المپیک
فصلنامه
سال بیستم- شماره ۳ (پیاپی ۵۹) پاییز ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۹
تاریخ تصویب: ۹۱/۳/۱۱

اکسایش قند و چربی حین و پس از یک وهله فعالیت بدنی در سه شدت مختلف در مردان جوان غیرورزشکار

❖ **عابدین خسروی**؛ عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور مرکز گنبد کاووس*
❖❖ **دکتر حمید محبی**؛ عضو هیأت علمی دانشکدهٔ تربیت بدنی دانشگاه گیلان

چکیده: افزایش سوخت‌وساز چربی در کاهش علایم بیماری‌های سوخت‌وسازی مثل چاقی و دیابت نوع دو نقش بالقوه دارد و یا اینکه کاهش عوامل خطرزای قلبی- عروقی را موجب می‌شود. هدف پژوهش حاضر مقایسهٔ میزان سوخت چربی، همچنین هزینهٔ انرژی حین و پس از سه شدت مختلف فعالیت ورزشی بود. آزمودنی‌های این پژوهش هشت دانشجوی پسر غیرورزشکار بودند (سن: ۱/۸±۱۹/۷ سال، وزن: ۷±٦٤/٥ کیلوگرم، قد: ٥/۱±۱۷٤/۳ سانتی‌متر، و حداکثر اکسیژن مصرفی: ٤/٤±٤۰/۱ میلی‌لیتر بر گیلوگرم بر دقیقه). آزمودنی‌ها در سه روز جداگانه با فاصلهٔ زمانی حداقل یک هفته به ترتیب در یکی از شدت‌های ٥٥، ٦٥ و ۷٥ درصد Vo_2max روی نوارگردان به فعالیت پرداختند. هر آزمون یک دورهٔ استراحت پانزده دقیقه‌ای قبل از شروع فعالیت بدنی، شصت دقیقه فعالیت در یکی از شدت‌های مذکور و در نهایت دو ساعت برگشت به حالت اولیه یا استراحت پس از اتمام فعالیت ورزشی داشت. در تمام مدت آزمون، میزان سوخت چربی با استفاده از کالری‌سنجی غیرمستقیم اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد مقدار مطلق اکسایش چربی (گرم در دقیقه) حین و پس از فعالیت با شدت ۷٥ درصد Vo_2max، همچنین کل مقدار مطلق سوخت چربی در این شدت به طور معناداری از دو شدت دیگر بیشتر بود ($P\leq$۰/۰٥). سهم اکسایش چربی در تأمین انرژی حین فعالیت با شدت ٥٥ درصد نسبت به دو شدت دیگر به طور معناداری بیشتر بود ($P\leq$۰/۰٥). ولی بین سهم آن در تأمین انرژی پس از فعالیت با سه شدت و مقدار کل سهم آن در تأمین کل انرژی تفاوت معناداری مشاهده نشد. همچنین، نتایج نشان داد با افزایش شدت فعالیت مقدار مطلق اکسایش کربوهیدرات (گرم در دقیقه) حین فعالیت با سه شدت ٥٥، ٦٥ و ۷٥ درصد $Vo2max$ و کل مقدار مطلق سوخت کربوهیدرات افزایش یافت، که این افزایش معنادار نبود، ولی سهم نسبی کربوهیدرات در تأمین انرژی حین فعالیت با افزایش شدت از ٥٥ به ۷٥ درصد به طور معناداری افزایش یافت ($P<$۰/۰٥). در دورهٔ برگشت به حالت اولیه، با افزایش شدت فعالیت، مقدار مطلق سوخت کربوهیدرات (گرم در دقیقه)، همچنین سهم نسبی کربوهیدرات در تأمین انرژی پس از فعالیت با شدت‌های ٥٥، ٦٥ و ۷٥ درصد کاهش یافت ($P<$۰/۰٥).

Archive of SID
www.SID.ir

میزان هزینهٔ انرژی حین فعالیت با شـدت ۷۵ درصد، همچنین میزان کل هزینهٔ انرژی به طور معناداری بیش از دو شـدت دیگر بود (P≤۰/۰۵). از یافته‌های پژوهش حاضر چنین نتیجه‌گیری می‌شـود که ممکن اسـت فعالیت با شدت ۷۵ درصد Vo_2max در برنامه‌های کاهش یا کنترل وزن سودمند واقع شود.

واژگان کلیدی: دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت ورزشی، سوخت چربی، شدت فعالیت ورزشی، کالری‌سنجی غیرمستقیم.

***Email: abedin_khosravi@yahoo.com**

مقدمه

چاقـی به صـورت همه‌گیـر در حـال افزایش اسـت و در بزرگسالان با افزایش شـیوع دیابت نوع دو و دیگـر بیماری‌های مزمن از قبیل بیماری کرونر قلبی (CHD) و انواع مختلف سـرطان مرتبط است (۴،۱). چربی‌هـا و کربوهیدرات‌هـا از منابـع اصلی انرژی حین فعالیت و دورهٔ برگشت به حالت اولیه به شمار می‌روند که بسته به نوع رژیم غذایی (۷،۶،۳)، محتـوای گلیکوژن عضـلات (۹،۸)، میزان آمادگی بـدن (۱۱،۱۰) و شـدت و مـدت فعالیت ورزشـی (۱۲،۱۱،۹،۲،۱) بر دیگری پیشی می‌گیرند.

یکی از تنظیم‌کننده‌های اصلی سـوخت چربی، شدت فعالیت ورزشی است. نشان داده شده افزایش جریـان گلیکولیزی بـا انتقال اسـیدهای چرب آزاد بـا زنجیر بلند به داخل میتوکنـدری ممانعت می‌کند و سـوخت اسـیدهای چرب با زنجیر بلند را کاهش می‌دهد (۱۳). مطالعات انجام شـده در سال‌های اخیر نشـان می‌دهند بالاترین میزان سـوخت چربی حین فعالیت ورزشـی در دامنه‌ای از شدت‌های ۴۰ الی ۷۰ درصد Vo_2max رخ می‌دهد (۱۶،۱۴،۱۴،۱۰،۲،۱) کـه ایـن دامنـهٔ وسـیع از شـدت‌ها نتیجـهٔ تفاوت در پروتکل‌هـای تمرینـی، نوع آزمودنی‌هـا و نوع فعالیت ورزشـی اسـت. اما، در مورد سوخت چربی در شـدت‌های مختلـف فعالیت ورزشـی اطلاعات همسویی وجود ندارد.

به منظور تحریک سـوخت چربی در حد بیشینه و متعاقب آن بهبود عملکرد در فعالیت‌های ورزشی، عموماً انجام فعالیت‌های با شـدت پایین تا متوسـط توصیه می‌شود. در شـدت‌های متوسط، لیپولیز بافت چربـی زیرپوسـتی ارتقـا می‌یابد، در حالـی که در شدت‌های بالا لیپولیز محدود می‌شود (۱۷).

رامجیـن و همکارانـش (۱۷) در مـردان تمرین کرده نشـان دادند بالاترین میزان سـوخت چربی در شـدت ۶۵ درصـد Vo_2max رخ می‌دهـد. آن‌ها همچنیـن مطالعه‌ای مشـابه روی زنـان تمرین کرده انجـام دادند. نتایـج حاکی از این بود کـه بالاترین میزان سـوخت در زنان تمرین کرده در شـدت ۶۵ درصد Vo_2max است (۱۵).

در مقابـل، آسـتورینو (۱۸) در مـردان تمریـن کـرده نشـان داد بالاترین میزان سـوخت چربی در شـدت ۷۵ درصـد Vo_2max اوج رخ می‌دهد. در بعضی مطالعـات اخیر، بالاترین میزان سـوخت چربی حتی در شدت‌های پایین‌تر از ۶۵ درصد Vo_2max (۱۹) و ۵۷ درصد Vo_2max (۶) نیز گزارش شده است.

از طـرف دیگـر، در حالـی کـه مطالعـات

www.SID.ir
Archive of SID

گسترده‌ای دربارهٔ سهم نسبی کربوهیدرات و چربی حین فعالیت‌های ورزشی صورت گرفته (۱۰،۱۲،۱۵،۱۶،۱۷،۱۸)، به نظر می‌رسد تاکنون مطالعات کمی وقایع سوخت‌وسازی حین فعالیت ورزشی و به دنبال آن در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت‌های ورزشی را مطالعه کرده‌اند. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد با افزایش شدت فعالیت بعد از ۶۰ درصد Vo_2 اوج، سهم نسبی چربی‌ها کاهش می‌یابد (۲۰). بنابراین، با وجود تقدم استفاده از کربوهیدرات‌ها هنگام فعالیت‌های ورزشی متوسط تا شدید، این فرضیه وجود دارد که در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت ورزشی، خصوصاً پس از فعالیت‌هایی که منجر به تخلیهٔ ذخایر گلیکوژن بدن می‌شوند، سهم سوخت چربی غالب باشد (۲۱).

اگرچه مشاهده می‌شود نسبت تبادل تنفسی (RER) در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت‌های ورزشی طولانی‌مدت کاهش زیادی می‌یابد (۸)، ولی سهم نسبی انرژی مواد سوختی پس از فعالیت ورزشی نادیده گرفته شده است. اطلاعات کمی در مورد سهم نسبی انرژی مواد در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت ورزشی در مردان و زنان وجود دارد (۱۵،۲۲).

اگرچه کینز و ریشتر (۲۳) در مورد بسیج تری‌اسید گلیسرول‌های داخل عضلانی در ساعت‌های بعد از فعالیت‌های ورزشی اطلاعاتی ارائه دادند و هورتون و همکارانش (۲۴) نشان دادند میزان اکسایش چربی در مردان در دورهٔ ریکاوری متعاقب دو ساعت فعالیت ورزشی سبک تا متوسط (۴۰ درصد Vo_2 اوج) افزایش می‌یابد، ملانسون و همکارانش (۲۵) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که شدت‌ها و مدت‌هایی از وهله‌های فعالیت‌های بدنی به منظور کنترل وزن و آمادگی جسمانی استفاده می‌شوند و بر سوخت چربی و کل هزینهٔ انرژی روزانهٔ افراد تأثیر معناداری ندارند. بنابراین، با توجه به ناهمسو بودن یافته‌های محققان و با در نظر گرفتن اهمیت افزایش سوخت چربی در درمان چاقی، قصد داریم به بررسی تأثیر سه شدت مختلف فعالیت ورزشی بر سوخت چربی، کربوهیدرات، همچنین هزینهٔ انرژی حین و پس از فعالیت ورزشی بپردازیم.

روش‌شناسی

آزمودنی‌های پژوهش حاضر هشت دانشجوی پسر غیرورزشکار با وزن طبیعی (۱۸/۵<BMI<۲۴/۹) بودند. قبل از شروع آزمون‌ها و پس از تکمیل پرسشنامهٔ سلامتی و فرم رضایتنامه، آزمودنی‌ها در جلسهٔ اول با وسایل و شیوه‌های اندازه‌گیری آشنا شدند. قد آزمودنی‌ها با استفاده از قدسنج، وزن با استفاده از ترازوی دیجیتالی و درصد چربی بدن آن‌ها به روش مقاومت بیوالکتریکی با استفاده از دستگاه body composition analyzer (مدل InBody ۳,۰ ساخت شرکت Biospace کشور کره) اندازه‌گیری شد.

در جلسهٔ دوم، Vo_2max آزمودنی‌ها با استفاده از دستگاه گازآنالایزر (مدل Quark ۷,۵ b۲ ساخت شرکت Cosmed ایتالیا) و بر اساس پروتکل بروس، هنگام فعالیت روی نوارگردان اندازه‌گیری شد. سپس، آزمودنی‌ها در سه روز جداگانه با فاصلهٔ زمانی حداقل یک هفته به ترتیب در یکی از شدت‌های ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد

www.SID.ir
Archive of SID

Vo_2max روی نوارگردان به فعالیت پرداختند. تمام آزمون‌ها در صبح و زمان مشابه انجام شد تا از تأثیر ریتم شبانه‌روزی جلوگیری شود. آزمودنی‌ها همگی از دانشجویان خوابگاهی بودند که از برنامهٔ غذایی دانشگاه استفاده می‌کردند. همچنین، از آنها خواسته شده بود تا در شب قبل از آزمون ناشتا باشند و حداقل ۲۴ ساعت قبل از اجرای آزمون‌ها از فعالیت بدنی شدید اجتناب کنند.

پروتکل آزمون در هر روز شامل یک دوره استراحت پانزده دقیقه‌ای قبل از شروع فعالیت ورزشی، شصت دقیقه فعالیت در یکی از شدت‌های مذکور و در نهایت دو ساعت برگشت به حالت اولیه پس از اتمام فعالیت ورزشی بود. به منظور بررسی تغییرات سوخت چربی، اندازه‌گیری نفس به نفس با استفاده از دستگاه گازآنالایزر در تمام مدت پروتکل آزمون انجام شد. همچنین، آزمودنی‌ها در طول دوره‌های استراحت قبل از فعالیت ورزشی و برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت ورزشی، در حالت نشسته قرار داشتند.

میانگین اکسیژن مصرفی (Vo_2) و دی‌اکسید کربن دفعی (Co_2) در تمام مراحل استراحت، فعالیت و برگشت به حالت اولیه اندازه‌گیری شد. با فرض اینکه میزان دفع نیتروژن ادرار ناچیز است (۲۶)، میزان سوخت چربی و کربوهیدرات و سهم نسبی چربی و کربوهیدرات در تأمین انرژی با استفاده از معادلات عنصرسنجی فرین (۲۶) محاسبه شد.

همهٔ اطلاعات و داده‌ها در این پژوهش به صورت میانگین و انحراف معیار بود و برای مقایسهٔ تغییرات سوخت چربی حین فعالیت ورزشی در شدت‌های مختلف و برگشت به حالت اولیه، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. کل عملیات و تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS و ترسیم شکل‌ها با نرم‌افزار اکسل انجام شد. همچنین، حداقل سطح معناداری در این پژوهش $P<0/05$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

در جدول ۱ اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها به صورت میانگین و انحراف معیار آمده است.

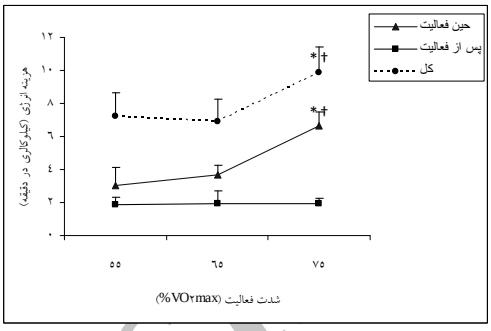
هزینهٔ انرژی

نتایج نشان داد با افزایش شدت فعالیت، مقدار هزینهٔ انرژی (محاسبه شده با استفاده از مقادیر سوخت چربی و کربوهیدرات به کیلوکالری در دقیقه) حین فعالیت و کل هزینهٔ انرژی افزایش معناداری یافت ($P<0/05$). همچنین، نتایج تحلیل

جدول ۱. اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها

متغیر	میانگین±انحراف معیار
سن (سال)	۱۹/۷۵±۱/۸۳
قد (سانتی‌متر)	۱۷۴/۳۷±۵/۱۵
وزن (کیلوگرم)	۶۴/۵۶±۷/۰۲
شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۱/۲۷±۱/۸۶
درصد چربی بدن	۱۲/۵۸±۲/۸
حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	۴۰/۰۸±۴/۴۹

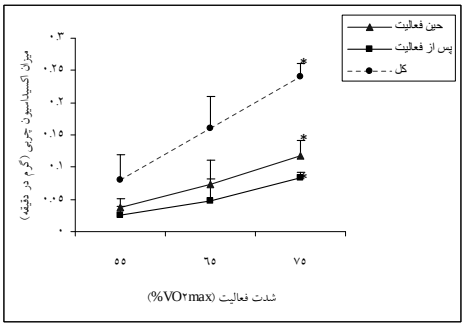
www.SID.ir
Archive of SID



شکل ۱. مقدار هزینهٔ انرژی (کیلوکالری در دقیقه) حین و پس از فعالیت با شدت‌های مختلف

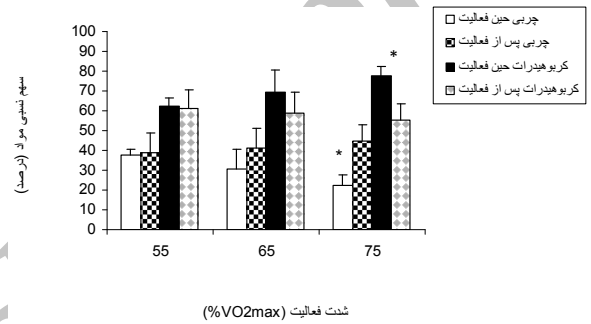
* تفاوت معنادار نسبت به ۵۵ درصد Vo_2max ($P\leq ۰/۰۵$)

† تفاوت معنادار نسبت به ۶۵ درصد Vo_2max ($P\leq ۰/۰۵$)



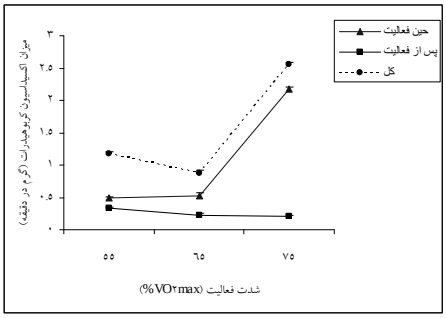
شکل ۲. مقدار سوخت چربی (گرم در دقیقه) حین و پس از فعالیت با شدت‌های مختلف

* تفاوت معنادار نسبت به ۵۵ درصد Vo_2max ($P\leq ۰/۰۵$)



شکل ۳. سهم نسبی مواد در تأمین انرژی مورد نیاز حین و پس از فعالیت با شدت‌های مختلف

* تفاوت معنادار نسبت به ۵۵ درصد Vo_2max ($P\leq ۰/۰۵$)



شکل ٤. میزان سوخت کربوهیدرات (گرم در دقیقه) حین و پس از فعالیت با شدت‌های مختلف

www.SID.ir

واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد در هزینهٔ انرژی حین فعالیت و کل هزینهٔ انرژی با سه شدت مذکور تفاوت معناداری وجود دارد (F=۳۲/۲۷۴، P<۰/۰۰۴). با توجه به نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی، تفاوت مشاهده شده در هزینهٔ انرژی حین فعالیت و کل هزینهٔ انرژی بین شدت‌های ۵۵ و ۷۵ درصد، همچنین بین شدت‌های ۶۵ و ۷۵ درصد از لحاظ آماری معنادار بود (P<۰/۰۵). همچنین، نتایج نشان داد بین مقدار هزینهٔ انرژی پس از فعالیت در سه شدت ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد Vo_2max (به ترتیب ۱/۸۴، ۱/۹۳ و ۱/۹۴ کیلوکالری در دقیقه) تفاوت معناداری وجود ندارد (شکل ۱).

سوخت چربی

نتایج نشان داد با افزایش شدت فعالیت مقدار مطلق سوخت چربی (گرم در دقیقه) حین فعالیت و کل مقدار مطلق سوخت چربی به طور معناداری افزایش یافت (P<۰/۰۵). همچنین، نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد بین مقدار سوخت چربی حین فعالیت و کل مقدار مطلق سوخت چربی در سه شدت مذکور تفاوت معناداری وجود دارد (F =۵۳/۳۳، P<۰/۰۰۱). نتایج آزمون تعقیبی نیز نشان داد تفاوت مشاهده شده، فقط بین دو شدت ۵۵ و ۷۵ درصد معنادار است (شکل ۲).

از طرف دیگر، سهم نسبی چربی در تأمین انرژی حین فعالیت، با افزایش شدت از ۵۵ به ۷۵ درصد به طور معناداری (به ترتیب ۳۷/۳۷، ۳۰/۵۵ و ۲۲/۵۵ درصد) کاهش یافت (P<۰/۰۵). همچنین، نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد بین سهم چربی در تأمین انرژی حین فعالیت در شدت‌های مذکور تفاوت معناداری وجود دارد (F =۱۸/۰۰۹، P<۰/۰۱۳). با توجه به نتایج آزمون تعقیبی، تفاوت مشاهده شده فقط بین دو شدت ۵۵ و ۷۵ درصد معنادار بود (شکل ۳).

در دورهٔ برگشت به حالت اولیه نیز با افزایش شدت فعالیت، مقدار مطلق سوخت چربی به طور معناداری (به ترتیب ۰/۰۲۵، ۰/۰۴۸ و ۰/۰۸۴ گرم در دقیقه) افزایش یافت (P<۰/۰۵). همچنین، نتایج نشان داد بین مقدار مطلق سوخت چربی پس از فعالیت در سه شدت ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد تفاوت معناداری وجود دارد (F=۳۰۲/۲۲، P<۰/۰۰). نتایج آزمون تعقیبی نیز نشان داد تفاوت مشاهده شده، فقط بین دو شدت ۵۵ و ۷۵ درصد معنادار است (شکل ۲). از طرف دیگر، سهم نسبی چربی در تأمین انرژی پس از فعالیت با شدت‌های ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد (به ترتیب ۳۸/۰۶، ۴۰/۹۱ و ۴۴/۵۶ درصد) افزایش یافت، ولی تفاوت مشاهده شده بین آن‌ها معنادار نبود (شکل ۳).

سوخت کربوهیدرات

نتایج نشان داد با افزایش شدت فعالیت مقدار مطلق سوخت کربوهیدرات (گرم در دقیقه) حین فعالیت با سه شدت ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد Vo_2max (به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۵۳ و ۲/۱۸ گرم در دقیقه) کل مقدار مطلق سوخت کربوهیدرات افزایش یافت، ولی نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد در مقدار مطلق سوخت کربوهیدرات (گرم در دقیقه) حین فعالیت با سه شدت مذکور و کل مقدار سوخت کربوهیدرات تفاوت معناداری وجود ندارد (شکل ۴). ولی سهم نسبی کربوهیدرات در تأمین

www.SID.ir

انـرژی حیـن فعالیت، با افزایش شـدت از ۵۵ به ۷۵ درصد به طور معناداری (به ترتیب ۶۲/۶۲، ۶۹/۴۳ و ۷۷/۴۲ درصـد) افزایش یافت (P<۰/۰۵). همچنین، نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشـان داد بین سـهم کربوهیدرات در تأمین انرژی حین فعالیت در شـدت‌های مذکور تفاوت معناداری وجود دارد (F=۱۸/۰۰، P<۰/۰۱۳). بـا توجه بـه نتایج آزمون تعقیبی، تفاوت مشاهده شده فقط بین دو شدت ۵۵ و ۷۵ درصد معنادار بود (شکل ۳).

در دورهٔ برگشت به حالت اولیه، با افزایش شدت فعالیت، مقدار مطلق سوخت کربوهیدرات (به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۲۲ و ۰/۲۱ گـرم در دقیقـه) کاهـش یافت (P<۰/۰۵). نتایـج تحلیـل واریانس بـا اندازه‌گیری مکرر نشان داد در مقدار مطلق سوخت کربوهیدرات (گرم در دقیقه) پس از فعالیت با سـه شـدت ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد تفاوت معناداری وجود ندارد (شکل ۴). همچنین، سـهم نسـبی کربوهیدرات در تأمین انرژی پـس از فعالیت با شـدت‌های ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد (به ترتیب ۶۱/۰۶، ۵۹/۰۷ و ۵۵/۴۱ گرم در دقیقه) کاهش یافت، ولی تفاوت مشاهده شده بین آن‌ها معنادار نبود (شکل ۳).

بحث و نتیجه‌گیری

شـدت فعالیت ورزشـی یکی از عوامل مؤثر در سوخت چربی و کربوهیدرات، حین فعالیت ورزشی و دورهٔ برگشـت بـه حالـت اولیهٔ پس از آن اسـت (۹،۱۱،۱۲،۱۵،۱۷). در پژوهـش حاضـر بـا افزایش شدت فعالیت از ۵۵ به ۷۵ درصد، مقدار مطلق سوخت چربی حین فعالیت افزایش یافت و بیشترین مقدار آن، حین فعالیت با شـدت ۷۵ درصد Vo_2max مشاهده شـد. ولی سهم نسبی سـوخت چربی در تأمین انرژی حین فعالیت، با افزایش شدت کاهش یافت و بیشترین سهم آن هنگام فعالیت با شدت ۵۵ درصد Vo_2max مشاهده شد.

از دلایـل کاهش سـهم نسـبی چربـی در تأمین انـرژی حیـن فعالیت بـا افزایش شـدت از ۵۵ تا ۷۵ درصد Vo_2max، آثار فعالیت‌های با شـدت بالا بر تحریـک گلیکوژنولیز عضلانی و برداشـت گلوکز (۲۷)، همچنین منع ورود اسیدهای چرب آزاد با زنجیر بلند به داخل میتوکندری اسـت که احتمالاً به واسطهٔ افزایش جریان گلیکولیـزی در جریان فعالیت‌های با شـدت بالا ایجاد می‌شـود (۱۳). علاوه بر این، تنظیم کاهشـی کارنیتیـن پالمیتویل ترانسـفراز I با کاهش فراهمی کارنیتین آزاد و کاهش pH مرتبط با افزایش تولید لاکتات در جریان فعالیت‌های با شـدت بالا در این امر دخیل است (۹).

با افزایش شدت فعالیت از کم تا متوسط، سرعت لیپولیز، جریان خون بافت چربی و جریان خون عضله افزایش می‌یابد که موجب دسترسی عضلات فعال به اسید چرب بیشتری می‌شـود. این امر موجب افزایش مقادیر مطلق سـوخت چربی می‌شود (۲۸). زمانی که شـدت فعالیت به مقدار بسیار زیاد (بیش از ۸۰ درصد Vo_2max) افزایش می‌یابد، سوخت چربی کاهش و میزان سـوخت کربوهیدرات به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، به دلیل اینکه نشان داده شده افزایش جریـان گلیکولیزی با انتقال اسـیدهای چـرب آزاد با زنجیـر بلند به داخل میتوکنـدری ممانعت می‌کند و سـوخت اسـیدهای چرب با زنجیر بلنـد را کاهش می‌دهد (۱۳).

افزایش میزان مطلق سـوخت چربـی در جریان

www.SID.ir
Archive of SID

فعالیت از ۵۵ تا ۷۵ درصد، نتیجهٔ افزایش هزینهٔ انرژی است (۱۴). در جریان فعالیت‌های با شدت ۶۵-۷۰ درصد Vo_2max، میزان لیپولیز اساساً به دلیل تحریک بتا آدرنرژی بر اثر کاتکولامین‌ها، همچنین کاهش انسولین، تقریباً تا سه برابر مقادیر طبیعی افزایش می‌یابد. به علاوه، جریان خون بافت چربی کاهش می‌یابد و به افزایش میزان استریفه شدن مجدد اسیدهای چرب آزاد می‌انجامد. بنابراین، میزان جریان خون به عضلات اسکلتی فعال به صورت فزاینده‌ای افزایش می‌یابد و نهایتاً میزان به حرکت در آمدن اسیدهای چرب به سمت عضلات فعال را افزایش می‌دهد.

در مطالعات قبلی، بیشترین میزان سوخت در شدت تقریبی ۶۰-۶۵ درصد Vo_2max گزارش شده است (۱۵،۹). اگر فعالیت‌های با شدت‌های مختلف دارای زمان‌های یکسان باشند، شدت‌های بالاتر فعالیت موجب سوخت بیشتر مقادیر مطلق چربی می‌شود. در مقابل، هنگامی که هزینهٔ انرژی در فعالیت‌های با شدت متفاوت، یکسان در نظر گرفته شود، فعالیت با شدت‌های نسبی پایین‌تر در مقایسه با فعالیت‌های با شدت‌های بالاتر موجب سوخت بیشتر مقادیر مطلق چربی می‌شوند (۲۱).

در پژوهش حاضر، میزان مطلق سوخت چربی همچنین سهم نسبی سوخت چربی در تأمین انرژی مصرفی دورهٔ برگشت به حالت اولیهٔ پس از فعالیت، با افزایش شدت فعالیت افزایش یافت و بیشترین مقدار مطلق سوخت چربی و بیشترین سهم نسبی چربی در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت با شدت ۷۵ درصد Vo_2max مشاهده شد. نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات گذشته همسوست، مبنی بر اینکه الگوهای سوخت‌وسازی کل بدن در دورهٔ برگشت به حالت اولیه به سمت سوخت چربی تغییر می‌کند و میزان کل هزینهٔ انرژی در جریان فعالیت افزایش می‌یابد (۲۹،۲۵،۲۳،۲۲).

اگرچه در پژوهش خود، به منظور بررسی محتوای گلیکوژن عضلانی، نمونه‌برداری از بافت عضلانی نداشتیم، بر پایهٔ مطالعات گستردهٔ گذشته (۳۰،۸)، نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کند در جریان فعالیت ورزشی با شدت بالا ذخایر گلیکوژن عضله و کبد به منظور حمایت از بخش اعظم هزینهٔ انرژی مصرفی به حرکت درمی‌آیند.

نشان داده شده که در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت‌های ورزشی با شدت بالا، سنتز مجدد ذخایر گلیکوژن بر وقایع دیگر مقدم می‌شود (۳۰،۸). افزایش سهم نسبی چربی در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت‌های ورزشی شدید موافق با ایده است که در دورهٔ برگشت به حالت اولیه، سهم نسبی سوخت چربی افزایش می‌یابد، در حالی که سهم سوخت کربوهیدرات در تأمین انرژی مصرفی، به منظور حفظ سطوح طبیعی قند خون و تسهیل در پر شدن مجدد ذخایر گلیکوژن و حفظ هموستاز گلوکز به حداقل می‌رسد.

سازوکارهای افزایش سوخت چربی در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت ورزشی به درستی مشخص نیست. نتایج مطالعات گذشته (۳۱،۳۰،۸) نشان می‌دهد محتوای IMTG در جریان دورهٔ برگشت به حالت اولیه بدون تغییر باقی می‌ماند. این مطلب بیان‌کنندهٔ این نکته است که ذخایر چربی درون عضلانی منبع قابل قبولی از اسیدهای چرب برای افزایش سوخت چربی نیست. بنابراین، این

www.SID.ir
Archive of SID

احتمال وجود دارد که افزایش اسیدهای چرب پلاسما در جریان دورهٔ برگشت به حالت اولیه منجر به افزایش برداشت و سوخت اسیدهای چرب در عضلاتی می‌شود که ذخایر گلیکوژن آن‌ها تخلیه شده است. این امر به واسطهٔ کاهش سریع سطوح اسیدهای چرب پلاسما در اوایل دورهٔ برگشت به حالت اولیه حمایت می‌شود و احتمالاً به دلیل برداشت سریع در بافت‌های محیطی مثل عضلات اسکلتی، همچنین کاهش میزان لیپولیز محیطی توسط انسولین (هر دو) است (۸،۶).

هورمون نوراپی‌نفرین در افزایش لیپولیز دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت ورزشی نقش عمده‌ای دارد (۳۳). همچنین، افزایش پاسخ هورمون رشد در جریان فعالیت ممکن است در توضیح افزایش سوخت چربی در دورهٔ برگشت به حالت اولیه عامل مؤثری باشد (۳۰). در حقیقت، پیشنهاد شده افزایش ترشح هورمون رشد در جریان فعالیت به افزایش لیپولیز و سوخت اسیدهای چرب در دورهٔ برگشت به حالت اولیه می‌انجامد. هورمون رشد، جذب گلوکز در بافت‌های فعال را کاهش و بسیج اسیدهای چرب از بافت ذخیرهٔ چربی را افزایش می‌دهد (۳۴). در واقع، هورمون رشد از طریق منع تولید انسولین از پانکراس و تحریک HSL، فعالیت خود را انجام می‌دهد (۳۵).

علاوه بر این، افزایش استفاده از چربی‌ها در منابع انرژی اکسیداتیو در تأمین انرژی دورهٔ برگشت به حالت اولیه ممکن است با کاهش رقابت در مصرف کربوهیدرات، منبع انرژی گلیکولیز مرتبط باشد (۳۶). و یا اینکه محرک‌های مسیرهای تولید انرژی از قبیل فعال‌سازی AMPK در بافت‌هایی مثل عضله و کبد در این امر دخیل باشند (۳۰).

مطالعات عموماً افزایش سهم چربی را پس از فعالیت در مقایسه با حین فعالیت گزارش کرده‌اند (۲۹،۲۳،۲۲). علاوه بر این، اکثر مطالعات گذشته نشان داده‌اند سهم سوخت چربی در تأمین انرژی مصرفی پس از فعالیت‌های با شدت‌های نسبی بالاتر نسبت به شدت‌های پایین‌تر بیشتر است (۳۷،۳۶،۳۱).

یافته‌های پژوهش حاضر نیز گویای همین مطالب است. در پژوهش حاضر، با افزایش شدت از ۵۵ به ۷۵ درصد میزان هزینهٔ انرژی حین فعالیت افزایش معناداری پیدا کرد ولی میزان هزینهٔ انرژی پس از فعالیت با وجود افزایش اندک در شدت‌های بالاتر نسبت به شدت‌های پایین‌تر تفاوت معناداری نکرد.

در اکثر مطالعات گذشته نیز نشان داده شد هنگامی که هزینهٔ انرژی حین فعالیت با شدت‌های مختلف تقریباً برابر باشد، میزان هزینهٔ انرژی و کل مصرف مواد در دورهٔ برگشت به حالت اولیهٔ پس از آن‌ها نیز مشابه است (۲۹،۲۸،۲۴،۲۳،۲۲،۲۱). متأسفانه، در هیچ یک از این مطالعات میزان تخلیهٔ گلیکوژن عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی اندازه‌گیری نشده است و به منظور درک بیشتر از وقایع سوخت‌وسازی دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت ورزشی نقش میزان تخلیهٔ گلیکوژن عضله نیاز به مطالعهٔ بیشتری دارد. در مطالعهٔ حاضر، با وجود بیشتر بودن هزینهٔ انرژی حین فعالیت با شدت‌های بالاتر، بین هزینهٔ انرژی دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت با سه شدت ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درصد Vo_2max تفاوت معناداری وجود نداشت. علت این موضوع شاید تغییر مسیر استفاده از مواد یعنی کم شدن مصرف ذخایر کربوهیدراتی و بیشتر

www.SID.ir
Archive of SID

شـــدن مصرف منابع چربی است که هزینه‌های انرژی تقریباً برابر ایجاد می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایـــج ایـــن پژوهـــش نشـــان داد الگوهـــای سوخت‌وســـازی کل بدن در دورهٔ برگشت به حالت اولیه به ســـمت ســـوخت چربی تغییر می‌کند و میزان کل هزینهٔ انـــرژی در جریان فعالیت افزایش می‌یابد. افزایش سهم نسبی چربی در دورهٔ برگشت به حالت اولیه پس از فعالیت‌های ورزشی شدید، موافق با این ایده اســـت که در دورهٔ برگشت به حالت اولیه، سهم نســـبی ســـوخت چربی افزایش می‌یابد، در حالی که سهم سوخت کربوهیدرات در تأمین انرژی مصرفی، به منظور حفظ ســـطوح طبیعی قند خون و تسهیل در پر شـــدن مجدد ذخایر گلیکوژن و حفظ هموســـتاز گلوکز، به حداقل می‌رســـد. در پژوهـــش حاضر، با افزایش شدت از ۵۵ به ۷۵ درصد میزان هزینهٔ انرژی حین فعالیت افزایش معناداری پیدا کرد. بنابراین، این احتمـــال وجود دارد که فعالیت با شـــدت ۷۵ درصد Vo_2max در برنامه‌هـــای کاهـــش یـــا کنترل وزن سودمند واقع شود.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱. . محبی، حمید؛ دمیرچی، ارسلان؛ روحانی، هادی؛ شادمهری، سعیده،۱۳۸۹، مقایسهٔ حداکثر اکسیداسیون چربی در دانشجویان زن و مرد غیرورزشکار، نشریهٔ المپیک، ش ۵۰، تابستان، ص ۴۳.

۲. محبی ، حمید؛ رحمانی‌نیا، فرهاد؛ شادمهری، سعیده، ۱۳۸۸، اثر نوع فعالیت ورزشی بر میزان اکسیداسیون چربی، MFO و Fatmax در زنان جوان، نشریهٔ المپیک، ش ۴۷، پاییز، ص ۱۳۹-۱۴۹.

۳. محبی، حمید۱۳۸۲، اثر گلوکز و انسولین در انرژی مصرفی و اکسیداسیون مواد در طول یک فعالیت شدید استقامتی، نشریهٔ المپیک، ش ۲۴، پاییز و زمستان، ص ۵۱.

4. Mokdad, A.H.; Ford, E.S.; Bowman, B.A.; Diets, W.H.; Vinicor, F.; Bales, V.S.; Marks, J.S. (2003). "Prevalence of obesity, diabetes, and obesity-related health risk factors". JAMA 289:76-79.

5. Blair, S. (2002). "The public health problem of increasing prevalence rates of obesity and what should be done about it". Mayo Clin Proc 77: 109-113.

6. Horowitz, J.F.; Mora-Rodriguez, R.; Byerley, L.O.; Coyle, E.F. (1997). "Lipolytic suppression following carbohydrate ingestion limits fat oxidation during exercise". Am. J. Physiol. 273: E768–E775.

7. Coyle, E.F.; Jeukendrup, A.E.; Oseto, M.C.; Hodgkinson, B.J.; Zderic, T.W. (2001). "Low-fat diet alters intramuscular substrates and reduces lipolysis and fat oxidation during exercise". Am J Physiol Endocrinol Metab. 280:E391–E398.

8. Kimber, N.E.; Heigenhauser, G.J.F.; Spriet, L.L.; Dyck, D.J. (2003). "Skeletal muscle fat and carbohydrate metabolism during recovery from glycogen-depleting exercise in humans". J Physiol 548: 919–927.

9. Van Loon, L.J.C.; Jeukendrup, A.E.; Saris, W.H.M.; Wagenmakers, A.J.M. (1999). "Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion". J. Appl. Physiol. 87: 1413–1420.

10. Bircher, S.; Knechtle, B. (2004). "Relationship between fat oxidation and lactate threshold in athletes and obese women and men". J Sports Sci and Med 3: 174-181.

11. Bassami, M.; Ahmadizad, S.; Doran, D.; MacLaren, D.P.M. (2007). "Effects of exercise intensity and duration on fat metabolism in trained and untrained older males". Eur J Appl Physiol 101:525–532.

12. Kang ,J.; Hoffman, J.R.; Ratamess, N.A.; Faigenbaum, A.D.; Falvo, M.; Wendell, M. (2007). "Effect of exercise intensity on fat utilization in males and females". J Sports Med 15: 175-188.

13. Coyle, E.F.; Jeukendrup, A.E.; Wagenmakers, A.J.; Saris, W.H. (1997). "Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise". Am J Physiol Endocrinol Metab 273: E268–E275.

14. Achten, J.; Jeukendrup, A.E. (2003). "Maximal fat oxidation during exercise in trained men". Int J Sports Med. 24: 603-608.

15. Romijn, J.A.; Coyle, E.F.; Sidossis, L.S.; Rosenblatt, J.; Wolfe, R.R. (2000). "Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance trained women". J Appl Physiol 88:1707-1714.

16. Venables, M.C.; Achten, J.; Jeukendrup, A.E. (2005). "Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study". J Appl Physiol 98: 160–167.

17. Romijn, J.A.; Coyle, E.F.; Sidossis, L.S.; Gastaldelli, A.; Horowitz, J.F.; Endert, E.; Wolfe, R.R. (1993). "Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity". Am J Physiol 265: E380–E391.

18. Astorino, A. (2000). "Is the ventilatory threshold coincident with maximal fat oxidation during submaximal

www.SID.ir
Archive of SID

exercise in women?" J Sports Med Phys Fit, 40: 209-216.

19. Pillard, F.; Moro, C.; Harant, I.; Garrigue, E.; Lafontan, M.; Berlan, M.; Crampes, F.; de-Glisezinski, I.; Riviere, D. (2007). "Lipid Oxidation According to Intensity and Exercise Duration in Overweight Men and Women". Obesity 15: 2256-2262.

20. Friedlander, A.L.; Cassaza, G.A.; Horning, M.A.; Usaj, A.; Brooks, G.A. (1999). "Endurance training increases fatty acid turnover, but not fat oxidation, in young men". J Appl Physiol 86: 2097-2105.

21. Kuo, C.C.; Fattor, J.A.; Henderson, G.C.; Brooks, G.A. (2005). "Lipid oxidation in fit young adults during post-exercise recovery". J Appl Physiol, 99: 349-356.

22. Pruett, E.D.R. (1970). "FFA mobilization during and after prolonged severe muscular work in men". J Appl Physiol 29: 809-815.

23. Kiens, B.; Richter, E.A. (1998). "Utilization of skeletal muscle triacylglicerol during post-exercise recovery in humans". Am J Physiol Endocrinol Metab, 275:E332-E337.

24. Horton, T.J.; Pagliassotti, M.J.; Hobbbs, K.; Hill, J.O. (1998). "Fuel metabolism in men and women during and after long- duration exercise". J Appl Physiol, 85: 1823-1832.

25. Melanson, E.L.; Sharp, T.A.; Seagle, H.M.; Horton, T.J.; Donahoo, W.T.; Grunwald, G.K.; Hamilton, J.T.; Hill, J.O. (2002). "Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation". J Appl Physiol, 92: 1045-1052.

26. Frayn, K.N. (1983). "Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange". J Appl Physiol, 55: 628-634.

27. Romijn, J.A.; Coyle, E.F.; Zhang, X.J.; Sidossis, L.S.; Wolfe, R.R. (1995). "Fat oxidation is impaired somewhat during high-intensity exercise by limited plasma FFA mobilization". J Appl Physiol, 79: 1939–1945.

28. AL Mulla, N.; Simonsen, L.; Bulow, J. (2000). "Post-exercise adipose tissue and skeletal muscle lipid metabolism in humans: the effects of exercise intensity". J Appl physiol, 524: 919-928.

29. Bielinski, R.; Schutz, Y.; Jequier, E. (1985). "Energy metabolism during the post-exercise recovery in man". Am J Clin Nutr, 42: 69-82.

30. Henderson, G.C.; Fattor, J.A.; Horning, M.A.; Faghihnia, N.; Johnson, M.L.; Mau, T.L.; Luke-Zeitoun, M.; Brooks, G.A. (2007). "Lipolysis and fatty acid metabolism in men and women during the postexercise recovery period". J Physiol 584: 963–981.

31. Thompson, D.L.; Townsend, K.M.; Boughey, R.; Patterson, K.; Bassett, D.R. (1998). "Substrate use during and following moderate- and low-intensity exercise: Implications for weight control". Eur J Appl Physiol, 78: 43-49.

32. Mittendorfer, B.; Horowitz, J.F.; Klein, S. (2002). "Effect of gender on lipid kinetics during moderate intensity endurance exercise in untrained subjects". Am J Physiol. 283: E58–E65.

33. Arner, P.; Kriegholm, E.; Engfeldt, P.; Bolinder, J. (1990). "Adrenergic regulation of lipolysis in situ at rest and during exercise". J Clin Invest. 85: 893–898.

34. Robergs, R.A.; Roberts, S.O. (1997). Exercise physiology: Exercise, performance, and clinical application. Boston: WCB McGraw-Hill.

35. Ashley, C.D.; Kramer, M.L.; Bishop, P. (2000). "Estrogen and substrate metabolism". Sports Med 29: 221-227.

36. Sedlock, D.A. (1991). "Effect of exercise intensity on postexercise energy expenditure in women". Br J Sp Med, 25: 221-223.

37. Steffan, H.G.; Elliott, W.; Miller, W.C.; Fernhall, B. (1999). "Substrate utilization during submaximal exercise in obese and normal-weight women". Eur J Appl Physiol, 80: 233-239.

www.SID.ir

Archive of SID