛ بنابراین، توانایی برای اکسایش چربی به‌عنوان یک سوخت، ارتباط بالایی با عملکرد استقامتی دارد (۵،۶). در مطالعات گذشته، میزان اکسیداسیون چربی در شدت‌های مختلف ورزشی بررسی شده است. تعدادی از این مطالعات، سه (۷) یا چهار (۸) شدت متفاوت ورزشی را مورد بررسی قرار داده‌اند؛ اما از سال

1. Lima-Silva
2. Maximal Fat Oxidation

۲۰۰۲ به بعد پس از بررسی‌های آچتن[1] و همکاران، میزان اکسیداسیون چربی با استفاده از یک فعالیت ورزشی فزاینده در دامنهٔ گسترده‌ای از شدت‌های ورزشی مقایسه شد (۱). تأثیر متغیرهای مختلف بر MFO و Fat_{max} نیز موضوعی است که در پژوهش‌های گذشته بررسی شده است؛ اما دربارهٔ بررسی تأثیر وضعیت آمادگی جسمانی بر MFO و Fat_{max} در زنان اطلاعات اندکی وجود دارد و بیشتر پژوهش‌ها مربوط به ارزیابی Fat_{max} در مردان می‌باشد (۱۲ـ۹). با این‌وجود، لازر[2] و همکاران (۲۰۰۷) Fat_{max} و میزان اکسیداسیون چربی را در پسران و دختران اندازه‌گیری کرده و مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که میزان Fat_{max} در پسران و دختران غیرچاق (به‌ترتیب ۴۵ و ۴۲ درصد VO_2peak) مشابه می‌باشد. درمقابل، مقادیر مطلق حداکثر اکسیداسیون چربی در پسران در مقایسه با دختران بیشتر گزارش شد (۰/۳۲ در مقابل ۰/۲۵ گرم در دقیقه) (۱۳). علاوه‌براین، محبی و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش کردند که مقادیر مطلق اکسیداسیون چربی و MFO در پسران بیش از دختران است؛ اما وقتی این مقادیر نسبت به تودهٔ بدون چربی افراد محاسبه شد، تفاوتی در این مقادیر بین پسران و دختران مشاهده نگردید. مقادیر Fat_{max} نیز تفاوت معناداری را بین پسران و دختران نشان نداد (۱۴). با توجه به این که تفاوت‌های هورمونی مرتبط با جنسیت، تأثیر قابل‌توجهی بر اکسیداسیون سوبستراها دارد؛ به‌گونه‌ای که پاسخ هورمون‌های مؤثر بر اکسیداسیون چربی شامل پروژسترون، استرادیول و کاتکولامین‌ها به فعالیت ورزشی در زنان متفاوت از مردان است (۶)؛ لذا، پاسخ‌های سوخت‌وسازی زنان به فعالیت ورزشی نباید مشابه با مردان در نظر گرفته شود و لازم است که به‌صورت جدا بررسی شود.

ازسوی‌دیگر، بررسی تأثیر وضعیت آمادگی جسمانی بر MFO و Fat_{max} در مطالعات قبلی با نتایج متناقضی همراه بوده است. همچنین، نوردبی[3] و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که افراد تمرین‌کرده، MFO و Fat_{max} بالاتری نسبت به افراد تمرین‌نکرده دارند (۱۵). لیما- سیلوا و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند افرادی که VO_2max بالاتری دارند، دارای Fat_{max} بیشتری می‌باشند (۲). درمقابل، استیسن[4] و همکاران (۲۰۰۶) بین افراد تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده تفاوت معناداری را در این پارامترها مشاهده نکردند (۱۶). آچتن و همکاران (۲۰۰۳) نیز تفاوتی در Fat_{max} افراد با VO_2max بالا و پایین گزارش نکردند (۱۷). این نتایج متناقض می‌تواند توسط معیار تعیین وضعیت سطح آمادگی فرد تبیین شود. در این مطالعات، آزمودنی‌های با مقادیر پایین و بالای VO_2max مورد مقایسه قرار گرفتند. با

1. Achten
2. Lazzer
3. Nordby
4. Stisen

این فرض که مقادیر بالای VO_2max بیانگر آماده‌تربودن آزمودنی است. با این‌حال، حتی اگر VO_2max به‌عنوان یک پارامتر فیزیولوژیکی به‌طور مکرر برای تعیین سطح آمادگی هوازی استفاده شود؛ باز هم این پارامتر، محدودیت‌هایی در برآورد عملکرد و سطح آمادگی جسمانی دارد (۱۸،۱۹)؛ بنابراین، استفاده از آزمودنی‌هایی با معیارهای عینی‌تر وضعیت آمادگی جسمانی (یعنی افراد ورزشکاری که درگیر یک رشتهٔ ورزشی هستند) می‌تواند ارتباط بین Fat_{max} و سطح آمادگی جسمانی را روشن‌تر سازد. فرضیهٔ ما این است که افزایش ظرفیت دستگاه اکسیداتیو تنفسی به‌واسطهٔ افزایش غلظت و فعالیت آنزیم‌های درگیر در اکسیداسیون چربی در افراد تمرین‌کرده و آماده می‌تواند باعث افزایش سوخت‌وساز چربی در این افراد نسبت به افراد تمرین‌نکرده شود. برهمین‌اساس، مقایسهٔ میزان چربی اکسیدشده در هر شدت از فعالیت ورزشی بین افراد تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده می‌تواند ظرفیت چربی‌سوزی این دو گروه را با توجه به شدت فعالیت ورزشی مشخص سازد؛ بنابراین، هدف از پژوهش حاضر مقایسهٔ حداکثر اکسیداسیون چربی و Fat_{max} و همچنین، میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در هر شدت از فعالیت ورزشی بین زنان تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده است.

روش پژوهش

این پژوهش که در شورای پژوهشی پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی به تصویب رسید، از نوع مطالعات نیمه‌تجربی است و به‌منظور انجام آن، ۱۰ زن سالم تمرین‌نکرده (با سطح فعالیت ورزشی منظم کمتر از سه ساعت در هفته) از بین دانشجویان دانشگاه و ۱۰ زن سالم تمرین‌کرده (از اعضای تیم بسکتبال باشگاهی) ۲۰ تا ۲۵ ساله با وزن طبیعی به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. ویژگی‌های آزمودنی‌ها در جدول۱ ارائه شده است.

جدول۱ـ خصوصیات جسمانی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها

خصوصیات جسمانی و فیزیولوژیکی	تمرین‌کرده	تمرین‌نکرده
سن (سال)	۲۳/۸ ± ۲/۹	۲۵/۱ ± ۲/۴
قد (سانتی‌متر)	۱۶۵/۱ ± ۵/۷	۱۶۴/۲ ± ۶/۷
وزن (کیلوگرم)	۵۵/۷ ± ۶/۳	۶۳/۲ ± ۸/۶
شاخص تودهٔ بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۰/۴ ± ۲/۶	۲۳/۴ ± ۳/۵
حداکثر اکسیژن مصرفی (لیتر در دقیقه)	۲/۸۳ ± ۰/۲۹	۲/۶۶ ± ۰/۳۴
حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر در کیلوگرم در دقیقه)	۵۲/۱ ± ۸/۷	۴۲/۰ ± ۴/۲

با توجه به این که انرژی موردنیاز در بسکتبال به‌طور عمده از دو دستگاه بی‌هوازی (فسفاژن و گلیکولیتیک) تأمین می‌شود و آستانهٔ لاکتات در این بازیکنان از اهمیت بالایی برخوردار است و نیز ازآن‌جایی که آستانهٔ لاکتات ارتباط نزدیکی با Fat_{max} دارد؛ لذا، از این ورزشکاران در این مطالعه استفاده شد. با استفاده از پرسش‌نامه، سلامت عمومی و رضایت آزمودنی‌ها جهت شرکت در آزمون تأیید شد و از آن‌ها خواسته شد رژیم غذایی معمولی خود را در روزهای آزمون و قبل از آن حفظ کنند. تمام آزمودنی‌های شرکت‌کننده در این پژوهش فاقد بیماری‌هایی همچون دیابت، پرفشارخونی و بیماری‌های قلبی تنفسی بودند، سیگار نمی‌کشیدند و طی انجام پژوهش، از مکمل یا دارو استفاده نکردند. مراحل کار، فواید و خطرات اجرای آزمون‌ها قبل از دریافت فرم رضایت‌نامه، به‌صورت شفاهی و کتبی برای آزمودنی‌ها تشریح شد. یک هفته قبل از آزمون فعالیت ورزشی و به‌منظور سنجش ترکیب بدن با استفاده از روش مقاومت بیوالکتریکی (شرکت این‌بادی[1]، مدل ۷۲۰، کشور کرهٔ جنوبی)، آزمودنی‌ها بین ساعت هشت تا ۱۰ صبح به آزمایشگاه مراجعه کردند. از تمامی آن‌ها خواسته شد حداقل یک روز قبل از آزمون، از انجام فعالیت شدید خودداری کنند و ۱۲ ساعت قبل از انجام آزمون نیز از خوردن قهوه و چای اجتناب کنند. در ساعت هشت الی نه صبح و پس از ۱۲ـ۱۰ ساعت ناشتایی، میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} اندازه‌گیری شد. آزمودنی‌ها پس از پنج دقیقه گرم‌کردن، فعالیت را با شدت ۴۰ وات روی چرخ کارسنج شروع کردند و هر سه دقیقه، ۲۰ وات بر میزان کار اضافه می‌گردید تا جایی که نسبت تبادل تنفسی[2](RER) آن‌ها برابر با یک شد (۱،۲۰). در ادامه و تا رسیدن به خستگی ارادی، بر میزان شدت کار در هر دقیقه ۲۰ وات افزوده شد. هدف از بخش آخر، اندازه‌گیری و تعیین VO_2max بود. به‌منظور اطمینان از حصول VO_2max، معیارهای به‌فلات‌رسیدن VO_2، RPE بالاتر از ۱۷، عدم افزایش ضربان قلب با افزایش شدت فعالیت و RER بالاتر از ۱/۱ مدنظر قرار گرفت (۲۱). در طول آزمون، حجم اکسیژن مصرفی و دی‌اکسیدکربن دفعی به‌شیوهٔ نفس‌به‌نفس با استفاده از دستگاه گازآنالایزر (مدل زان ۶۰۰[3]، شرکت اِن اسپایر هلث[4]، کشور آلمان) اندازه‌گیری شد و با نرم‌افزار مربوطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین اکسیژن مصرفی (VO_2) و دی-اکسیدکربن (VCO_2) در یک دقیقهٔ پایانی هر مرحله از آزمون تعیین گشت و میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات برای هریک از این مراحل محاسبه گردید. علاوه‌براین، میانگین مقادیر VO_2 در یک دقیقهٔ پایانی هر مرحله از آزمون محاسبه شد و با تقسیم‌کردن آن بر مقدار VO2max، به‌عنوان

1. Inbody
2. Respiratory Exchange Ratio
3. ZAN600
4. N Spire Health

شدت فعالیت در آن مرحله نشان داده شده و به‌صورت درصدی از VO_2max بیان گردید. میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} نیز با کمک معادلات عنصرسنجی[1] جاکندراپ و والیس[2] (۲۰۰۵) محاسبه گشت (۲۲).

همچنین، توزیع طبیعی‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کالموگراف اسمیرنف تعیین شد. به‌منظور مقایسهٔ میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} بین گروه‌ها، از آزمون تی مستقل استفاده شد و به‌منظور مقایسهٔ میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات بین شدت‌های فعالیت ورزشی، آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی به‌کار رفت. نتایج پژوهش در سطح $P<0.05$ بررسی شد. علاوه‌براین، از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس نسخهٔ ۲۱[3] به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و از نرم‌افزار اکسل برای رسم نمودارها استفاده گردید.

نتایج

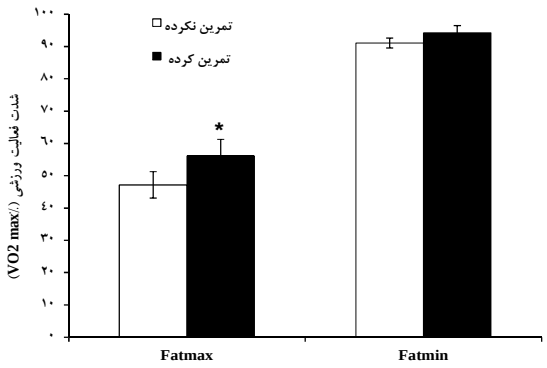
مقادیر MFO و RER در Fat_{max} آزمودنی‌های تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده در جدول۲ ارائه شده است. نتایج آزمون تی مستقل نشان می‌دهد که میانگین MFO در آزمودنی‌های تمرین‌کرده، به‌طور معناداری بالاتر از مقدار آن در آزمودنی‌های تمرین‌نکرده است. همچنین، میانگین Fat_{max} در آزمودنی‌های تمرین‌کرده، به‌طور معناداری بالاتر از مقدار آن در آزمودنی‌های تمرین‌نکرده می‌باشد؛ اما مقادیر Fat_{min} بین دو گروه تفاوت معناداری ندارد (شکل۱).

جدول۲ـ میانگین و انحراف معیار متغیرهای پژوهش

آزمودنی‌ها	تمرین‌کرده	تمرین‌نکرده
MFO (گرم در دقیقه)	۰/۴۸±۰/۰۸	۰/۳۹±۰/۰۶*
MFO (میلی‌گرم در کیلوگرم در دقیقه)	۸/۷۳±۲/۱۶	۶/۴۱±۱/۰۴*
RER در نقطه Fat_{max}	۰/۸۱±۰/۰۱	۰/۸۵±۰/۰۱*

* نشان‌دهندهٔ اختلاف معنادار با آزمودنی‌های تمرین‌نکرده $P<0.01$

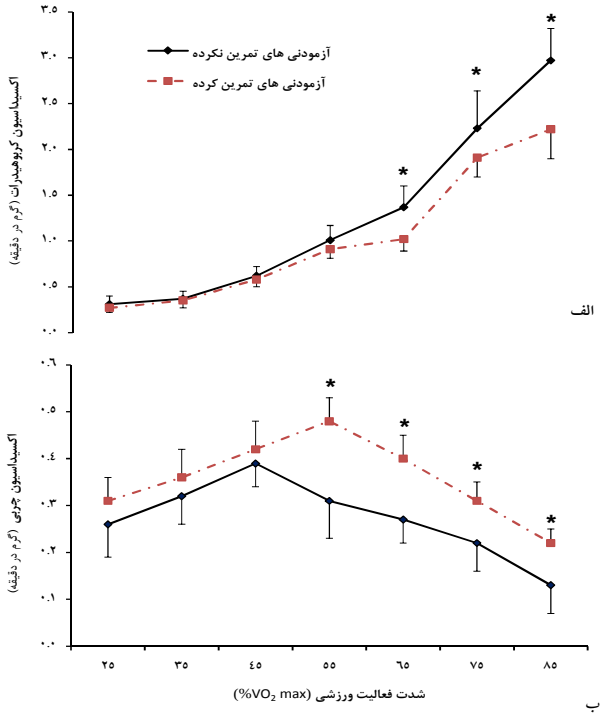
1. Stoichiometric equations
2. Jeukendrup & Wallis
3. SPSS 21



شکل۱ـ مقادیر Fat_{max} و Fat_{min} در آزمودنی‌های تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده

*نشان‌دهندهٔ اختلاف معنادار با آزمودنی‌های تمرین‌نکرده $P<0.05$

نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر درمورد دو عامل وضعیت تمرینی (دو سطح) و شدت فعالیت (هفت سطح) نشان می‌دهد که وضعیت تمرینی بر میزان اکسیداسیون چربی در شدت‌های مختلف تأثیر معناداری دارد؛ اما با توجه به این که اثر تعاملی دو متغیر مستقل نیز معنادار می‌باشد؛ لذا به‌نظر می‌رسد تفاوت آن در برخی از شدت‌های فعالیت ورزشی (و نه همهٔ شدت‌ها) معنادار است؛ بنابراین، آزمون تعقیبی بونفرونی به‌کار رفت که نتایج آن نشان می‌دهد میزان اکسیداسیون چربی، تنها در شدت‌های بالاتر از Fat_{max} در افراد تمرین‌کرده بالاتر از افراد تمرین‌نکرده می‌باشد ($P<0.01$؛ شکل۲ ب). این موضوع درمورد میزان اکسیداسیون کربوهیدرات به‌صورت عکس صادق است. بدین‌گونه که مقادیر آن در شدت‌های بالاتر از Fat_{max} در افراد تمرین‌نکرده، بالاتر از افراد تمرین‌کرده می‌باشد ($P<0.01$؛ شکل۲ الف).



شکل۲ـ میزان اکسیداسیون (الف) کربوهیدرات و (ب) چربی در شدت‌های مختلف فعالیت ورزشی در آزمودنی‌های تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده

*نشان‌دهندۀ اختلاف معنادار با آزمودنی‌های تمرین‌نکرده در سطح $P<0.01$

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا با مطالعات قبلی (۲،۶،۲۳) نشان داد که حداکثر میزان اکسیداسیون چربی در آزمودنی‌های تمرین‌کرده، به‌طور معناداری بالاتر از مقدار آن در آزمودنی‌های تمرین‌نکرده است. همچنین، میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات در شدت‌های متوسط و بالا بین افراد تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده متفاوت بود؛ اما در شدت‌های پایین فعالیت ورزشی، در میزان اکسیداسیون چربی (کمتر از ۵۵ درصد VO_2max) و کربوهیدرات (کمتر از ۶۵ درصد VO_2max) بین افراد با سطح آمادگی متفاوت اختلاف معناداری مشاهده نشد. در این زمینه، نشان داده شده‌است که در خلال فعالیت‌های کم‌شدت ورزشی، بیشتر انرژی موردنیاز از اکسیداسیون اسید چرب تأمین می‌شود که بیش از ۸۵ درصد آن از اسید چرب پلاسما می‌باشد (۲۴). در این شدت، میزان پیدایش اسید چرب

در پلاسما با میزان اکسیداسیون اسید چرب تقریباً مشابه است. همچنین مشخص شد که در این شدت، جریان خون به بافت چربی افزایش پیدا می‌کند و استریفیته‌شدن مجدد اسیدهای چرب کاهش می‌یابد. درنتیجه، سبب افزایش غلظت FFA در جریان خون می‌شود (۲۴). با افزایش شدت فعالیت ورزشی به یک سطح متوسط، استفاده از اسید چرب پلاسما کاهش می‌یابد؛ درحالی‌که اکسیداسیون تری‌گلیسرید درون عضلانی افزایش پیدا می‌کند (۲۵). در شدت‌های ورزشی متوسط، تری‌گلیسرید درون عضلانی به منبع مهم اسید چرب برای اکسیداسیون اسید چرب به حساب می‌آید؛ اما مهم‌ترین سوبسترای بدن جهت تولید انرژی در شدت‌های ورزشی بالا، گلیکوژن عضله می‌باشد که تقریباً بیش از نیمی از انرژی موردنیاز فعالیت را تولید می‌کند (۲۴). ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۲) نیز در همین رابطه مشاهده کردند که در شدت‌های بالا، غلظت انسولین و گلوکز خون کاهش می‌یابد و این نشان‌دهندهٔ برداشت بهتر گلوکز در اثر فعالیت و تکیهٔ بیشتر بدن بر منابع کربوهیدراتی در این شدت‌ها است (۲۶).

به‌طور معمول، افراد تمرین‌نکرده افرادی هستند که سطح فعالیت آن‌ها بیش از دو تا سه ساعت در هفته نیست. درحالی که افراد تمرین‌کرده بیشتر از شش تا هشت ساعت فعالیت در هفته دارند (۱۵). مطالعات متعددی نشان داده است که افراد تمرین‌کرده نسبت به افراد تمرین‌نکرده، توانایی بالایی در اکسیداسیون چربی دارند (۳۰ـ۲۷)؛ لذا، انتظار می‌رود حداکثر اکسیداسیون چربی در این افراد در شدت‌های بالاتری روی دهد. علاوه‌براین، سطح بالای آمادگی جسمانی در مردان تمرین‌کرده منجر به تحریک هایپوکسی سلولی می‌شود که افزایش جریان خون، تحویل و مصرف اکسیژن و درنتیجه، افزایش اکسیداسیون چربی را در شدت‌های ورزشی نسبی زیربیشینه به‌دنبال دارد. با توجه به هم‌ترازبودن میزان لیپولیز با میزان برداشت اسید چرب آزاد در میوفیبریل‌های عضلات مردان تمرین‌کرده، اکسیداسیون چربی طی فعالیت‌های طولانی‌مدت با شدت پایین در این افراد در مقایسه با افراد تمرین‌نکرده بیشتر است (۳۱). این تفاوت‌ها به‌دلیل سازگاری‌های به‌دست‌آمده در افراد تمرین‌کرده به‌دنبال ورزش‌کردن است. در پژوهشی، زنان جوان تمرین‌نکرده، به‌مدت ۱۲ هفته تمرین استقامتی بر روی چرخ کارسنج را انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود افزایش اکسیداسیون اسید چرب پلاسما، تغییری در سوخت‌وساز چربی در شدت‌های مطلق ورزشی مشاهده نمی‌شود. علاوه‌براین پس از دورهٔ تمرینی، اکسیداسیون اسید چرب پلاسما در یک شدت نسبی فعالیت ورزشی افزایش پیدا کرد؛ اما اکسیداسیون تری‌آسیل‌گلیسرول درون عضلانی افزایشی نداشت (۳۲). به‌نظر می‌رسد که افراد تمرین‌کرده، اکسیداسیون چربی بیشتری نسبت به افراد تمرین‌نکرده دارند؛ اما این که آیا این موضوع به تفاوت در میزان اکسیداسیون چربی طی ورزش در شدت‌های مختلف یا

تفاوت در Fat_{max} مرتبط است یا نه، نامشخص می‌باشد (۳۳). وضعیت تمرینی در مردان تمرین‌کرده می‌تواند اکسیداسیون چربی را از طریق افزایش تودهٔ میتوکندری و آنزیم‌های بتا اکسیداسیون افزایش دهد. استیسن و همکاران (۲۰۰۶) به‌منظور تعیین تفاوت در میزان اکسیداسیون چربی کل بدن و آنزیم‌های بتااکسیداسیون، از روش نمونه‌برداری عضلانی در زنان تمرین‌کرده و زنان تمرین‌نکرده در خلال فعالیت بر روی چرخ کارسنج استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بالاترین میزان اکسیداسیون چربی در شدت‌های ۵۶ و ۵۳ درصد VO_2max به‌ترتیب در افراد تمرین‌کرده و افراد تمرین‌نکرده اتفاق می‌افتد. مشابه نتایج مطالعهٔ حاضر در شدت‌های نسبی و مطلق، زنان تمرین‌کرده در شدت‌های متوسط و شدید، اکسیداسیون چربی بالاتری دارند؛ اما این تفاوت در شدت پایین مشاهده نمی‌شود که دلیل آن را می‌توان در این یافت که زنان تمرین‌کرده، فعالیت لیپاز حساس به هورمون (HSL)، سیترات سنتاز (CS) و بتا هیدروکسی آسیل کوآ دهیدروژناز (HAD) بالاتری نسبت به زنان تمرین‌نکرده دارند (۱۶). ازطرف‌دیگر، افراد تمرین‌کردهٔ استقامتی، درصد تارهای کند انقباض بیشتری نسبت به افراد تمرین‌نکرده دارند که این امر، ظرفیت اکسیداسیون هوازی را در آن‌ها بیشتر می‌کند.

به‌طورکلی، اکسیداسیون اسید چرب در شدت متوسط و بالا تحت‌تأثیر وضعیت تمرینی قرار می‌گیرد؛ اما احتمالاً در شدت‌های پایین، خصوصیات میتوکندری تأثیر بیشتری نسبت به وضعیت تمرینی دارد (۱۵). در پژوهش حاضر، میزان MFO در آزمودنی‌های تمرین‌نکرده با میزان آن در نتایج پژوهش‌های دیگر (۱۶،۳۴،۳۶) هم‌سو است؛ اما کمتر از میزان گزارش‌شده توسط برخی پژوهشگران می‌باشد (۱۷،۳۷). میزان MFO در آزمودنی‌های تمرین‌کرده نیز با میزان آن در پژوهش لیما- سیلوا و همکاران (۲) هم‌خوان است؛ اما کمتر از میزان گزارش‌شده توسط آچتن و همکاران (۱۷) و بیشتر از میزان گزارش‌شده توسط برخی دیگر می‌باشد (۳۸،۳۹).

در پژوهش حاضر، میزان Fat_{max} در آزمودنی‌های تمرین‌نکرده در حدود ۴۷ درصد VO_2max گزارش شده است که این شدت مشابه با شدت‌های ثبت‌شده توسط برخی از پژوهش‌ها می‌باشد (۱۵،۳۴،۳۶،۴۰)؛ اما کمتر از شدت‌های گزارش‌شده توسط برخی دیگر است (۱۶،۱۷). بااین‌وجود، روحانی و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعهٔ مقادیر MFO و Fat_{max} و نیز میزان اکسایش چربی و کربوهیدرات در دامنه‌ای از شدت‌های فعالیت ورزشی در افراد غیرورزشکار، به دامنه‌ای از شدت فعالیت ورزشی (Fat_{max} zone) اشاره کردند که در حدود ۳۲ تا ۴۶ درصد VO_2max به‌دست آمده بود (۴۱).

به‌طورکلی، بالابودن سطح آمادگی جسمانی افراد تمرین‌کرده سبب افزایش میزان اکسیداسیون چربی و کاهش اکسیداسیون کربوهیدرات می‌شود. همچنین، میزان اکسیداسیون چربی در افراد تمرین‌کرده

در شدت‌های بالاتر از ۵۵ درصد VO_2peak، بالاتر از افراد تمرین‌نکرده گزارش شده‌است. تأمین انرژی موردنیاز در یک بار کار ثابت، با افزایش میزان اکسیداسیون کربوهیدرات در افراد تمرین‌نکرده جبران می‌شود. همچنین، شروع کاهش اکسیداسیون چربی در افراد تمرین‌کرده در شدت بالاتری اتفاق می‌افتد و فرد دیرتر به منابع کربوهیدرات وابسته می‌شود.

پیام مقاله: افراد تمرین کرده در مقایسه با افراد تمرین نکرده، در یک شدت کار زیربیشینه، اتکاء کمتری به منابع کربوهیدراتی دارند لذا دیرتر به خستگی می رسند. همچنین در بعد سلامتی، برای چربی سوزی بهینه، افراد تمرین نکرده باید با شدت کمتری نسبت به افراد تمرین کرده به فعالیت بدنی بپردازند.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با حمایت مالی پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی انجام شده است که بدینوسیله از معاونت پژوهشی پژوهشگاه تشکر می‌شود. همچنین، از همکاری صمیمانهٔ آزمودنی‌ها و مشاوره جناب آقای دکتر حمید رجبی تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1) Achten J, Gleeson M, Jeukendrup A E. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. Med Sci Sports Exerc. 2002; 34(1): 92-7.

2) Lima-Silva A E, Bertuzzi R C, Pires F O, Gagliardi J F, Barros R V, Hammond J, et al. Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. J Sports Sci Med. 2010; 9(1): 31.

3) Brandou F, Savy-Pacaux A M, Marie J, Brun J F, Mercier J. Comparison of the type of substrate oxidation during exercise between pre and post pubertal markedly obese boys. Int J Sports Med. 2006; 27(5): 407-14.

4) Ashley C D, Kramer M L, Bishop P. Estrogen and substrate metabolism: A review of contradictory research. Sports Med. 2000; 29(4): 221-7.

5) Blaak E E, Van Baak M A, Kemerink G J, Pakbiers M T, Heidendal G A, Saris W H. Beta-adrenergic stimulation of energy expenditure and forearm skeletal muscle metabolism in lean and obese men. Am J Physiol. 1994; 267(2 Pt 1): 306-15.

6) Bogdanis G C, Vangelakoudi A, Maridaki M. Peak fat oxidation rate during walking in sedentary overweight men and women. J Sports Sci Med. 2008; 7(4): 525-31.

7) Gray S C, Devito G, Nimmo M A. Effect of active warm-up on metabolism prior to and during intense dynamic exercise. Med Sci Sports Exerc. 2002; 34(12): 2091-6.

8) Romijn J A, Coyle E F, Sidossis L S, Rosenblatt J, Wolfe R R. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. J Appl Physiol. 2000; 88(5): 1707-14.

9) Stephens B R, Cole A S, Mahon A D. The influence of biological maturation on fat and carbohydrate metabolism during exercise in males. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2006; 16(2): 166-79.
10) Riddell M C, Jamnik V K, Iscoe K E, Timmons B W, Gledhill N. Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. J Appl Physiol. 2008; 105(2): 742-8.
11) Zunquin G, Theunynck D, Sesboue B, Arhan P, Bougle D. Comparison of fat oxidation during exercise in lean and obese pubertal boys: Clinical implications. Br J Sports Med. 2009; 43(11): 869-70.
12) Brandou F, Savy-Pacaux A M, Marie J, Bauloz M, Maret-Fleuret I, Borrocoso S, et al. Impact of high- and low-intensity targeted exercise training on the type of substrate utilization in obese boys submitted to a hypocaloric diet. Diabetes Metab. 2005; 31(4 Pt 1): 327-35.
13) Lazzer S, Busti C, Agosti F, De Col A, Pozzo R, Sartorio A. Optimizing fat oxidation through exercise in severely obese Caucasian adolescents. Clin Endocrinol (Oxf). 2007; 67(4): 582-8.
۱۴) محبی حمید، دمیرچی ارسلان، روحانی هادی، شادمهری سعیده. مقایسهٔ حداکثر اکسیداسیون چربی(MFO) در دانشجویان زن و مرد غیرورزشکار. نشریهٔ المپیک. ۱۳۸۹؛ ۴۳: ۲ـ۵۰.
15) Nordby P, Saltin B, Helge J W. Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: A role for muscle oxidative capacity? Scand J Med Sci Sports. 2006; 16(3): 209-14.
16) Stisen A B, Stougaard O, Langfort J, Helge J W, Sahlin K, Madsen K. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. Eur J Appl Physiol. 2006; 98(5): 497-506.
17) Achten J, Jeukendrup A E. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. Int J Sports Med. 2003; 24(8): 603-8.
18) Morgan D W, Baldini F D, Martin P E, Kohrt W M. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO2max among well-trained male runners. Med Sci Sports Exerc. 1989; 21(1): 78-83.
19) Noakes T D, Myburgh K H, Schall R. Peak treadmill running velocity during the VO2 max test predicts running performance. J Sports Sci. 1990; 8(1): 35-45.
20) Bordenave S, Flavier S, Fedou C, Brun J F, Mercier J. Exercise calorimetry in sedentary patients: Procedures based on short 3 min steps underestimate carbohydrate oxidation and overestimate lipid oxidation. Diabetes Metab. 2007; 33(5): 379-84.
21) Cheneviere X, Malatesta D, Peters E M, Borrani F. A mathematical model to describe fat oxidation kinetics during graded exercise. Med Sci Sports Exerc. 2009; 41(8): 1615-25.
22) Jeukendrup A E, Wallis G A. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. Int J Sports Med. 2005; 26(Suppl 1): 28-37.
23) Bergman B C, Brooks G A. Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. J Appl Physiol. 1999; 86(2): 479-87.

24) Romijn J A, Coyle E F, Sidossis L S, Gastaldelli A, Horowitz J F, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. Am J Physiol. 1993; 265(3 Pt 1): 380-91.
25) Melzer K, Schutz Y, Kayser B. Normalization of basal metabolic rate for differences in body weight in pregnant women. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2011; 159(2): 480-1.
۲۶) ابراهیمی محسن، رحمانی‌نیا فرهاد، دمیرچی ارسلان. اثر شدت فعالیت هوازی بر انرژی دریافتی، اشتها و هورمون‌های تنظیم‌کنندهٔ انرژی در مردان جوان غیرفعال. نشریهٔ فیزیولوژی ورزشی. ۱۳۹۲؛ ۵(۲۰): ۲۸ـ۱۵.
27) Goldberg L, Elliot D L. The effect of exercise on lipid metabolism in men and women. Sports Med. 1987; 4(5): 307-21.
28) Jansson E, Kaijser L. Substrate utilization and enzymes in skeletal muscle of extremely endurance-trained men. J Appl Physiol. 1987; 62(3): 999-1005.
29) Martin W H, Dalsky G P, Hurley B F, Matthews D E, Bier D M, Hagberg J M, et al. Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. Am J Physiol. 1993; 265(5 Pt 1): 708-14.
30) Poehlman E T, Gardner A W, Arciero P J, Goran M I, Calles-Escandon J. Effects of endurance training on total fat oxidation in elderly persons. J Appl Physiol. 1994; 76(6): 2281-7.
31) Bonen A, Chabowski A, Luiken J J, Glatz J F. Is membrane transport of FFA mediated by lipid, protein, or both? Mechanisms and regulation of protein-mediated cellular fatty acid uptake: Molecular, biochemical, and physiological evidence. Physiology (Bethesda). 2007; 22: 15-29.
32) Odland L M, Howlett R A, Heigenhauser G J, Hultman E, Spriet L L. Skeletal muscle malonyl-CoA content at the onset of exercise at varying power outputs in humans. Am J Physiol. 1998; 274(6 Pt 1): 1080-5.
33) Jeukendrup A E. Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. Biochem Soc Trans. 2003; 31(Pt 6): 1270-3.
۳۴) صفری موسوی سیدصالح، محبی حمید، دمیرچی ارسلان، هوانلو فریبرز. اثر کاهش محتوای گلیکوژن عضله بر MFO و Fat_{max} هنگام فعالیت ورزشی در مردان تمرین‌نکرده. نشریهٔ سوخت‌وساز و فعالیت ورزشی. ۱۳۹۱؛ ۲(۲): ۱۱۳ـ۲۳.
35) Achten J, Jeukendrup A E. The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. J Sports Sci. 2003; 21(12): 1017-24.
36) Mohebbi H, Azizi M. Maximal fat oxidation at the different exercise intensity in obese and normal weight men in the morning and evening. J Hum Sport Exer. 2011; 6(1): 49-58.
37) Achten J, Venables M C, Jeukendrup A E. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. Metabolism. 2003; 52(6): 747-52.
38) Croci I, Borrani F, Byrne N M, Wood R E, Hickman I J, Cheneviere X, et al. Reproducibility of fat_{max} and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. PLoS One. 2014; 9(6): 97930.

39) Rami M, Habibi A, Shakerian S. Comparison between fat max and maximal fat oxidation in active and sedentary males. Jentashapir J Health Res. 2014; 5(2): 53-64.
40) Venables M C, Jeukendrup A E. Endurance training and obesity: Effect on substrate metabolism and insulin sensitivity. Med Sci Sports Exerc. 2008; 40(3): 495-502.
۴۱) روحانی هادی، دمیرچی ارسلان، حسن‌نیا صادق، روحانی زهرا. مقایسهٔ میزان اکسایش چربی در دامنهٔ شدت‌های فعالیت دویدن دانشجویان پسر غیرورزشکار. نشریهٔ المپیک. ۱۳۸۸؛ ۱۲۱: ۴۵ـ۳۰.

ارجاع دهی به روش ونکوور

روحانی هادی، صفری موسوی سید صالح، غلامیان سمیرا، فرزانه اسماعیل. مقایسهٔ حداکثر اکسیداسیون چربی و Fat_{max} بین زنان تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده. فیزیولوژی ورزشی. زمستان ۱۳۹۴؛ ۷(۲۸): ۴۴-۳۱.

Comparison the maximal fat oxidation and Fat_{max} in trained and untrained women

H. Rohani[1], S.S. Safari Mousavi[2], S. Gholamian[3], E. Farzaneh[4]

1. Assistant Professor at Sport Sciences Research Institute of Iran*
2. Ph.D. Student at University of Guilan
3. Ph.D. Student at Ferdowsi University of Mashhad
4. Department of Physical Education and Sport Sciences, Kermanshah Branch, Islamic Azad University

Received date: 2015/07/23 Accepted date: 2015/10/27

Article from Sport Science Research Institute Research Project

Abstract

The aim of current study was comparison the maximal fat oxidation and the exercise intensity elicit maximal fat oxidation (Fat_{max}) between trained and untrained girls. 10 healthy untrained (exercising <3h/week; VO2max, 2.66±0.34 l/min) and 10 healthy trained (basketball players in provincial league; VO2max, 2.83±0.29 l/min) girls, 20-25 years old and normal weight, were selected. All subjects performed an incremental exercise test with 3-min stages to exhaustion on a stationary bike after 10-12 h night fasting. Respiratory gases were measured using an open-circuit gas analyzer system during the test and, substrate oxidation rate, maximal fat oxidation and Fat_{max} were calculated using stoichiometric equations. ANOVA with repeated measures and independent t-test were used for comparing the variables at $p<0.05$ level. The mean of MFO and Fat_{max} were significantly higher in trained in compare to untrained subjects ($P<0.05$). In compare to untrained, fat oxidation rate was significantly higher in trained subjects at the intensities >55% VO2max ($P<0.05$). Generally, higher level of fitness status in trained people can improve fat oxidation and reduce carbohydrate oxidation during exercise and then, reduction of fat oxidation can begin at higher intensity; so they depend on carbohydrate sources, later.

Keywords: Maximal fat oxidation, Fat_{max}, Fitness status

* Corresponding author E-mail: h_rohani7@yahoo.com