

مقایسه میزان اکسایش چربی در دامنه شدت‌های فعالیت دویدن دانشجویان پسر غیرورزشکار

۱۲۱

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۱۶
تاریخ تصویب: ۸۷/۳/۱۰

❖ هادی روحانی؛ کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش دانشگاه گیلان*
❖ دکتر ارسلان دمیرچی؛ استادیار دانشگاه گیلان
❖❖ دکتر صادق حسن‌نیا؛ استادیار گروه بیوشیمی دانشگاه گیلان
❖❖❖ زهرا روحانی؛ دانشجوی کارشناسی ناپیوسته تربیت بدنی و علوم ورزشی مرکز تربیت معلم نسبیبه

چکیده:

هدف تحقیق حاضر عبارت است از مقایسه میزان اکسایش چربی در دامنه‌ای از شدت‌های مختلف فعالیت دویدن تا شدتی از فعالیت بدنی (Fat_{max}) با حداکثر اکسایش چربی (MFO). ۱۵ دانشجوی غیر ورزشکار دانشگاه گیلان با سن 21.3 ± 2.2 سال، وزن 71.0 ± 8.3 کیلوگرم، قد 172.5 ± 4.1 سانتی‌متر، $BMI 23 \pm 1.3$ کیلوگرم بر مترمربع، چربی بدن 18.3 ± 4.6 درصد، و $VO_{2max} 38.8 \pm 4.2$ ml/kg/min، فعالیت دوی فزاینده‌ای با مراحل ۳ دقیقه‌ای را روی نوارگردان اجرا کردند. در طول آزمون با استفاده از روش کالری‌سنجی غیرمستقیم میزان اکسایش چربی محاسبه شد. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی، میزان اکسایش چربی در ۷ سطح از شدت فعالیت مقایسه شدند. نتایج آزمون در هر نفر به منظور رسم نیمرخ شدت فعالیت-اکسایش چربی به کار رفت.

نتایج تحقیق نشان داد شدت Fat_{max} برابر است با 40.6 ± 8.3 درصد VO_{2max} معادل 52.3 ± 8.0 درصد ضربان قلب بیشینه افراد. محدوده Fat_{max} در دامنه 31.8 ± 5.3 و 46 ± 8.0 درصد VO_{2max} قرار داشت. سهم اکسایش چربی در تأمین انرژی مصرفی با شدت 84.9 ± 12.2 درصد VO_{2max} مطابق با 90.1 ± 5.5 درصد ضربان قلب بیشینه ناچیز است. به علاوه دامنه بین 49.6 ± 6.5 و 58.6 ± 9.5 درصد ضربان قلب بیشینه در محدوده Fat_{max} قرار دارد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد با افزایش شدت فعالیت دویدن، میزان اکسایش چربی نیز تا حداکثر مقدار آن در شدت Fat_{max} بالا می‌رود. با این حال، در شدت‌های بالاتر از Fat_{max} ، میزان آن افت می‌یابد.

واژگان کلیدی: شدت فعالیت، حداکثر اکسایش چربی (MFO)، Fat_{max} ، محدوده Fat_{max} .

* E.mail: h_rohani7@yahoo.com

مقدمه

چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها از منابع اصلی انرژی مورد استفاده هنگام استراحت، فعالیت ورزشی، و تمرین به شمار می‌روند که با توجه به مدت، شدت، و نوع فعالیت ورزشی، میزان آمادگی بدنی، ترکیب غذای مصرف شده در روزهای پیش از فعالیت ورزشی، شرایط محیطی و مصرف مکمل‌ها بر دیگری پیشی می‌گیرند (۱۶، ۲۳، ۳۰، ۳۲). با افزایش شدت فعالیت، نوع ماده اولیه سوختی و مصرف آن تغییر می‌یابد (۲۸). سهم نسبی اکسایش کربوهیدرات در تأمین انرژی افزایشی تصاعدی دارد و به تناسب آن سهم نسبی اکسایش چربی در تأمین انرژی مصرفی کاهش می‌یابد، هر چند با افزایش شدت فعالیت از کم به متوسط، میزان مطلق اکسایش چربی افزایش و با بالاتر رفتن شدت فعالیت کاهش می‌یابد (۹، ۲۶، ۲۸، ۳۶).

سازوکارهای مختلفی پیشنهاد شده است که پایین بودن میزان اکسایش چربی در شدت‌های بالاتر فعالیت نسبت به شدت‌های پایین‌تر را توجیه می‌کند. اکسایش اسید چرب در جریان فعالیت بدنی، ممکن است به واسطه در دسترس بودن اسیدهای چرب آزاد پلاسما تا حد زیادی کنترل شود (۱۰، ۲۶). همچنین، در سطح بافت عضله، ورود اسید CoA چرب به داخل میتوکندری، مرحله‌ای در محدود ساختن میزان اکسایش چربی است (۷، ۱۰). افزایش متابولیسم چربی، به روش‌های گوناگون در کاهش علائم بیماری‌های متابولیک مثل چاقی و دیابت نوع دو نقش بالقوه دارد (۳، ۳۲) یا سبب کاهش عامل‌های خطرزای قلبی-عروقی می‌شود (۵). درمان وضعیتی‌هایی مانند اضافه وزن و چاقی برای افراد، همچنین متخصصان سلامت مهم است (۳۹). احتمالاً یکی از مهم‌ترین روش‌ها در این گونه

درمان‌ها، فعالیت‌های منظم ورزشی است که انرژی مصرفی روزانه و اکسایش چربی را افزایش می‌دهند. به علاوه، پس از تمرینات استقامتی، اکسایش چربی در ورزشکاران در شدت معینی افزایش می‌یابد که با بهبود عملکرد همراه است (۱۸، ۱۹). این مشاهدات نشان می‌دهند توانایی در سوزاندن اسیدهای چرب با بهبودی عملکرد در ارتباط است. این تغییرات احتمالاً به افزایش کلی ظرفیت هوازی می‌انجامد (۲۵).

به طور کلی، بالاترین میزان اکسایش چربی در شدت‌های کم تا متوسط (دامنه ۳۵-۶۵ درصد max VO_2) گزارش شده است (۴، ۶، ۸، ۱۵، ۲۱، ۲۶، ۳۶-۳۸). اگرچه بیشتر مطالعات، روند اکسایش چربی را فقط در دو سطح از شدت کار (۴، ۸، ۱۵، ۲۶، ۳۸، ۳۹)، سه شدت (۳۶، ۳۷) یا چهار شدت کار (۶، ۲۱) مختلف اندازه‌گیری کرده‌اند. با این حال، تعیین دقیق شدتی از فعالیت که بیشترین اکسایش چربی در آن اتفاق می‌افتد مشکل است. آچتن و همکارانش (۲، ۱) در مطالعات خود پروتکلی را به کار گرفتند که در آن اکسایش چربی در دامنه‌ای از شدت‌های فعالیت اندازه‌گیری می‌شد. پس از آن، این پروتکل در مطالعات متعدد به کار گرفته شد تا شدت فعالیت مطابق با حداکثر اکسایش چربی در گروه‌های مختلف به دست آید. از این رو، هدف این تحقیق عبارت است از مقایسه میزان اکسایش چربی دانشجویان پسر غیرورزشکار و تعیین دامنه‌ای از شدت فعالیت که در آن بیشترین میزان روند اکسایش چربی اتفاق می‌افتد.

روش شناسی

۱۵ دانشجوی غیرورزشکار به شیوه تصادفی

هدف از بخش آخر آزمون، اندازه‌گیری VO_{2max} بود. در طول آزمون با استفاده از دستگاه گاز آنالایزر (Cosmed Co., Quark b2, Rome, Italy) حجم اکسیژن مصرفی و دی‌اکسید کربن دفعی به شیوه‌ی نفَس به نفَس اندازه‌گیری و با نرم‌افزار در کامپیوتر ثبت می‌شد. ضربان قلب نیز با استفاده از ضربان‌سنج پلار در طول آزمون اندازه‌گیری و ثبت شد.

میانگین VO_2 و VCO_2 در ۲ دقیقه پایانی هر مرحله محاسبه شد. سپس با این فرض که میزان نیتروژن اداری ناچیز است با استفاده از معادلات عنصرسنجی^۱ (۱۴) که در زیر آمده است میزان اکسایش چربی و کربوهیدرات محاسبه شد.

$$VO_2 \times 1,701 - VCO_2 \times 1,695 = \text{میزان اکسایش چربی (g/min)}$$

$$VO_2 \times 3,226 - VCO_2 \times 4,585 = \text{میزان اکسایش کربوهیدرات (g/min)}$$

سپس با ترسیم نمودار اکسایش چربی- شدت فعالیت (براساس VO_2 و HR) در هر فرد، شاخص‌های زیر تعیین شد:

Fat_{max} : شدتی از فعالیت است که بیشترین اکسایش چربی مشاهده شده است.

Fat_{min} : شدتی از فعالیت است که اکسایش چربی در آن شدت به صفر می‌رسد و انرژی مورد نیاز فعالیت صرفاً از دستگاه‌های بی‌هوازی و مصرف خالص کربوهیدرات تأمین می‌شود (یعنی جایی که $RER=1$).

محدوده Fat_{max} : دامنه‌ای از شدت فعالیت است که میزان اکسایش چربی در این دامنه تا ۱۰ درصد پایین‌تر از مقدار حداکثر اکسایش چربی

هدفدار انتخاب شدند. شرکت‌کنندگان پس از پرکردن فرم رضایت‌نامه و آشنا شدن با طرح تحقیق، آمادگی خود را اعلام کردند. آزمودنی‌ها براساس محتوای پرسش‌نامه طی ۲ سال گذشته تمرینات منظم نداشتند و سالم و غیرورزشکار بودند. شرکت‌کنندگان یک آزمون فزاینده‌ی دویدن را تا سر حد خستگی روی نوارگردان اجرا کردند (۱). نتایج این آزمون برای اندازه‌گیری اکسایش چربی در دامنه‌ی شدت‌های مختلف فعالیت در هر آزمودنی استفاده شد. میزان اکسایش چربی در هر نفر روی نمودار متناسب با شدت فعالیت ترسیم شد تا نمودار اکسایش چربی به دست آمد.

اکسیژن مصرفی بیشینه و حداکثر اکسایش چربی طی اجرای آزمون فعالیت فزاینده تعیین شدند (۱). آزمون برای همه افراد در ساعت ۱۰-۱۱ صبح اجرا شد. آزمودنی‌ها همگی از دانشجویان خوابگاهی بودند که از برنامه غذایی دانشگاه استفاده می‌کردند. همچنین، از آن‌ها خواسته شد تا در شب قبل از اجرای آزمون ناشتا باشند.

قد و وزن افراد اندازه‌گیری و درصد چربی آن‌ها با استفاده از روش مقاومت بیوالکتریکی ($Inbody 3,0$) برآورد شد (۱۱). سپس، آزمون فعالیت دوی فزاینده با مراحل ۳ دقیقه‌ای روی نوارگردان اجرا شد. مشخصه این پروتکل به این صورت بود که ابتدا فعالیت دو با سرعت ۳/۵ km/h و با شیب ۱ درصد شروع می‌شد. در هر ۳ دقیقه سرعت دستگاه به میزان ۱ km/h افزوده می‌شد تا زمانی که به سرعت ۷/۵ km/h برسد. پس از آن هر ۳ دقیقه سرعت ثابت بود و بر شیب دستگاه به اندازه ۲ درصد افزوده می‌شد تا زمانی که $RER=1$ شود. پس از آن تا زمان رسیدن به سرحد خستگی، سرعت و شیب به‌طور هم‌زمان در هر مرحله افزوده می‌شد (۱).

1. Stoichiometry equations

2. Fatmax zone

قرار دارد (۱).

جدول ۱. اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها

انحراف معیار ±	خصوصیات
۲۱٫۳ ± ۲٫۲	سن (سال)
۷۱٫۰ ± ۸٫۳	وزن (کیلوگرم)
۱۷۲٫۵ ± ۴٫۱	قد (سانتی‌متر)
۲۳ ± ۱٫۳	BMI (kg/m ²)
۱۸٫۳ ± ۴٫۶	نسبت چربی بدن (درصد)
۳۸٫۸ ± ۴٫۲	VO ₂ max (ml/kg/min)

در روش آماری تحقیق، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار دستگاه گاز آنالایزر (Quark b2 7.5) به صورت استاندارد برای همه آزمودنی‌ها فیلترینگ شد. برای یافتن نقطه Fat_{max} و Fat_{min} روی منحنی اکسایش چربی - اکسیژن مصرفی نیز از همان نرم‌افزار استفاده شد. سپس تمامی داده‌ها به محیط نرم‌افزار اکسل انتقال یافت. برای مقایسه میزان اکسایش چربی در شدت‌های مختلف فعالیت از آزمون آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. محاسبات آماری در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۳ و در سطح $P \leq 0.05$ انجام گرفت.

یافته‌ها

در جدول ۱ اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها آمده است.

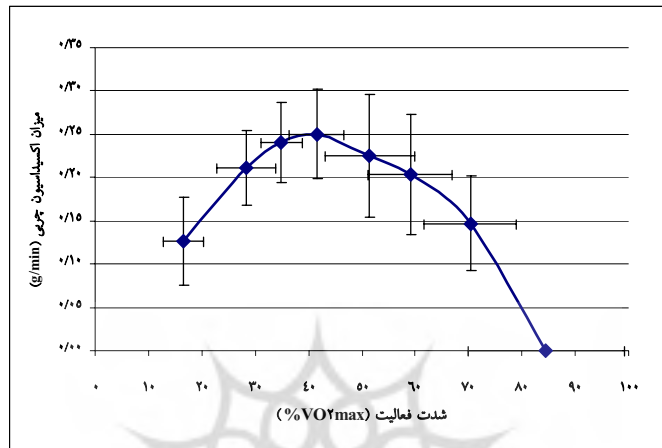
تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد میزان اکسایش چربی در شدت‌های مختلف فعالیت تفاوت معناداری دارد ($P = 0.001$) و ($F = 18.51$). در جدول ۲ شدت‌های به دست آمده از پروتکل نوارگردان و میزان اکسایش چربی و کربوهیدرات آمده است. همچنین، میزان اکسایش کربوهیدرات بین همه شدت‌های فعالیت تفاوت معنادار داشت ($P = 0.001$ و $F = 99.58$).

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار میزان اکسایش چربی در شدت‌های گوناگون فعالیت دویدن روی نوارگردان

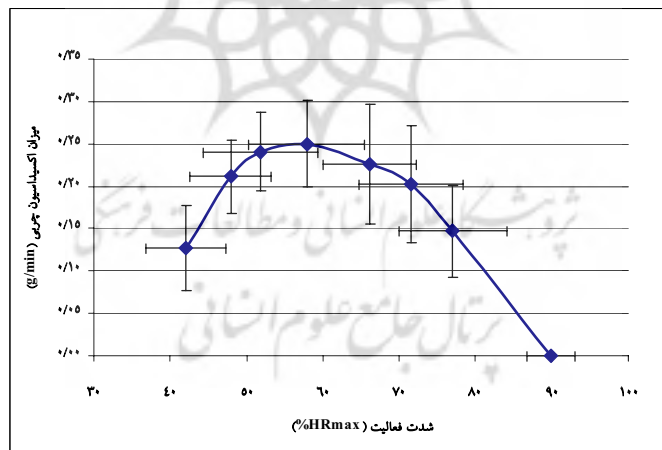
نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی							میزان اکسایش چربی (g/min)	میزان اکسایش کربوهیدرات † (g/min)	شدت فعالیت (%VO ₂ max)	مرحله پروتکل نوارگردان
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷				
	*	*	*	*			۰٫۱۲ ± ۰٫۰۶	۰٫۱ ± ۰٫۰۹	۱۸٫۲ ± ۸٫۳	۱
*				*	*		۰٫۲۱ ± ۰٫۰۶	۰٫۱۵ ± ۰٫۱۳	۲۹٫۳ ± ۶٫۲	۲
*					*	*	۰٫۲۳ ± ۰٫۰۷	۰٫۲۳ ± ۰٫۱۶	۳۳٫۲ ± ۵٫۵	۳
*					*	*	۰٫۲۴ ± ۰٫۰۸	۰٫۳۸ ± ۰٫۱۷	۴۱٫۱ ± ۷٫۷	۴
*	*				*	*	۰٫۲۲ ± ۰٫۱۲	۰٫۶۸ ± ۰٫۲۷	۵۱٫۲ ± ۷٫۹	۵
						*	۰٫۲۰ ± ۰٫۱۲	۰٫۹۲ ± ۰٫۳۵	۵۸٫۸ ± ۹٫۳	۶
	*	*	*	*			۰٫۱۳ ± ۰٫۰۷	۱٫۳۳ ± ۰٫۳۹	۶۸٫۹ ± ۷٫۶	۷

* اختلاف معنادار میانگین میزان اکسایش چربی بین شدت‌ها ($P \leq 0.05$)
 † میانگین اکسایش کربوهیدرات بین همه شدت‌های فعالیت معنادار است ($P \leq 0.05$).

در شکل ۱ رابطه اکسایش چربی و شدت فعالیت دویدن (درصد VO_{2max}) نشان داده شده است. با افزایش شدت فعالیت، اکسایش چربی تا حداکثر مقدار خود در شدت $40,4 \pm 8,8$ درصد VO_{2max} (دامنه ۳۶-۵۲ درصد) رسید که متناسب با $52,3 \pm 8,0$ درصد ضربان قلب بیشینه بود (شکل ۲).



شکل ۱. نیمرخ تغییرات اکسایش چربی در شدت‌های مختلف فعالیت دویدن (VO_{2max})



شکل ۲. میزان اکسیداسیون چربی در شدت‌های مختلف فعالیت (HR_{max})

یک پروتکل فعالیت فزاینده با مراحل ۳ دقیقه‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد Fat_{max} در شدت 40.4 ± 8.8 درصد VO_{2max} روی می‌دهد که متناسب با 52.3 ± 8.0 درصد ضربان قلب بیشینه است. علاوه بر این، محدوده Fat_{max} که در فاصله ۱۰ درصد از مقدار حداکثر اکسایش چربی در Fat_{max} قرار دارد تعیین گردید. نتایج نشان داد میزان اکسایش چربی در دامنه ۱۰ درصد از حداکثر مقدار آن در شدت‌های بین 31.8 ± 5.3 و 46.0 ± 8.0 درصد VO_{2max} یا بین 49.6 ± 6.5 و 58.4 ± 9.5 درصد ضربان قلب بیشینه قرار دارد.

مقدار مطلق اکسایش چربی به مصرف کربوهیدرات بستگی دارد. این نکته در گزارش‌های علمی متعدد عنوان شده است، به طوری که مصرف کربوهیدرات در ساعات قبل از فعالیت بدنی، میزان اکسایش چربی را به مراتب کاهش می‌دهد (۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۷، ۲۰، ۴۳). بنابراین، برای جلوگیری از افت روند اکسایش چربی ناشی از مصرف کربوهیدرات، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا ۱۰ تا ۱۲ ساعت ناشتا باشند.

محدوده Fat_{max} نیز در فاصله 6.9 ± 3.3 - درصد تا 7.3 ± 6.1 درصد از شدت Fat_{max} قرار داشت که به ترتیب معادل 31.8 ± 5.3 و 46.0 ± 8.0 درصد VO_{2max} و 49.6 ± 6.5 و 58.4 ± 9.5 درصد ضربان قلب بیشینه بود.

همچنین، سهم نسبی اکسایش چربی در تأمین انرژی مصرفی هنگام فعالیت دویدن در شدت بالاتر از 84.9 ± 12.2 درصد VO_{2max} و 90.1 ± 5.5 درصد ضربان قلب بیشینه به صفر رسید. در جدول ۳ مقادیر محدوده Fat_{max} براساس VO_{2max} و HR_{max} آمده است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق عبارت است از مقایسه میزان اکسایش چربی در محدوده‌ای از شدت‌های فعالیت، همچنین تعیین شدتی از فعالیت که بیشترین اکسایش چربی در آن اتفاق می‌افتد و با اصطلاح Fat_{max} مشخص می‌شود. مطالعات زیادی، حداکثر اکسیداسیون چربی را در شدت‌های بین ۲۵ تا ۸۵ درصد VO_{2max} گزارش کرده‌اند (۳۶)، اما مطالعات کمتری در دسترس است که Fat_{max} را به طور دقیق نشان دهد.

در این تحقیق، مشابه تحقیقات دیگر (۱، ۲)، از

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار محدوده Fat_{min} و Fat_{max}

شدت فعالیت			میزان اکسایش چربی (g/min)	حد پایین	محدوده Fat_{max}
HR (bpm)	%HRmax	% VO_{2max}			
97.9 ± 12.8	49.6 ± 6.5	31.8 ± 5.3	0.28 ± 0.07	Fat_{max}	حد بالا
103.3 ± 15.8	52.3 ± 8.0	40.4 ± 8.3	0.31 ± 0.08		
117 ± 15.8	58.4 ± 9.5	46.0 ± 8.0	0.28 ± 0.07		
177 ± 10.5	90.1 ± 5.5	84.9 ± 12.2			Fat_{min}

شدت‌های فعالیت را در تحقیق خود استفاده کرده‌اند، تعیین Fat_{max} نمی‌تواند بسیار دقیق باشد. استفاده از پروتکل فعالیت دوی فزاینده، Fat_{max} را تحت تأثیر عوامل زیادی قرار می‌دهد. به بیان دیگر، Fat_{max} نه فقط به توانایی متابولیک فرد در سوزاندن اسیدهای چرب بستگی دارد، بلکه به روش‌های مورد استفاده در تعیین Fat_{max} نیز بستگی دارد. یک مشکل عمده در آزمون‌های فعالیت فزاینده این است که مصرف سوئسترا در مراحل بعدی آزمون تحت تأثیر شدت‌های فعالیت در مراحل قبلی آزمون قرار می‌گیرد. مشکل دیگر که مهم‌تر است، مدت اجرای فعالیت تحت هر شدت کار است، زیرا سهم چربی در تأمین انرژی هنگامی که فعالیت برای مدت طولانی انجام می‌گیرد افزایش می‌یابد (۲۷، ۳۳، ۴۲).

در همین رابطه ریو و همکارانش (۳۴) در سال ۱۹۸۹ نشان دادند مقادیر اکسیژن مصرفی، دی‌اکسید کربن دفعی و میزان تهویه به‌دست آمده در هر مرحله از آزمون فعالیت فزاینده با مقادیری که به هنگام فعالیت به مدت طولانی در همان شدت ثابت به‌دست آمد یکسان است (۳۴).

نتیجه‌گیری. نتایج به‌دست آمده خاطر نشان می‌کند احتمالاً فعالیت دوی در محدوده ۳۱ تا ۴۶ درصد VO_{2max} مطابق با میانگین ضربان قلب ۹۸ تا ۱۱۷ ضربه در دقیقه در افراد غیر ورزشکار برای استفاده از برنامه‌های کاهش یا کنترل وزن سودمند است. تعیین این محدوده در ورزشکاران و دیگر افراد به‌ویژه افراد چاق نیز به تنظیم برنامه‌های تمرینی آنان کمک می‌کند.

رامجین و همکارانش (۳۶) مصرف سوئسترا را در ۳ شدت مختلف فعالیت (۲۵، ۶۵ و ۸۵ درصد VO_{2max}) بررسی کردند. ۵ آزمودنی مرد، ۳ وهله فعالیت را در روزهای متوالی اجرا کردند. اکسایش چربی از ۲۵ تا ۶۵ درصد VO_{2max} یعنی از شدت کم تا متوسط افزایش یافت و دوباره در شدت زیاد یعنی ۸۵ درصد VO_{2max} کاهش یافت. به نظر می‌رسد متابولیسم درون سلولی از آستانه لاکنات فراتر می‌رود. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد میزان اکسایش چربی از شدت کم تا متوسط روند صعودی دارد، اما در شدت‌های بالاتر کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه این محققان فقط در ۳ شدت از فعالیت (کم، متوسط، زیاد) اکسایش چربی را بررسی کرده‌اند، نمی‌توان به نتایج آن استناد کرد که نقطه دقیق Fat_{max} در چه شدتی بوده است.

برگمن و بروکس^۱ (۶) هفت مرد ورزشکار و هفت مرد تمرین نکرده را در شدت‌های ۲۲، ۴۰، ۵۹ و ۷۵ درصد VO_{2max} پس از ناشتایی شبانه به فعالیت واداشتند. حداکثر میزان اکسیداسیون چربی در مردان تمرین کرده در ۴۰ درصد VO_{2max} مشاهده شد، در عوض در گروه مردان تمرین نکرده بیشترین مقدار اکسیداسیون چربی در شدت ۵۹ درصد VO_{2max} به‌دست آمد.

لازم به ذکر است که میزان اکسیداسیون چربی در همه شدت‌های فعالیت در گروه تمرین کرده بیشتر از گروه تمرین نکرده بود. حتی بیشترین میزان اکسیداسیون چربی در گروه تمرین نکرده که در شدت ۵۹ درصد VO_{2max} به‌دست آمده بود پایین‌تر از مقادیر اکسیداسیون چربی گروه تمرین کرده در شدت‌های ۲۲، ۴۰ و ۵۹ درصد VO_{2max} بود. به دلیل اینکه مطالعات فوق، تعداد کمی از

1. Bergman and Brooks

منابع

1. Achten, J., Gleeson, M., Jeukendrup, A. E. (2002). "Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation". *Med Sci Sports Exerc.* 34(1):92-7.
2. Achten, J., Jeukendrup, A. E. (2003). "Maximal fat oxidation during exercise in trained man". *Int J Sports Med.* 24(8):603-8.
3. Achten, J., Jeukendrup, A. E. (2004). "Optimizing fat oxidation through exercise and diet". *Nutr.* 20 (7-8):716-27.
4. Arons, P. M., Sowash, J., and Anderes, F. F. (1997). "Fat oxidation at varied work intensities using different exercise modes". *Med. Sci. Sport Exerc.* 29:S199.
5. Askew, E. W. (1984). "Role of fat metabolism in exercise". *Clin Sports Med.* 3(3):605-21.
6. Bergman, B. C., and Brooks, G. A. (1999). "Respiratory gas-exchange ratio during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men". *J. Appl. Physiol.* 86:479-487.
7. Bishop, D., Jenkins, D. G., and Mackinnon, L. T. (1998). "The effect of stage duration on the calculation of peak $\dot{V}O_2$ during cycle ergometry". *J. Sci. Med. Sport.* 1:171-178.
8. Broeder, C. E., Brenner, M., Hofman, Z., Pajmans, I. J. M., Thomas, E. L., and Wilmore, J. H. (1991). "The metabolic consequences of low and moderate intensity exercise with or without feeding in lean and borderline obese males". *Int. J. Obes.* 15:95-104.
9. Brooks, G. A. (1998). "Mammalian fuel utilization during sustained exercise". *Comp. Biochem. Physiol.* 120:89-107.
10. Coyle, E. F., Jeukendrup, A. E., Wagenmakers, A. J., and Saris, W. H. M. (1997). "Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise". *Am. J. Physiol.* 273:E268-E275.
11. Dumortier M., Perez-Martin A., 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 (Paris)*, 27, 466-474.
12. Febbraio, M. A. and Stewart, K. L. (1996). "CHO feeding before prolonged exercise: effect of glycemic index on muscle glycogenolysis and exercise performance". *J Appl Physiol.* 81: 1115-1120.
13. Fielding, R., Costill, D., Fink, W. K., Kovaleski, D. S. J., Kirwan, J. (1987). "Effects of pre-exercise carbohydrate feedings on muscle glycogen use during exercise in well-trained runners". *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 56(2): 225-9.
14. Frayn, K. N. (1983). "Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange". *J Appl Physiol* 55: 628-634.
15. Friedlander, A. L., Casazza, G. A., Horning, M. A., Buddinger, T. F., and Brooks, G. A. (1998). "Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women". *Am J Physiol Endocrinol Metab* 275: E853-E863.
16. Gibney, M. J., Macdonald, I. A., Roche, H. M. (2003). *Nutrition and Metabolism.* Blacwell publishing.
17. Gleeson, M., Maughan, R., Greenhaff, P. (1986). "Comparison of the effects of pre-exercise feedings of glucose, glycerol and placebo on endurance and fuel homeostasis". *Eur. J. Appl. Physiol.* 55:645-655.
18. Hickson, R. C., Rennie, M. J., Conlee, R. K., Winder, W. W. and Holloszy, J. O. (1977). "Effects of increased plasma fatty acids on glycogen utilization and endurance". *J Appl Physiol.* 43: 829-833.
19. Holloszy, J. O. and Coyle, E. F. (1984). "Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences". *J Appl Physiol.* 56: 831-838.
20. Horowitz, J. F., Mora-Rodriguez R., Byerley, L. O., and Coyle, E. F. (1997). "Lipolytic suppression following carbohydrate ingestion limits fat oxidation during exercise". *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 273: E768-E775.

21. Howley, E. T., Duncan, G. E., Del Corral, P. (1997). "Optimum intensity for fat oxidation". *Med Sci Sport Exerc.* 29:S199.
22. Jeukendrup, A. E. (1999). "Dietary fat and physical performance". Review Article. *Curr. Opin. Clin. Nutr.* 2(6):521-526.
23. Jeukendrup, A. E. and Gleeson, M. (2004). *Sport Nutrition. Human Kinetics.*
24. Jeukendrup, A. E., Saris, W. H. M. and Wagenmakers, A. J. M. (1998). "Fat metabolism during exercise: a review. Part I: fat mobilization and muscle metabolism". *Int J Sports Med.* 19:231-44.
25. Jeukendrup, A. E., Saris, W. H., Wagenmakers, A. J. (1998). "Fat metabolism during exercise: a review-part II: regulation of metabolism and the effects of training". *Int J Sports Med.* 19(5):293-302.
26. Jones, N. L., Heigenhauser, G. J., Kuksis, A., Matsos, C. G., Sutton, J. R., Toews, C. J. (1980). "Fat metabolism in heavy exercise". *Clin Sci (Lond).* 59(6):469-478.
27. Klein, S., Coyle, E. F. and Wolfe, R. R. (1994). "Fat metabolism during low-intensity exercise in endurance-trained and untrained men". *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 267: E934-E940.
28. Martin, W. H., Klein, S. (1998). "Use of endogenous carbohydrate and fat as fuels during exercise". *Proc. Nutr. Soc.* 57:49-54.
29. Meyer, T., Gabriel, H., Kindermann, W. (1999). "Is determination of exercise intensities as percentages of VO₂max or HRmax adequate?" *Med Sci Sports Exerc.* 31:1342-1345.
30. Mogues, V. (2006). *Exercise Biochemistry. Human Kinetics.*
31. Moseley, L., and Jeukendrup, A. E. (2001). "The reliability of cycling efficiency". *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(4):621-627.
32. Powers, S. K., and Howley, E. T. (2001). *Exercise Physiology (Theory and application to fitness and performance).* McGraw Hill.
33. Ravussin, E., Bogardus, C., Scheidegger, K., LaGrange, B., Horton, E. D. and Horton, E. S. (1986). "Effect of elevated FFA on carbohydrate and lipid oxidation during prolonged exercise in humans". *J Appl Physiol* 60: 893-900.
34. Rieu, M., Miladi, J., Ferry, A. And Duvallet, A. (1989). "Blood lactate during submaximal exercises". *Eur. J. Appl. Physiol.* 59:73-79.
35. Robergs, R. A., Chwalbinska-Moneta, J., Mitchell, J. B., Pascoe, D. D., Houmard, J., Costill, D. L. (1990). "Blood lactate threshold differences between arterialized and venous blood". *Int. J. Sports Med.* 11:446-451.
36. 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 and duration". *Am J Physiol.* 265(3 Pt 1):E380-91.
37. Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Rosenblatt, J. and Wolfe, R. R. (2000). "Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women". *J Appl Physiol.* 88: 1707-1714.
38. Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Klein, S. and Wolfe, R. R. (1997). "Regulation of plasma fatty acid oxidation during low- and high-intensity exercise". *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 272: E1065-E1070.
39. 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 Occup Physiol.* 78(1): 43-9.
40. Weltman, A., Snead, D., Seip, R., et al. (1990). "Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve, and Vo₂max for determining endurance training intensity in male runners". *Int. J. Sports Med.* 11:218-222.
41. Weltman, A., Snead, D., Stein, P., Et Al. (1990) "Reliability And Validity Of Continuous Incremental Treadmill Protocol For The Determination Of Lactate Threshold, Fixed Blood Lactate Concentrations And Vo₂max". *Int J Sports Med.* 11: 26-32.

42. Wolfe, R. R., Klein, S., Carraro, F. and Weber, J. M. (1990). "Role of triglyceride-fatty acid cycle in controlling fat metabolism in humans during and after exercise". *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 258: E382-E389.
43. Wright, D. A., Sherman, W. M. and Dernbach, A. R. (1991). "Carbohydrate feedings before, during, or in combination improve cycling endurance performance". *J Appl Physiol.* 71: 1082-1088.

