

اثر کاهش محتوای گلیکوژن عضله بر MFO و Fat_{max} هنگام فعالیت ورزشی در مردان تمرین نکرده

سید صالح صفری موسوی^۱، حمید محبی^{۲*}، ارسلان دمیرچی^۳، فریبرز هوانلو^۴
 کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، ^۲آستاد دانشگاه گیلان، ^۳دانشیار دانشگاه گیلان،
^۴دانشیار دانشگاه شهید بهشتی تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۲۶

چکیده

هدف: هدف از این مطالعه بررسی اثر کاهش محتوای گلیکوژن عضله بر حداکثر اکسیداسیون چربی (MFO) و شدت ورزشی که حداکثر اکسیداسیون چربی در آن اتفاق می‌افتد (Fat_{max}) در مردان تمرین نکرده بود.

روش پژوهش: هشت مرد سالم تمرین نکرده (سن $22/2 \pm 1$ سال، شاخص توده بدنی $21/9 \pm 1/5$ کیلوگرم بر متر مربع، چربی بدن $15/1 \pm 1$ درصد و اوج اکسیژن مصرفی $2/82 \pm 0/41$ لیتر در دقیقه) در دو وهله جداگانه با فاصله حداقل یک هفته شرکت کردند. هر آزمودنی در حالت ناشتا (ساعت ۷:۰۰)، در دو نوبت جداگانه، در وضعیت طبیعی گلیکوژن عضله و تحت شرایط کاهش گلیکوژن عضله، به‌طور تصادفی آزمون فعالیت ورزشی فزاینده‌ای با مراحل ۳ دقیقه‌ای تا سرحد خستگی روی چرخ کارسنج اجرا کردند. در یکی از جلسات، آزمودنی‌ها بعدازظهر (۱۸:۰۰) روز قبل از اجرای آزمون فعالیت ورزشی برای اجرای فعالیت ورزشی به‌منظور کاهش محتوای گلیکوژن عضله به آزمایشگاه مراجعه کردند. کالری‌سنجی غیرمستقیم برای تعیین حجم اکسیژن مصرفی و دی‌اکسید کربن تولید شده در خلال فعالیت فزاینده استفاده شد. میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} با کمک معادلات عنصرسنجی تعیین و محاسبه شد. از آزمون آماری t همبسته برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

یافته‌ها: MFO در شرایط کاهش گلیکوژن عضله ($0/54 \pm 0/08$ گرم در دقیقه) به‌طور معنی‌داری نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن عضله ($0/36 \pm 0/04$ گرم در دقیقه) بالاتر بود ($P \leq 0/01$). همچنین بین Fat_{max} و در شرایط کاهش گلیکوژن عضله ($65/01 \pm 3/42$ درصد VO_{2peak}) و در شرایط طبیعی گلیکوژن عضله ($46/12 \pm 3/13$ درصد VO_{2peak}) تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($P \leq 0/01$).

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش گلیکوژن عضله قبل از فعالیت باعث افزایش MFO و جابه‌جایی MFO و Fat_{max} به شدت بالاتری از فعالیت می‌شود. این بدان معنی است که شروع در کاهش اکسیداسیون چربی در یک شدت بالاتری اتفاق می‌افتد و آزمودنی‌ها دیرتر به منابع کربوهیدرات وابسته می‌شوند.

واژگان کلیدی: حداکثر اکسیداسیون چربی، شدت ورزشی، کاهش گلیکوژن عضله، آزمون فعالیت فزاینده

مقدمه

چربی و کربوهیدرات سوپستراهای اصلی برای تولید انرژی در خلال ورزش می‌باشند. میزان مطلق اکسایش کربوهیدرات به‌طور مستقیم با افزایش شدت فعالیت ورزشی افزایش می‌یابد، در حالی‌که اکسیداسیون اسید چرب افزایش پیش‌رونده‌ای از حالت استراحت تا تقریباً ۶۰ درصد $\dot{V}O_{2max}$ داشته و پس از آن به تدریج تا رسیدن به $\dot{V}O_{2max}$ کاهش می‌یابد (۱). مشارکت مطلق و نسبی این سوخت‌ها می‌تواند تحت تأثیر تغذیه، محتوای گلیکوژن عضله، شدت تمرین، زمان و وضعیت تمرینی قرار گیرند (۲). افزایش میزان اکسیداسیون چربی هنگام فعالیت ورزشی ممکن است تأثیرات مهمی بر سلامتی داشته باشد. میزان زیاد اکسیداسیون چربی در حین فعالیت بدنی با افزایش حساسیت انسولین در حالت استراحت، کاهش پرفشار خونی و کمتر شدن لیپوپروتئین با غلظت کم پلاسما همراه است (۵). اکسیداسیون چربی از طریق دو مکانیسم افزایش پیدا می‌کند: الف) افزایش توده بافت چربی، که باعث بالا رفتن اکسیداسیون چربی می‌شود و ب) حفظ منبع گلیکوژن در یک دامنه پایین که باعث کاهش غلظت گلوکز و انسولین بین وعده‌های غذایی، افزایش غلظت اسید چرب و افزایش میزان اکسیداسیون چربی می‌شود (۳). مشاهدات نشان داده‌اند که ۳ هفته تمرین استقامتی با ذخایر گلیکوژن طبیعی بر استفاده از تری‌گلیسرید تأثیرگذار نیست، اما تمرین با سطح پایین گلیکوژن توانایی بدن برای استفاده از تری‌گلیسرید عضله را افزایش می‌دهد (۸). یوو و همکارانشان دادند که میزان اکسیداسیون چربی در افراد با گلیکوژن پایین نسبت به گروه شاهد بالاتر بود (۶). همچنین، هولستون و همکاران نشان دادند که یک کاهش قابل توجه در میزان اکسیداسیون کربوهیدرات و یک افزایش جبرانی در اکسیداسیون چربی در فعالیت با سطح پایین گلیکوژن وجود دارد، در حالی که نسبت تبادل تنفسی^۱ (RER) در فعالیت با گلیکوژن بالا تحت تأثیر قرار نگرفت. داده‌های تحقیقی نشان داد که گلوکز پلاسما و اکسیداسیون گلیکوژن عضله بعد از فعالیت با گلیکوژن کم، پایین تر بود (۷). بیشترین میزان چربی را که فرد می‌تواند در جریان فعالیت بدنی جهت تولید انرژی بسوزاند حداکثر اکسیداسیون چربی^۲ (MFO) می‌گویند. همچنین، شدتی از فعالیت را که بیشترین میزان اکسیداسیون چربی در آن شدت روی می‌دهد^۳ Fat_{max} می‌گویند (۹). به‌طور کلی، MFO در خلال ورزش‌های زیر بیشینه بین ۳۱ و ۶۵ درصد $\dot{V}O_{2peak}$ گزارش شده است (۱، ۲، ۴، ۵ و ۱۰). این شدت ورزشی ممکن است برای برنامه‌های کاهش وزن، برنامه‌های ورزشی مرتبط با سلامتی و تمرینات استقامتی مهم باشد (۹). به عنوان مثال ونبلز و همکاران گزارش کردند که تمرین ورزشی در Fat_{max} اوج اکسیداسیون چربی را افزایش می‌دهد و همچنین، حساسیت انسولین را نسبت به فعالیت‌های ورزشی اینتروال با همان کالری مصرفی که همراه با اکسیداسیون چربی کمتری می‌باشد، بیشتر بهبود می‌بخشد (۵). مطالعات گذشته تأثیر متغیرهای مانند جنسیت (۲)، وضعیت تمرینی (۱ و ۱۱)، شدت‌های مختلف تمرینی (۱۲)، توده بدنی درگیر (۱۰)، توده چربی (۱۳)، مصرف کربوهیدرات قبل فعالیت (۱۴)، زمان انجام فعالیت (۱۳) و سن (۴) را در بیشینه اکسیداسیون چربی و شدتی که در آن بیشینه اکسیداسیون چربی صورت می‌گیرد، بررسی کرده‌اند.

1. Respiratory exchange ratio
2. Maximal fat oxidation
3. The intensity that elicits maximal fat oxidation

مطالعاتی که تاکنون اثر کاهش محتوای گلیکوژن عضله بر اکسیداسیون چربی را بررسی کرده‌اند فقط از یک شدت ورزشی پایدار استفاده کرده‌اند اما درباره بررسی اثر کاهش محتوای گلیکوژن عضله بر MFO و Fat_{max} در خلال فعالیت فزاینده اطلاعات دقیقی در دست نیست. بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر کاهش محتوای گلیکوژن عضله در اثر یک فعالیت ورزشی طولانی‌مدت بر میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} در افراد جوان تمرین بود.

روش پژوهش

آزمودنی‌ها

هشت مرد سالم تمرین‌نکرده (سطح فعالیت بدنی کمتر از ۳ ساعت در هفته) با وزن طبیعی از میان دانشجویان پسر داوطلب دانشگاه شهید بهشتی تهران انتخاب شدند. خصوصیات جسمی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. همه آزمودنی‌های شرکت‌کننده در این تحقیق پس از پر کردن پرسشنامه سلامتی مشخص گردید فاقد بیماری‌هایی همچون دیابت، پرفشار خونی و بیماری‌های قلبی تنفسی بودند. آزمودنی‌ها سیگاری نبودند و در طی تحقیق از مکمل یا دارو مصرف نکردند. مراحل کار، فواید و خطرات اجرای آزمون‌ها برای آزمودنی‌ها قبل از دریافت فرم رضایت‌نامه به صورت شفاهی و کتبی تشریح شد.

جدول ۱. خصوصیات جسمی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها (میانگین و انحراف استاندارد)

۲۲/۱ ± ۱	سن (سال)
۱۷۶/۱ ± ۳/۲	قد (سانتی‌متر)
۶۸/۲ ± ۱	وزن (کیلوگرم)
۲۱/۹ ± ۱/۵	شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)
۱۰/۷ ± ۳/۴	چربی بدن (کیلوگرم)
۱۵/۴ ± ۱	چربی بدن (درصد)
۶۶/۵ ± ۳/۱	آستانه بی‌هوایی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم از وزن بدن در دقیقه)
۲/۸۲ ± ۰/۴۱	اوج اکسیژن مصرفی (لیتر در دقیقه)
۴۱/۵ ± ۴/۱	اوج اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم از وزن بدن در دقیقه)

تعیین ترکیب بدنی و VO_{2Peak}

یک هفته قبل از آزمون فعالیت ورزشی، بین ساعت ۱۷-۲۰، آزمودنی‌ها جهت تعیین VO_{2Peak}، آستانه بی‌هوایی و ترکیب بدنی به آزمایشگاه مراجعه کردند. ترکیب بدنی آن‌ها از طریق دستگاه آنالیز ترکیب بدن

به روش مقاومت بیوالکتریک^۱ (ساخت کمپانی neomyth medical کشور کره جنوبی) اندازه‌گیری شد. $VO_2\text{peak}$ و آستانه بی‌هوازی نیز با استفاده از یک آزمون فعالیت ورزشی فزاینده تعیین شد (۱۱).

طرح تحقیق

آزمودنی‌ها پس از ۱۰ تا ۱۲ ساعت امساک شبانه به حالت ناشتا در ساعت ۷:۰۰ صبح در دو آزمون فعالیت ورزشی با فاصله حداقل یک هفته به صورت توازن متقابل^۲ برای تعیین میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} شرکت کردند. آزمودنی‌ها در یک نوبت در شرایط طبیعی گلیکوژن عضلانی و در یک نوبت پس از آزمون تخلیه گلیکوژن عضله بین ساعت ۱۸-۲۰ روز قبل، در آزمون فعالیت ورزشی شرکت کردند.

برای اندازه‌گیری دریافت انرژی و کنترل تغذیه، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا رژیم غذایی خود را ۳ روز قبل از اجرای آزمون‌ها به صورت کامل از هنگام بیدار شدن از خواب صبحگاهی تا هنگام خوابیدن در شب، یادداشت نمایند. مقدار دریافت انرژی هر فرد با استفاده از نرم افزار N4 محاسبه شد. میانگین کالری مصرفی آزمودنی‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد معیار مصرف مواد غذایی

آزمون فعالیت ورزشی	آزمون تخلیه گلیکوژن عضله
انرژی مصرفی (کیلو کالری)	2984 ± 108
کربوهیدرات (گرم)	426 ± 30
چربی (گرم)	76 ± 14
پروتئین (گرم)	130 ± 18

آزمون فعالیت ورزشی برای تعیین MFO و Fat_{max}

آزمودنی‌ها پس از ۵ دقیقه گرم کردن، فعالیت را با شدت ۲۵ واتروی چرخ کارسنج شروع و هر ۳ دقیقه میزان کار ۲۵ وات اضافه شد تا جایی که RER آن‌ها برابر یک شود. در ادامه، تا رسیدن به خستگی ارادی میزان شدت کار هر دقیقه ۲۵ وات افزوده شد. هدف از بخش آخر اندازه‌گیری و تعیین $VO_{2\text{peak}}$ بود (۴). در طول آزمون، حجم اکسیژن مصرفی و دی‌اکسید کربن دفعی به شیوه نفس به نفس با استفاده از دستگاه گازآنالایزر (ساخت کمپانی cortex کشور آلمان) اندازه‌گیری و با نرم افزار مربوطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین اکسیژن مصرفی (VO_2) و دی‌اکسید کربن (VCO_2) در ۳۰ ثانیه پایانی هر مرحله از آزمون تعیین شد. برای هر یک از این مراحل میزان اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات محاسبه شد. میانگین مقادیر VO_2 در ۳۰ ثانیه پایانی هر مرحله از آزمون محاسبه و با تقسیم کردن آن بر مقدار $VO_{2\text{peak}}$ به عنوان شدت فعالیت در آن مرحله نشان داده شده و به صورت درصدی از $VO_{2\text{peak}}$ بیان شد، که در این فعالیت میزان اکسیداسیون چربی در شدت‌های ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵، ۷۵، ۸۵ درصد $VO_{2\text{peak}}$ مورد

1. Bioelectrical Impedance Analysis
2. Conuterbalance

بررسی قرار گرفت. میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} نیز با کمک معادلات عنصرسنجی^۱ جانکندراپ و والیس محاسبه شد (۱۵).

آزمون کاهش گلیکوژن عضله

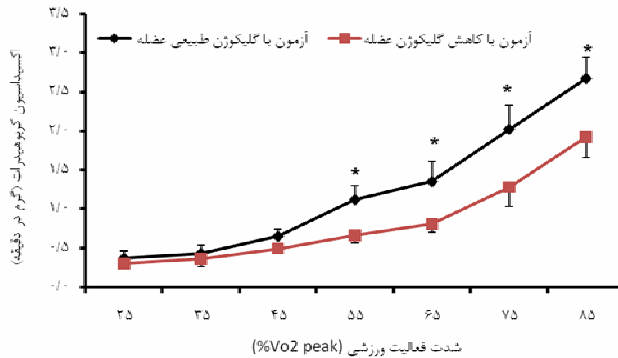
آزمون کاهش گلیکوژن عضله که در این تحقیق استفاده شد، قبلاً توسط گالنیک، پیهل و سالتین از طریق نمونه برداری از عضله چهارسر رانی اعتباریابی شده و مشاهده گردیده است که این پروتکل می‌تواند محتوای گلیکوژن عضله را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد (۱۶). آزمون ورزشی کاهش گلیکوژن روی چرخ کارسنج مونارک (۸۳۹E) ساخت کمپانی Iode هلند) اجرا شد. آزمودنی‌ها پس از گذشت حداقل ۳ ساعت از صرف نهار به آزمایشگاه مراجعه کردند (ساعت ۱۸:۰۰) و پس از ۱۰ دقیقه گرم‌کردن، فعالیت اصلی رکاب‌زدن روی چرخ کارسنج را با سرعت ۷۰ دور در دقیقه و با شدت آستانه بی‌هوایی تا مرحله خستگی ارادی (تا زمانی که نتوانند سرعت رکاب‌زدن را در ۷۰ دور در دقیقه حفظ کنند) انجام دادند. بعد از ۲ دقیقه استراحت، آزمودنی‌ها ۵ نوبت فعالیت ورزشی ۲ دقیقه‌ای را با توان خروجی ۳۰ وات بالاتر از آستانه بی‌هوایی انجام دادند. به آزمودنی‌ها بین هر نوبت فعالیت ورزشی ۲ دقیقه‌ای یک دقیقه استراحت داده شد. میانگین زمان اجرای آزمون کاهش گلیکوژن عضله 16 ± 134 دقیقه طول کشید. آزمودنی‌ها در خلال اجرای آزمون و همچنین پس از ۱۰-۱۱ ساعت بعد که آزمون فعالیت ورزشی اجرا شود از خوردن مواد غذایی، به‌جز آب، پرهیز کردند (۱۷).

روش آماری

توزیع طبیعی بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شپیرو ویلک تعیین شد. برای مقایسه میزان اکسیداسیون مواد، MFO و Fat_{max} بین دو نوع فعالیت ورزشی از آزمون t همبسته استفاده شد. نتایج تحقیق در سطح $P \leq 0/05$ بررسی گردید و از نرم‌افزار Spss (نسخه ۱۶) جهت تجزیه تحلیل داده‌ها و از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها و جداول استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج نشان داد که میزان اکسیداسیون چربی زمان فعالیت ورزشی، در تمام شدت‌های ورزشی، در شرایط کاهش گلیکوژن عضله نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن عضله بالاتر بود، اما فقط در شدت‌های ۵۵، ۶۵، ۷۵ و ۸۵ درصد VO_{2peak} این تفاوت معنی‌دار بود ($P \leq 0/05$) (شکل ۱). MFO در شرایط کاهش گلیکوژن عضله ($0/54 \pm 0/08$ گرم در دقیقه) به‌طور معنی‌داری نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن عضله ($0/36 \pm 0/04$ گرم در دقیقه) بالاتر بود ($P \leq 0/01$) (شکل ۱). در این تحقیق Fat_{max} در شدت‌های ورزشی حدود $46/12 \pm 3/13$ درصد VO_{2peak} و $65/01 \pm 3/42$ درصد VO_{2peak} به ترتیب در شرایط طبیعی گلیکوژن عضله و شرایط کاهش گلیکوژن عضله اتفاق افتاد. یک افزایش معنی‌دار در شرایط کاهش گلیکوژن عضله نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن عضله وجود داشت ($P \leq 0/01$) (شکل ۲).



شکل ۳. مقایسه میزان اکسیداسیون کربوهیدرات در آزمون با کاهش محتوای گلیکوژن عضله و آزمون با گلیکوژن طبیعی عضله در شدت‌های نسبی. * نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن عضله ($P \leq 0.05$).

بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه ما در این تحقیق نتوانسیم به‌طور مستقیم کاهش گلیکوژن عضله را اندازه‌گیری کنیم اما مشاهداتی که در خلال فعالیت فزاینده اتفاق افتاد، نشان می‌دهد که منابع کربوهیدراتی آزمودنی‌ها به‌طور معنی‌داری در شرایط کاهش گلیکوژن عضله نسبت به شرایط طبیعی پایین‌تر بود. از جمله این مشاهدات می‌توان به افزایش معنی‌دار اکسیداسیون چربی، کاهش معنی‌دار RER و بالا رفتن معنی‌دار Fat_{max} و Fat_{min} به شدت‌های بالاتر در شرایط کاهش گلیکوژن عضله نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن عضله اشاره کرد. سبب‌پاتی و همکاران گزارش کردند که افزایش معنی‌دار اکسیداسیون چربی و کاهش معنی‌دار RER در خلال فعالیت فزاینده در شرایط کاهش گلیکوژن عضله نسبت به شرایط طبیعی نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار منابع کربوهیدراتی آزمودنی‌ها در شرایط کاهش گلیکوژن عضله می‌باشد (۱۷).

مشاهدات ما نشان داد که میزان اکسیداسیون کربوهیدرات پس از کاهش محتوای گلیکوژن عضله در شدت‌های بالاتر از ۵۵ درصد VO_{2peak} نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن کاهش معنی‌داری پیدا کرد (شکل ۳). همچنین میزان اکسیداسیون چربی در خلال شرایط کاهش محتوای گلیکوژن عضله نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن عضله افزایش پیدا کرد (شکل ۱). این مشاهدات با مشاهدات اسپراون و همکاران (۳)، ساندر و همکاران (۱۸)، یوو و همکاران (۶ و ۸) و هولستون و همکاران (۷) همسو می‌باشد. افزایش اکسیداسیون اسید چرب احتمالاً به علت تحریک لیپولیز که تحت تأثیر فاکتورهای کنترلی هورمونی و عصبی بیرون از عضله قرار گرفته است اتفاق می‌افتد، که این عوامل سبب افزایش دسترسی عضله به اسید چرب آزاد و متعاقب آن افزایش اکسیداسیون اسید چرب می‌شود. در همین راستا ساندر و همکاران گزارش کردند که کاهش گلیکوژن عضله سبب افزایش غلظت اپی نفرین، اسید چرب آزاد و کاهش غلظت انسولین می‌شود که همه این عوامل در افزایش اکسیداسیون اسید چرب نقش به‌سزایی دارند. تغییرات در RER، اسید

چرب آزاد، غلظت نورایی نفرین پلاسما و غلظت گلوکاکن و انسولین در خلال ورزش تحت تأثیر غلظت گلوکز پلاسما در خلال ورزش و محتوای گلیکوژن عضله در شروع ورزش قرار می‌گیرند (۱۸). کاهش کلیکوژن عضله قبل از فعالیت در تحقیق حاضر سبب افزایش معنی‌داری در میزان MFO از 0.36 ± 0.04 گرم در دقیقه به 0.54 ± 0.08 گرم در دقیقه شد. میزان MFO در شرایط طبیعی گلیکوژن عضله در این تحقیق با مطالعات آچتن و همکاران، استیسن و همکاران و محبی و همکاران (۱۱، ۱۳، ۱۴) همسو است و کمتر از میزان گزارش‌های قبلی ارائه شده توسط آچتن و همکاران (0.60 ± 0.07) گرم در دقیقه و 0.47 ± 0.02 گرم در دقیقه، ونبلز و همکاران (0.46 ± 0.01) گرم در دقیقه (۲، ۹، ۱۰ و ۱۹) می‌باشد. کاهش محتوای گلیکوژن عضله قبل از فعالیت در تحقیق حاضر سبب افزایش تقریباً ۵۰ درصدی در میزان MFO شد.

مطالعات گذشته میزان اکسیداسیون چربی را در شدت‌های مختلف ورزشی بررسی کرده‌اند. تعدادی از این مطالعات سه (۱۲ و ۲۳) یا چهار (۲۰) شدت متفاوت ورزشی را بررسی کرده‌اند، اما از سال ۲۰۰۲ به بعد پس از بررسی‌های آچتن و همکاران میزان اکسیداسیون چربی توسط فعالیت‌های فزاینده ورزشی در دامنه گسترده‌ای از شدت‌های ورزشی مقایسه شدند (۹). Fat_{max} در تحقیق حاضر در شرایط طبیعی گلیکوژن عضله $46/12 \pm 3/13$ درصد VO_{2peak} گزارش شد که این شدت با شدت‌های گزارش شده توسط نوربی و همکاران، ونبلز و همکاران و محبی و همکاران تقریباً همسو است (۲، ۵، ۱۳ و ۲۱) اما کمتر از شدت‌های گزارش شده توسط آچتن و همکاران و استیسن و همکاران می‌باشد (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۴ و ۱۹). مطالعات گذشته نشان داده‌اند که وضعیت تمرینی و پروتکل تمرینی از عوامل تأثیرگذار بر Fat_{max} می‌باشد که می‌تواند تفاوت نتایج مطالعات ما با مطالعات دیگران را توجیه کند (۱، ۱۰ و ۱۱). نشان داده شده است که میزان اکسیداسیون چربی به علت توده عضلانی فعال بیشتر و همچنین بالا بودن غلظت کاتکولامین‌ها، حین دویدن نسبت به دوچرخه‌سواری بیشتر است (۱۰). همچنین، تمرین استقامتی منجر به تحریک هایپوکسی سلولی که همراه با افزایش جریان خون، تحویل و مصرف اکسیژن به علاوه افزایش اکسیداسیون چربی در شدت‌های ورزشی نسبی زیر بیشه بعد از تمرین می‌باشد. ورزش همچنین سازگاری‌های بیوشیمی در میوفیبرها همراه با تغییرات هورمونی که سبب ذخیره گلیکوژن عضله و افزایش اکسیداسیون چربی در شدت‌های مختلف ورزشی می‌شود (۱ و ۱۱). در وضعیت ناشتا، اعتقاد بر این است که بخشی از کاهش در میزان اکسیداسیون چربی در شدت‌های ورزشی بالا به علت کاهش دسترسی به اسید چرب می‌باشد. رومجین و همکاران گزارش کردند که اگرچه میزان لیپولیز در شدت ۸۵ درصد VO_{2max} با میزان به دست آمده در شدت ۶۵ درصد VO_{2max} برابر است اما میزان ظاهر شدن اسید چرب آزاد در گردش در شدت‌های بالا کاهش چشمگیری نسبت به ۶۵ درصد VO_{2max} دارد (۲۳). به علاوه کاهش دسترسی به اسید چرب آزاد یک افزایش در جریان گلیکولیتیکی و تغییرات درون عضلانی مانند کاهش PH را ایجاد می‌کند. تصور می‌شود که این تغییرات عاملی برای یک کاهش در انتقال اسید چرب به درون میتوکندری و متعاقب آن کاهش اکسیداسیون چربی باشد (۲۲). Fat_{max} در آزمون با کاهش محتوای گلیکوژن عضله به‌طور معنی‌داری از آزمون با سطح طبیعی گلیکوژن بالاتر بود، این بدان معنی است که شروع در کاهش اکسیداسیون چربی در یک شدت بالا اتفاق می‌افتد و آزمون‌های دیرتر به منابع کربوهیدرات وابسته می‌شوند. کاهش محتوای

گلیکوژن عضله قبل از فعالیت سبب افزایش اسید چرب آزاد در گردش می‌شود که خود این عامل می‌تواند دسترسی عضله به اسید چرب آزاد را افزایش دهد. این وضعیت سبب تأخیر در افزایش جریان گلیکولیتیکی می‌شود و اکسیداسیون اسید چرب افزایش و اکسیداسیون کربوهیدرات کاهش می‌یابد (۱۸).

نتیجه‌گیری

کاهش گلیکوژن عضله قبل از فعالیت سبب افزایش میزان اکسیداسیون چربی و کاهش معنی‌دار در اکسیداسیون کربوهیدرات می‌شود. همچنین حداکثر اکسیداسیون چربی نزدیک به ۵۰ درصد در شرایط کاهش گلیکوژن عضله نسبت به شرایط طبیعی گلیکوژن عضله افزایش پیدا کرد. شدت ورزشی که حداکثر اکسیداسیون چربی در آن شدت اتفاق افتاد به‌طور معنی‌داری در آزمون با کاهش گلیکوژن عضله نسبت به وضعیت طبیعی بالاتر بود. براساس نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود افراد، در صورتی که میزان کربوهیدرات قبل از فعالیت کمتری دارند، برای استفاده بیشتر از مزیت‌های افزایش اکسیداسیون چربی بهتر است فعالیت را با شدت‌های بالاتری نسبت به افرادی که میزان کربوهیدرات قبل از فعالیت طبیعی دارند، انجام دهند. ما در این تحقیق نتوانستیم به‌طور مستقیم گلیکوژن عضله را قبل و بعد از فعالیت اندازه‌گیری کنیم، بهتر است برای درک بهتر تأثیر گلیکوژن عضله بر MFO و Fat_{max} در مطالعات آینده این مسئله مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1. Adriano EL, Romulo CB, Flavio OP, Joao FG, Ronaldo V, Barros JH and Maria APK. (2010). Relationship between training status and maximal fat oxidation rate. *J Sports Sci and Med*, 9:31-35.
2. Michelle CV, Achten J, and Jeukendrup AE. (2005). Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol*, 98:160-7.
3. Schrauwen P, Wouter D, Van Marken L, Wim HMS, and Klaas RW. (1997). Role of glycogen-lowering exercise in the change of fat oxidation in response to a high-fat diet. *AmJ Physiol*, 273:623-29.
4. Riddell MC, Jamnik VK, Iscoe KE, Timmons BW, and Gledhill N. (2008). Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. *J Appl Physiol*, 105:742-748.
5. Venables MC and Jeukendrup AE. (2008). Endurance training and obesity: effect on substrate metabolism and insulin sensitivity. *J Med Sci Sports Exerc*, 40:95-502.
6. Yeo WK, Paton CD, Garnham AP, Burke LM, Carey A, and Hawley JA. (2008). Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *J Appl Physiol*, 105:1519-26.
7. Hulston CJ, Venables MC, Mann CH, Martin C, Philp A, Baar K, and Jeukendrup AE. (2003). The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *J Sports Sci*, 21:1017-24.

8. Yeo WK, McGee SL, and Carey AL. (2009). Acute signalling responses to intense endurance training commenced with low or normal muscle glycogen. *J Exp Physiol*, 95:351-8.
9. Achten J, Gleeson M, and Jeukendrup AE. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *J Med Sci Sports Exerc*, 34:92-97.
10. Achten J, Venables MC, and Jeukendrup AE. (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *J Metabolism*, 52:747-52.
11. Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, and Madsen K. (2006). Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol*, 98:497-506.
12. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, and Wolfe RR. (2000). Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol*, 88:1707-14.
13. Mohebbi H and Azizi M. (2011). Maximal fat oxidation at the different exercise intensity in obese and normal weight men in the morning and evening. *J. Hum. Sport Exerc*, 6:49-58.
14. Achten J and Jeukendrup. (2003). The effect of pre-exercise carbohydrate feeding on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *J Sports Sci*, 21:1017-24.
15. Jeukendrup AE and Wallis GA. (2005). Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med*, 26:28-37.
16. Gollnick PD, Piehl K, and Saltin B. (1974). Selective glycogen depletion pattern in human muscle fiber after exercise of varying intensity and at various pedalling rates. *J Physiol*, 241:45-57.
17. Sabapathy SNR and Schneider DA. (2006). Ventilatory and gas-exchange responses to incremental exercise performed with reduced muscle glycogen content. *J Sci and Med in Sport*, 9:267-273.
18. Weltan SM, Andrew NB, Steven CD, and Timothy DN. (1998). Influence of muscle glycogen content on metabolic regulation. *Am J Physiol*, 274:72-82.
19. Achten J and Jeukendrup AE. (2003). Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int J Sports Med*, 24:603-608.
20. Bergman BC and Brooks GA. (1999). Respiratory gas exchange ration during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *J Appl Physiol*, 86:479-87.
21. Nordby P, Saltin B, and Helge JW. (2006). Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity? *Scandinavian J Med and Sci in Sports*, 16:209-214.
22. van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin TD, Saris WH, and Wagenmakers AJ. (2001). The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol*, 536:295-304.
23. Romijn J, Coyle E, Sidossis L, Gastaldelli A, Horowitz J, Endert E, and Wolfe R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol*, 265:380-91.
24. Randle PJ, Garland PB, Hales CN, and Newsholme EA. (1963). The glucose-fatty acid cycle. Its role in insulin sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus. *Lancet*, pp. 785-789.

25. Cheneviere X, Malatesta D, Peters EM, and Borrani F. (2009). A mathematical model to describe fat oxidation kinetics during graded exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 41:1615-25.

Effect of reduced muscle glycogen on MFO and Fatmax during exercise in untrained men

Safari Mosavi S¹, Mohebbi H^{2*}, Damirchi A³, Hovanlo F⁴

¹MSc in Exercise Physiology, University of Guilan,

²Professor, University of Guilan,

³Associate Professor, University of Guilan,

⁴Associate Professor, University of Shahid Beheshti

Received: 21 June 2012

Accepted: 15 January 2013

Abstract

Aim: The aim of this study was to determine the effect of reduced muscle glycogen on maximal fat oxidation (MFO) and the exercise intensity at which maximal fat oxidation was occur (Fat_{max}) in untrained men.

Method: Eight healthy untrained males (age: 22.2±1; body mass index: 21.9±1.5 kg/m²; percent body fat (%): 15.1±1; VO_{2peak}: 2.82±0.41 L.min⁻¹) participated in two studies carried out on separate days at least one week apart. Each subject in the fasting state (7:00 AM) performed graded exercise test with 3 min stages on a cycle ergometer to exhaustion, on two separate occasions randomly, in a normal glycogen state and under conditions of reduced muscle glycogen content. On one occasion, the day before the graded exercise test, subjects came to the laboratory at 18:00 pm to perform an exhaustive muscle glycogen lowering exercise. Indirect calorimetry was performed to determine oxygen consumption (VO₂) and carbon dioxide production (VCO₂) at during graded exercise. Substrate oxidation, MFO and Fat_{max} was determined during graded exercise test, by use of the stoichiometric equations. The student's t-test was used to analyze the variables.

Results: MFO in the lowering muscle glycogen (0.54±0.08 g.min⁻¹) was significantly higher than in the normal muscle glycogen status (0.36±0.04 g.min⁻¹) (P<0.01). In addition, Significant difference in Fat_{max} occurred at an exercise intensity of around 46.12±3.13% and 65.01±3.42% VO_{2peak} in the normal and reduces glycogen condition respectively (P<0.01).

Conclusion: In conclusion, reduced muscle glycogen before exercise can be causes a displacement of MFO and Fat_{max} to higher level of exercise intensity. This means that the onset of decrease of fat oxidation occurs at a higher intensity and individuals start to rely on carbohydrate sources later.

Key words: MFO, Fat_{max}, Lowering muscle glycogen, Graded exercise test

*E-mail: mohebbi_h@yahoo.com

