

تأثیر زمان روز بر سوخت و ساز چربی در طی فعالیت بدنی زیر بیشینه و دوره بازیافت

دکتر مینو باسامی^۱، دکتر سجاد احمدی زاده^۲، دان مکلارن^۳

۱. عضو هیئت علمی پژوهشکده تربیت بدنی

۲. استادیار دانشگاه شهید بهشتی

۳. پروفیسور تغذیه ورزش دانشگاه جان مورس انگلستان

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۸/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۶/۱۱

چکیده

هدف تحقیق حاضر، بررسی تأثیر زمان روز بر شاخص‌های سوخت و ساز چربی در زمان استراحت و در پاسخ به فعالیت بدنی زیر بیشینه و دوره بازیافت (ریکاوری) بوده است. در این پژوهش، تعداد ۹ مرد سالم با (میانگین \pm انحراف معیار، سن 26 ± 5 سال، وزن $74 \pm 5/9$ کیلوگرم و قد $177/4 \pm 4/6$ سانتی‌متر) در دو روز مجزا و با فاصله سه روز، دو جلسه دویدن با شدت ۶۵ درصد اکسیژن مصرفی اوج را برای مدت ۴۵ دقیقه روی نوارگردان در صبح (ساعت ۸) و بعد از ظهر (ساعت ۲۰) اجرا کردند. ضربان قلب در طی دوره فعالیت ثبت شد و سه نمونه خونی سیاهرگی قبل از فعالیت، سریعاً بعد از فعالیت و بعد از ۳۰ دقیقه بازیافت غیر فعال گرفته شد. نمونه‌های خونی برای اندازه‌گیری اسید چرب آزاد استریفیه نشده (NEFA)، گلیسرول، بتا هیدروکسی بوتیرات، لاکتات و گلوکز تجزیه و تحلیل شدند. مقدار سوخت و ساز چربی و کربوهیدرات برای دوره‌های ۵ دقیقه‌ای در قبل از فعالیت بدنی، سریعاً بعد از فعالیت و ۵ دقیقه آخر دوره بازیافت با استفاده از VO_2 و VC_{O_2} به‌دست آمده از گازهای تنفسی محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که غلظت گلیسرول و NEFA در هر دو جلسه صبح و بعد از ظهر بعد از ۴۵ دقیقه دویدن افزایش معنی‌داری ($P < 0/05$) داشت و در پایان دوره بازیافت به سطح قبل از ورزش بازگشت. بتا هیدروکسی بوتیرات در طی فعالیت زیر بیشینه، تغییر معنی‌داری نداشت اما در طی دوره بازیافت دارای افزایش معنی‌داری بود. بین مقادیر استراحتی تمامی شاخص‌ها به استثنای NEFA در صبح و بعد از ظهر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. غلظت استراحتی NEFA در بعد از ظهر به‌طور معنی‌داری ($P < 0/05$) بالاتر از صبح بود. با این حال، زمان روز بر پاسخ شاخص‌های متابولیکی خون به ورزش تأثیر معنی‌داری نداشت. میزان سوخت کربوهیدرات به‌طور معنی‌داری در ۵ دقیقه بعد از ورزش بالاتر از داده‌های قبل از ورزش بود و همچنین در طی دوره بازیافت، کاهش داشت، در حالی

که سوخت چربی در طی ورزش بدون تغییر، و در دوره باز یافت، افزایش نشان داد. تفاوت معنی داری بین سوخت چربی و کربوهیدرات در زمان استراحت و در پاسخ به ورزش در دو جلسه صبح و بعد از ظهر مشاهده نشد. بر اساس یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که زمان روز بر پاسخ شاخص‌های سوخت‌وساز چربی به ورزش زیر بیشینه در مردان تأثیری ندارد و تغییرات این شاخص‌ها در طی فعالیت زیر بیشینه، وابسته به زمان روز نمی‌باشد.

کلیدواژه‌های فارسی: زمان روز، فعالیت بدنی، اسید چرب آزاد استریفیه نشده، گلیسرول، سوخت چربی، سوخت کربوهیدرات.

مقدمه

ریتم‌های زیست-شناختی، به‌عنوان تغییرات چرخه‌هایی که در یک دوره زمانی خاص به‌طور منظم وجود دارد، تعریف شده‌اند و با فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط هستند (۱). سازوکارهایی در پستانداران وجود دارند که به‌وسیله آنها محرک محیطی چرخه‌ای می‌تواند ساعت شبانه‌روزی را هر روز برای تضمین هماهنگی ریتم‌هایشان با ساعت محلی تنظیم کند (۲). اعتقاد بر این است منبع این ریتم‌ها از ساختارهای متنوع مغزی منشأ گرفته‌اند که آنها را اصطلاحاً ریتم‌های درون‌زا می‌نامند (۳). با آگاهی به اینکه ریتم‌های شبانه‌روزی شاخص‌های خونی، ممکن است کاربردهای تشخیصی در طب بالینی داشته باشند و با دانش به اثرات ریتم شبانه‌روزی بر اجرای ورزشی، انجام تحقیقی که اثر زمان روز بر شاخص‌های چربی خون در استراحت و در پاسخ به ورزش را بررسی کند، می‌تواند اطلاعات با ارزشی را برای هر دو حیطة پزشکی و داروشناسی و همچنین علوم ورزشی فراهم کند.

گلیکوزن عضله، گلوکز خون، اسیدهای چرب آزاد پلازما و تری‌گلیسرید درون عضلانی، چهار منبع اصلی انرژی در طی ورزش هستند (۴). تری‌گلیسرید ذخیره شده در سلول‌های چربی می‌تواند به گلیسرول و اسیدهای چرب تجزیه شود و اسیدهای چرب باید برای انتقال از طریق گردش خون به عضلات فعال به آلبومین متصل شوند (۵). ترکیبات دیگر مرتبط با چربی مانند گلیسرول و اجسام کتونی هم می‌توانند به‌عنوان یک منبع سوختی، در طی ورزش عمل کنند، اگرچه مشارکت‌شان عموماً بسیار ناچیز پنداشته شده است (۶، ۷).

تحقیقات اندکی اثرات زمان روز بر شاخص‌های چربی خون را در زمان استراحت مورد بررسی قرار داده‌اند (۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲). برای مثال، شلیوف (۱۹۷۸) دریافت که سطوح اسیدهای چرب آزاد در شب بالاتر از زمان روز است (۱۱). کارلسون و بالی (۱۹۶۵) نشان دادند که سطح اسیدچرب آزاد در طی روز اندک است و این موضوع به علت جلوگیری سطوح بالای گلوکز و

انسولین از تجزیه چربی می‌باشد (۱۲). هاگستروم-تاف و همکاران (۱۹۹۷)، بر اساس داده‌های گلیسرول بافت چربی به‌طور مشابهی نشان دادند که میزان تجزیه چربی به‌تدریج در طی روز کاهش، و در طی شب افزایش می‌یابد (۱۰). تفاوت در غلظت‌های روزانه اسیدهای چرب استریفیه نشده (NEFA) به خوبی تشخیص داده شده است و به نظر می‌رسد با الگوهای غذایی مرتبط باشد (۱۳). بعضی از تحقیقات اظهار داشته‌اند که غلظت‌های ناشتایی و پس از انسولین NEFA در غروب بالاتر از صبح است (۱۶، ۱۵، ۱۴). مورگان و همکاران، پاسخ‌های پلاسمایی NEFA به انسولین را در ساعت‌های ۳۰: ۸ و ۳۰: ۲۰ در تعداد ۹ مرد سالم بررسی کردند و تنوع روزانه را مستقل از الگوهای غذایی و ورزش نشان دادند (۱۶). اثرات تعاملی فعالیت بدنی و زمان روز بر بعضی از متغیرهای فیزیولوژیک نظیر اکسیژن مصرفی و ضربان قلب نیز بررسی، و یافته‌های غیر همسویی گزارش شده است. برای مثال، هیل و همکاران (۱۹۸۹) دریافتند که مقادیر $\dot{V}O_2 \max$ با توجه به زمان روز متفاوت است (۱۷). در حالی که رایلی و بروکس (۱۹۹۰) تفاوتی را در اکسیژن مصرفی اوج نشان ندادند (۱۸). به علاوه، رایلی و همکاران نشان دادند که ضربان قلب بر اساس زمانی از روز که فعالیت بدنی انجام شده باشد تغییر می‌کند، در حالی که کوهن (۱۹۸۰) هیچ تغییری را نشان نداد (۱۹).

اگر چه تأثیر زمان روز بر سطح استراحتی شاخص‌های فیزیولوژیک و هماتولوژیک بررسی شده است، اما اثرات تعاملی ورزش و زمان روز بر سطوح چربی‌های خون و سوخت و ساز چربی و کربوهیدرات انجام نشده، و به‌عنوان یک سؤال باقی مانده است. از این‌رو تحقیق حاضر طراحی شده است تا اثر فعالیت زیربیشینه روی نوارگردان در دو زمان متفاوت روز (۸:۰۰ و ۲۰:۰۰) را بر چربی‌های خون و سوخت و ساز چربی و کربوهیدرات بررسی کند.

روش‌شناسی تحقیق

تعداد ۹ مرد سالم (با میانگین \pm انحراف معیار، سن 26 ± 5 سال، وزن $74 \pm 5/9$ کیلوگرم، قد $177/4 \pm 4/6$ سانتی‌متر، توده شاخص بدن $23/6 \pm 1/6$ کیلوگرم/مترمربع و حداکثر اکسیژن مصرفی $61/9 \pm 8/4$ میلی‌لیتر / کیلوگرم/دقیقه) برای شرکت در این تحقیق داوطلب شدند. قبل از شروع تحقیق روش‌ها و مراحل اجرای تحقیق برای تمام آزمودنی‌ها توضیح داده شد و فرم رضایت نامه توسط آنها امضاء گردید. تمامی آزمودنی‌ها همچنین پرسشنامه‌های سوابق سلامتی و ورزشی را پر کردند. از آزمودنی‌ها خواسته شد بود تا از نوشیدن مشروبات الکلی و فعالیت

بدنی شدید در مدت ۲۴ ساعت قبل از مراجعه به آزمایشگاه خودداری کنند. برای کنترل اثر احتمالی رژیم غذایی و فعالیت بدنی در روز آزمون، از همه آزمودنی‌ها خواسته شد تا شام را در ساعت ۲۰ صرف و از ساعت ۲۴ به بعد هیچ نوع مواد غذایی مصرف ننمایند و از زمان بیدار شدن تا آغاز آزمون حداقل فعالیت را داشته باشند. برای جلسه آزمون غروب، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا هیچ ماده غذایی و یا کافئین را ۸ ساعت قبل از آزمون مصرف نکنند.

حد اکثر اکسیژن مصرفی با استفاده از یک آزمون پیش رونده روی نوارگردان تا حد خستگی تعیین شد (۲۰). بعد از ۵ دقیقه گرم کردن و اجرای حرکات کششی، آزمون با یک دویدن اولیه با سرعت ۱۰ کیلومتر در ساعت شروع گردید و هر دو دقیقه ۲ کیلومتر بر ساعت افزایش داده شد. سرعت نوارگردان بعد از دو دقیقه دویدن، با سرعت ۱۶ کیلومتر بر ساعت ثابت نگاه داشته شد، در مقابل، شیب دستگاه هر دو دقیقه ۲ درصد افزایش یافت تا اینکه آزمودنی‌ها به حالت خستگی رسیدند. گاز استخراج شده به وسیله دستگاه متالیزر (GmbH, Germany) جمع‌آوری شد و بیشترین مقدار اکسیژن مصرف شده در یک دقیقه زمانی به عنوان $\dot{V}O_{2\max}$ محاسبه گردید. در طی ورزش ضربان قلب افراد به طور پیوسته با استفاده از ضربان سنج پولار (PE300, Kemple Finland) ثبت گردید و از آزمودنی‌ها خواسته شد تا میزان تلاش یا فشار بدنی را هر دقیقه طبق جدول ۶ تا ۲۰ درجه ای بورگ مشخص کنند. از آنجائی که منحنی یکنواختی از نسبت به کار برای همه آزمودنی‌ها به دست نیامد، بالاترین مقدار توان هوازی به عنوان اوج اکسیژن مصرفی ($V_{O_{2peak}}$) در نظر گرفته شد.

تمامی آزمودنی‌ها دو جلسه فعالیت استقامتی زیربیشینه را در ساعت‌های ۸ صبح و ۲۰ اجرا کردند. در هر جلسه ابتدا ۳۰ دقیقه در حالت نشسته استراحت کردند، سپس فشار خون و دمای بدن آنها اندازه‌گیری گردید و یک نمونه خونی ۱۰ میلی‌لیتری گرفته شد. آنگاه آزمودنی‌ها به مدت ۵ دقیقه خود را روی نوارگردان گرم کردند. در طی دوره گرم کردن، سرعت نوارگردان به تدریج افزایش یافت تا به سرعت ۶۵ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی برسد. بعد از گرم کردن، آزمودنی‌ها به طور پیوسته ۴۵ دقیقه با سرعت و ضربان قلبی که معادل ۶۵ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی محاسبه شده بود، دویدند. ضربان قلب در سراسر دوره فعالیت با استفاده از ضربان سنج اندازه‌گیری شد و میزان تلاش، هر ۵ دقیقه با استفاده از مقیاس درک فشار بورگ تعیین گردید. بعد از پایان فعالیت سریعاً نمونه خونی مجدد گرفته شد. سپس آزمودنی‌ها برای مدت ۳۰ دقیقه در حالت نشسته استراحت کردند. بعد از پایان دوره استراحت یک نمونه خونی دیگر گرفته شد. درجه حرارت بدن از طریق گوش^۱ در قبل، بعد از ورزش و

1. Tympanic Temperature

بعد از دوره بازیافت اندازه‌گیری شد. اکسیژن مصرفی، CO_2 دفع شده و میزان تبادل تنفسی در طی ۵ دقیقه قبل از ورزش، سریعاً بعد از ورزش و ۵ دقیقه آخر دوره بازیافت، توسط دستگاه متالیزر اندازه‌گیری شدند. مقادیر سوخت چربی و کربوهیدرات با استفاده از فرمول فراین (۱۹۸۳) و به شکل زیر محاسبه گردیدند (۲۱).

$$(V_{O_2}) - 3/21 (V_{CO_2}) = 4/55 \text{ (دقیقه/گرم) سوخت کربوهیدرات}$$

$$(V_{O_2}) - 1/67 (V_{CO_2}) = \text{سوخت چربی (دقیقه/گرم)}$$

در هر جلسه، سه نمونه خونی سیاهرگی در مراحل قبل و بلافاصله بعد از ورزش و بعد از ۳۰ دقیقه بازیافت از ورید پیش بازویی در حالت نشسته گرفته شد. همتوکریت و هموگلوبین خون به ترتیب توسط دستگاه‌های خواننده همتوکریت و (Coulter[®] MAXM, Coulter Corporation, Hemocue (Florida, USA) اندازه‌گیری شدند. درصد تغییرات حجم پلاسما با استفاده از فرمول دیل و کاستیل (۱۹۷۴) محاسبه گردید (۲۲). برای تهیه پلاسما، ابتدا نمونه‌های خونی در لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد لیتیموم هپارین ریخته شدند و مخلوط گردیدند. سپس سریعاً در ۶۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۹۰۰g به مدت ۱۵ دقیقه، سانتریفیوژ شدند. بعد از آن، نمونه‌های پلاسما جدا شدند و در دمای ۷۰- درجه برای اندازه‌گیری لاکتات، گلوکز، گلیسرول، NEFA و 3-OHB^۱ نگهداری گردیدند. پس از جمع‌آوری تمامی نمونه‌های مورد نیاز، شاخص‌های فوق با استفاده از دستگاه ۳۰۰ IL-Lab (Instrumentation Laboratory, Warrington, UK) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. ابتدا کلیه داده‌ها برای تعیین طبیعی بودن نحوه توزیع توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف آزمون شدند. با توجه به طبیعی بودن داده‌ها، از روش آماری آنالیز واریانس دو طرفه مکرر برای مقایسه میانگین‌های داده‌های پارامترهای خونی در دو جلسه مختلف استفاده شد. هنگامی که آنالیز واریانس تفاوت معنی‌داری را نشان داد، آزمون تعقیبی بانفرونی برای یافتن محل تفاوت‌ها به‌کار گرفته شد. برای مقایسه داده‌های زمان استراحت (پیش آزمون) در دو جلسه، از روش آزمون t همبسته استفاده شد. سطح معنی‌داری برای تمام داده‌های آماری $P < 0.05$ در نظر گرفته شد. تمامی داده‌ها به شکل میانگین \pm انحراف معیار ارائه شدند.

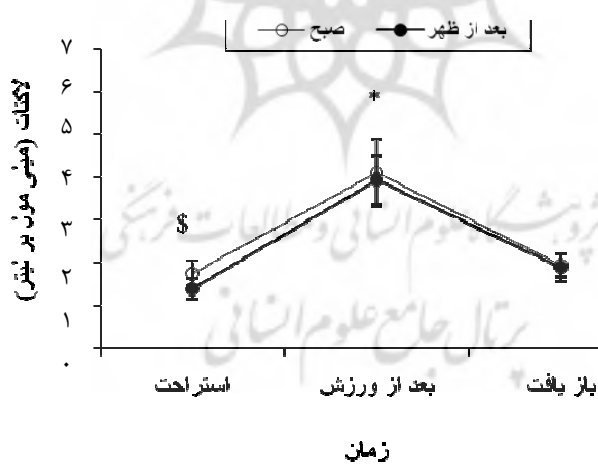
یافته‌های تحقیق

میانگین تغییرات حجم پلاسما در طی ورزش زیر بیشینه روی نوار گردان در دو آزمون صبح و بعدازظهر در شکل شماره ۱ نشان داده شده اند. حجم پلاسما در طی ۴۵ دقیقه دویدن در هر

دو آزمون کاهش پیدا کرد و تفاوت معنی داری بین داده‌های صبح و بعداز ظهر مشاهده نگردید. غلظت لاکتات خون در حالت استراحت، بعد از ورزش و بعد از ۳۰ دقیقه دوره بازیافت در دو زمان مختلف صبح و بعد از ظهر در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. آنالیز آماری داده‌ها، تفاوت معنی داری را بین پاسخ‌های لاکتات به دو جلسه فعالیت صبح و بعد از ظهر نشان نداد. غلظت لاکتات در طی ورزش در هر دو جلسه افزایش معنی داری داشت ($P < 0.001$)، $F_{2,16} = 21.4$ و در پایان دوره بازیافت، به سطح قبل از ورزش برگشت.



شکل ۱. تغییرات حجم پلاسما (میانگین \pm انحراف معیار) در طی ورزش روی نوارگردان در صبح و بعد از ظهر



شکل ۲. میانگین (\pm انحراف معیار) غلظت لاکتات در حالت استراحت، بعد از ورزش و در طی دوره بازیافت در صبح و بعد از ظهر. * نشانه اختلاف معنی دار بین داده‌های قبل و بعد از ورزش و \$ نشانه تأثیر معنی دار زمان روز بر سطوح استراحتی است.

جدول شماره ۱، داده‌های هموگلوبین و هماتوکریت را در زمان استراحت، بعد از ورزش و بعد از ۳۰ دقیقه بازیافت در دو زمان مختلف روز نشان می‌دهد. هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین تأثیر فعالیت بدنی در دو زمان روز بر هموگلوبین و هماتوکریت دیده نشد. هموگلوبین ($F_{2,16}=28/5, P<0/001$) و هماتوکریت ($F_{2,16}=35/6, P<0/001$) هر دو بعد از ورزش به‌طور معنی‌داری افزایش داشتند و در پایان دوره بازیافت کاهش پیدا کردند و به سطح قبل از ورزش رسیدند. 3-OH در طی ورزش تغییر معنی‌داری نداشت، اما غلظت آن در طی دوره بازیافت نسبت به قبل از ورزش، افزایش پیدا کرد ($F_{2,16}=7.5, P<0.001$) (جدول شماره ۱). تغییرات غلظت 3-OHB در پاسخ به ورزش زیر بیشینه در هر دو آزمایش صبح و بعدازظهر به‌طور مشابهی اتفاق افتاد و اختلاف معنی‌داری بین دو جلسه مشاهده نگردید. علاوه بر این، غلظت استراحتی 3-OHB در دو زمان روز، تفاوت معنی‌داری نداشتند.

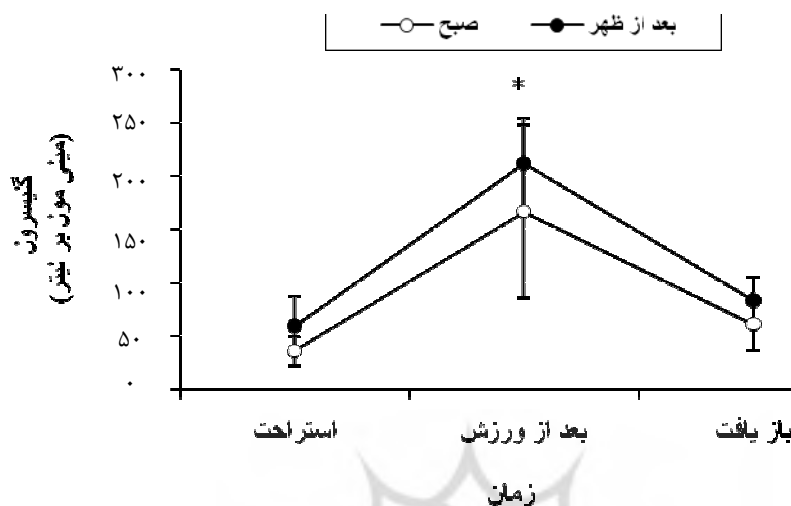
جدول ۱. داده‌های (میانگین \pm انحراف معیار) گلوکز، هموگلوبین، هماتوکریت و 3-OHB

در دو جلسه صبح و بعدازظهر.

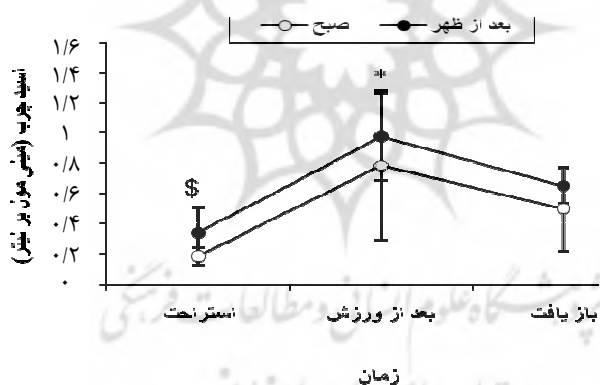
متغیر	فعالیت استقامتی صبح			فعالیت استقامتی بعد از ظهر		
	قبل	بعد	بعد از ریکاوری	قبل	بعد	بعد از ریکاوری
گلوکز (میلی‌مول بر لیتر)	۶/۰۱ \pm ۰/۴۹*	۵/۱۷ \pm ۰/۸۶*	۵/۲ \pm ۰/۵۹	۵/۶ \pm ۰/۷۸*	۵/۰۸ \pm ۰/۴۴*	۴/۹ \pm ۰/۳۳
هموگلوبین (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)	۱۴/۸۱ \pm ۱/۰۸*	۱۵/۲۵ \pm ۱/۰۱*	۱۴/۸۴ \pm ۱/۰۳	۱۵/۰۵ \pm ۰/۵۵*	۱۵/۵ \pm ۰/۶۳*	۱۵/۰۵ \pm ۰/۴۱
هماتوکریت (%)	۴۲/۷۷ \pm ۳/۴۵*	۴۴/۳۷ \pm ۳/۲۷*	۴۳/۴ \pm ۳/۳۶	۴۳/۹۴ \pm ۲/۲۵*	۴۵/۳۱ \pm ۲/۵۲*	۴۳/۹۲ \pm ۲/۰۳
بتا هیدروکسی بوتیرات (میلی‌مول بر لیتر)	۰/۲۴ \pm ۰/۱۵	۰/۲۶ \pm ۰/۲۵	۰/۲۹ \pm ۰/۱۶*	۰/۳۷ \pm ۰/۱۸	۰/۳۸ \pm ۰/۱۷	۰/۵۱ \pm ۰/۲*

* نشانه اختلاف معنی‌داری بین داده‌های قبل و بعد از ورزش است.

غلظت گلیسرول در پاسخ به ۴۵ دقیقه دویدن در صبح و بعد از ظهر، افزایش معنی‌داری نشان داد ($F_{2,16}=68/8, P<0/001$) و در پایان دوره بازیافت بعد از ورزش به سطح قبل از ورزش بازگشت (شکل ۳). پاسخ گلیسرول به ورزش زیر بیشینه در دو زمان روز تفاوت معنی‌داری نداشتند. علاوه بر این، اختلاف معنی‌داری بین داده‌های استراحتی پیدا نشد.



شکل ۳. میانگین (± انحراف معیار) غلظت گلیسرول در حالت استراحت، بعد از ورزش و در طی دوره باز یافت در صبح و بعد از ظهر. * نشانه اختلاف معنی دار بین داده‌های قبل و بعد از ورزش است.

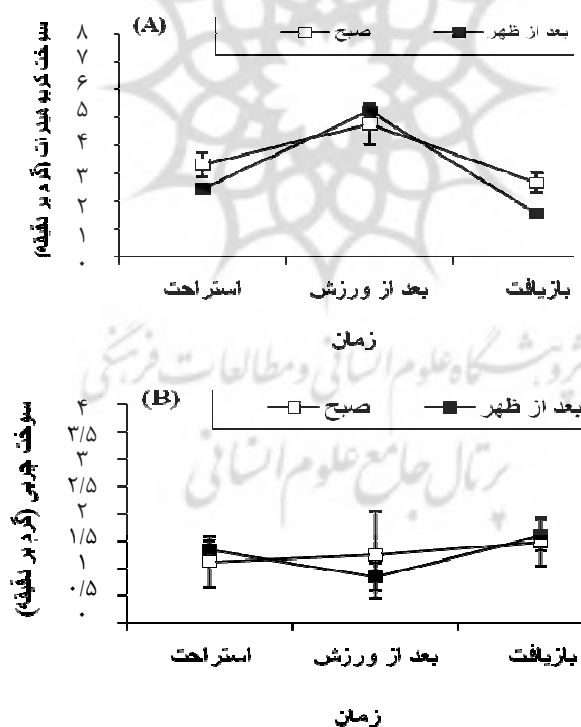


شکل ۴. میانگین (± انحراف معیار) تغییرات اسید چرب استریفیه نشده در حالت استراحت، بعد از ورزش و در طی دوره باز یافت در صبح و بعد از ظهر. * نشانه اختلاف معنی دار بین داده‌های قبل و بعد از ورزش و \$ نشانه تأثیر معنی دار زمان روز بر سطوح استراحتی است.

غلظت NEFA بعد از ورزش زیر بیشینه، در هر دو جلسه صبح و بعد از ظهر افزایش معنی داری داشت و در دوره باز یافت به سطح اولیه خود بازگشت ($F_{2,16}=33/6, P<0/001$) (شکل شماره ۴). اما بین تغییرات NEFA در دو جلسه صبح و بعد از ظهر تفاوت معنی داری مشاهده نگردید. با این وجود، غلظت استراحتی NEFA در بعد از ظهر به طور معنی داری بالاتر از صبح بود.

کاهش معنی‌داری در غلظت گلوکز بعد از ۴۵ دقیقه دویدن روی نوار گردان دیده شد ($F_{2/16}=9/4, P<0/001$) ولی تغییر معنی‌داری در طی دوره بازیافت، مشاهده نگردید. تفاوت معنی‌داری در غلظت استراحتی و همچنین تغییرات گلوکز در دو جلسه صبح و بعد از ظهر پیدا نشد (جدول شماره ۱).

میانگین داده‌های سوخت کربوهیدرات و چربی در طی استراحت، ورزش و دوره بازیافت در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. میزان سوخت کربوهیدرات به طور معنی‌داری در ۵ دقیقه بعد از ورزش، بالاتر از داده‌های قبل از ورزش بود و همچنین در طی دوره بازیافت کاهش پیدا کرد، در حالی که سوخت چربی در طی ورزش بدون تغییر بود و در دوره بازیافت افزایش نشان داد. اختلاف معنی‌داری بین سوخت چربی و کربوهیدرات در استراحت و در پاسخ به ورزش در دو جلسه صبح و بعد از ظهر مشاهده نگردید. همچنین، اگرچه سوخت چربی در طی ورزش در بعد از ظهر نسبت به صبح تا حدودی روند متفاوتی را نشان داد، اما تفاوت بین این دو زمان روز، معنی‌دار نبود.



شکل ۵. میانگین (\pm انحراف معیار) سوخت کربوهیدرات (A) و چربی (B) در حالت استراحت، بعد از ورزش و در طی دوره بازیافت در صبح و بعد از ظهر

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تعدد شاخص‌ها سعی شده است تا بحث در قالب‌های مجزا ارائه شود. برای این منظور ابتدا تأثیر فعالیت استقامتی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق بحث شده‌اند، سپس تأثیر زمان روز بر غلظت استراحتی این پارامترها و بعد از آن، تأثیر زمان روز بر پاسخ این پارامترها به فعالیت استقامتی مورد بحث و بررسی گرفته است. در پایان هم یک نتیجه‌گیری کلی از تحقیق ارائه شده است.

تأثیر ورزش بر سوخت و ساز چربی

اسیدهای چرب رها شده از بافت چربی، سوخت اصلی برای فعالیت با شدت متوسط هستند (۲۳، ۲۴). معمولاً اندکی بعد از توقف فعالیت، یک افزایش در غلظت پلاسمایی NEFA دیده می‌شود که بیانگر ادامه تجزیه چربی (لیپولیز) به مقدار زیاد به هنگام کاهش جذب NEFA در عضله است (۲۵). در تحقیق حاضر، داده‌های NEFA افزایش تجزیه چربی را بلافاصله بعد از پایان فعالیت نشان داد که این امر به واسطه افزایش چهار برابری در غلظت NEFA که با غلظت بالای گلیسرول همراه بود، مشاهده شد. این یافته‌ها با یافته‌های اریکسون و همکاران (۱۹۷۱) که افزایش سطوح پلاسمایی NEFA و گلیسرول در طی یک ساعت دوچرخه سواری با شدت ۶۳ درصد $\dot{V}O_{2\max}$ نشان دادند، همخوانی دارد (۲۶). به‌طور مشابهی کارلسون و همکاران (۱۹۶۵) نشان دادند که فعالیت بدنی با افزایش غلظت NEFA و گلیسرول در پلاسما همراه است که این تغییرات معمولاً در طی ورزش به علت افزایش جابه‌جایی FFA از بافت چربی است. افزایش میزان ظهور و در دسترس بودن NEFA در پلاسما با توقف میزان استریفیه شدن مجدد و افزایش هم‌زمان جریان خون در بافت چربی همراه است (۱۲).

پژوهش‌های قبلی، حفظ میزان سوخت و ساز چربی فراتر از سطح استراحتی در دوره باز یافت بعد از فعالیت بدنی را نشان داده‌اند (۲۷). تحقیق حاضر، با نشان دادن افزایش سوخت و ساز چربی در دوره باز یافت، به دنبال هر دو ورزش صبح و بعدازظهر، یافته پژوهش‌های یاد شده را تأیید می‌کند. نشان داده شده که تنها قسمتی از NEFA که پس از ورزش توسط عضله جذب می‌گردد، سریعاً اکسیده می‌شود که این امر بیانگر نقش استراحت برای جایگزینی ذخایر تری‌گلیسرید عضلانی است (۲۸)؛ بنابراین، شواهد موجود اظهار می‌دارد که حفظ غلظت افزایش یافته NEFA بعد از ورزش، برای باز یافت اولیه ذخایر گلیکوژن و تری‌گلیسرید دارای اهمیت است.

کاهش غلظت گلوکز در طی ورزش در تحقیق حاضر ممکن است به دلیل سوخت و ساز بالای کربوهیدرات در طی ورزشی صبح (۴/۷۷ گرم در دقیقه) و بعد از ظهر (۵/۲۲ گرم در دقیقه) باشد. غلظت 3-OHB در این تحقیق، در طی ورزش زیر بیشینه روی نوارگردان تغییر معنی‌داری نداشت، اما در طی دوره باز یافت دارای افزایش معنی‌داری بود. این نتایج با یافته‌های اریکسون و همکاران (۱۹۷۱) که افزایش 3-OHB پس از دوچرخه‌سواری در شدت ۶۳ درصد $\dot{V}O_2 \max$ را نشان دادند، موافقت دارند (۲۶). افزایش غلظت 3-OHB، متعاقب افزایش غلظت NEFA پس از ریکاوری بود که این مسئله نشان‌دهنده آن است که افزایش کتون بعد از ورزش به دلیل افزایش تولید اجسام کتونی توسط کبد در پاسخ به سطوح بالای FFA بعد از ورزش است.

تأثیر زمان روز بر سطوح استراحتی شاخص‌ها

سطوح استراحتی لاکتات پلاسما، تأثیر معنی‌دار زمان روز را نشان داد که در آن غلظت لاکتات در ساعت ۸ صبح بالاتر از عصر بوده است. تفاوت در غلظت لاکتات در زمان‌های مختلف روز می‌تواند به دلیل وجود تنوع در غلظت استراحتی کاتکولامین‌ها باشد (۲۹)، زیرا کاتکولامین‌ها موجب تحریک گلیکوژنولیز در عضله اسکلتی و در نتیجه منجر به افزایش تولید لاکتات می‌شوند.

نتایج به دست آمده در دو جلسه صبح و بعد از ظهر به‌طور واضحی نشان داد که غلظت پلاسمایی NEFA در زمان استراحت، تابع زمان روز بود. با این حال، اگر چه غلظت استراحتی گلوکز در صبح بیشتر از عصر بود، این غلظت تحت تأثیر زمان روز قرار نداشت. این نتایج با یافته‌های شلیروف و دورو (۱۹۷۳) که در آن غلظت اسیدهای چرب آزاد در شب بالاتر از طول روز بود، همسویی دارد (۸). با توجه به سطوح پایین گلوکز و انسولین در طی شب، تجزیه چربی‌ها به میزان بیشتری اتفاق می‌افتد و سوخت بسیاری از فرایندهای نیازمند انرژی را فراهم می‌سازد. انسولین در بعدازظهر نسبت به صبح، به مقدار زیادی از تجزیه چربی جلوگیری می‌کند، بنابراین، این احتمال هم وجود دارد که پاکسازی بیشتر NEFA در بعدازظهر به علت افزایش مصرف NEFA و شاید استریفیه شدن مجدد آن باشد (۳۰). تأثیر زمان روز بر غلظت خونی 3-OHB، قبلاً در افراد طبیعی با رژیم غذایی و فعالیت بدنی طبیعی نشان داده شده است (۳۱). آنها افزایش غلظت جسم کتونی در بعد از ظهر و اوج آن در نیمه شب را نشان دادند. افزایش اجسام کتونی در شب، به افزایش تولید آنها به دلیل افزایش جابه‌جایی FFA از بافت چربی نسبت داده شده است. در تحقیق حاضر، اگر چه تفاوت بین 3-OHB در صبح و عصر پیدا

نشد، اما غلظت استراحتی آن در بعد از ظهر بیشتر از صبح بود. این یافته ممکن است به علت جابه‌جایی بیشتر FFA از بافت چربی باشد، که با غلظت بالاتر NEFA در این زمان روز نشان داده شده بود.

تأثیر زمان روز بر پاسخ شاخص‌ها به ورزش

در پژوهش حاضر، پاسخ لاکتات به ورزش استقامتی زیر بیشینه، وابسته به زمان روز نبوده است. این یافته با نتایج تحقیقات قبلی که نشان داده‌اند پاسخ‌های لاکتات به ورزش استقامتی شدید در ساعات آخر شب بیشتر است، مخالف است. (۲۹، ۳۲). تضاد بین نتایج مطالعه حاضر، با این تحقیقات ممکن است به علت تفاوت در شدت پروتکل ورزشی استفاده شده باشد که یک عامل اثرگذار در پاسخ‌های فیزیولوژیکی و سوخت و سازی به ورزش است. در این تحقیق، زمان روز بر پاسخ‌های چربی‌ها بر یک جلسه فعالیت زیر بیشینه تأثیر گذار نبود. پاسخ‌های NEFA، گلیسرول، 3-OHB و گلوکز به ورزش، در دو زمان روز متفاوت نبود. احتمالاً ورزش بر مقادیر استراحتی در صبح و بعداز ظهر به یک شکل تأثیر گذاشته‌اند. کربوهیدرات منبع اصلی انرژی در طی ۴۵ دقیقه انجام ورزش در هر دو ورزش صبح و بعداز ظهر بود و بین دو جلسه تفاوتی وجود نداشت.

رامین و همکاران (۱۹۹۳) نشان داده‌اند که مصرف گلیکوژن عضله و گلوکز خون با افزایش شدت ورزش افزایش می‌یابد (۴). اگرچه تفاوت بین سوخت و ساز کربوهیدرات در دو جلسه معنی‌داری نبود، اما سوخت و ساز کربوهیدرات در طی ورزش در بعد از ظهر بالاتر از صبح بود که ممکن است به غلظت بالاتر انسولین در طی ورزش در این زمان روز نسبت داده شود. به‌علاوه، هنگامی که سوخت و ساز چربی در هر دو جلسه مقایسه شدند، تفاوت معنی‌داری بین دو جلسه مشاهده نشد اما به‌طور جالبی مقادیر سوخت و ساز چربی در بعد از ظهر پایین‌تر از صبح بود و الگوی سوخت و ساز چربی در طی دو جلسه تفاوت داشت. هاگن فلدت و همکاران (۱۹۷۱) نشان دادند که سوخت و ساز اسید چرب به غلظت اسید چرب پلاسما بستگی دارد (۳۳). با این وجود، مقدار سوخت و ساز اسید چرب در عضله فعال نه تنها به‌وسیله غلظت اسید چرب پلاسما، بلکه به‌وسیله عواملی مانند تعداد و اندازه میتوکندری و احتمالاً حضور دیگر مواد سوختی مانند گلوکز تعیین می‌شود. بنابراین، اختلاف در سوخت و ساز چربی در طی هر دو جلسه صبح و بعد از ظهر ممکن است به علت تفاوت در غلظت اسیدهای چرب و دیگر مواد سوختی در طی ورزش در این دو جلسه باشد. در طی دوره بازیافت، مقادیر سوخت و ساز چربی در هر دو جلسه افزایش یافت. یک دلیل مهم برای حفظ افزایش میزان سوخت چربی در این

دوره ممکن است این باشد که سوخت کربوهیدرات بعد از ورزش کاهش می‌یابد تا به جذب گلوکز برای جایگزینی ذخایر گلیکوژنی بافت عضلانی کمک کند. این یافته توسط دولین و همکاران (۱۹۸۹) که در مقایسه با گروه کنترل، افزایش سوخت چربی بلافاصله بعد از ورزش را با یک تغییر سوخت گلوکز به غیر آن را نشان دادند، حمایت شده است (۳۴).

به طور خلاصه، یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که اگرچه ۴۵ دقیقه دویدن روی نوارگردان، تغییرات معنی داری در شاخص‌های سوخت و ساز چربی خون (NEFA، گلیسرول، 3-OHB) و کربوهیدرات (لاکتات و گلوکز) ایجاد می‌کند، اما این تغییرات وابسته به زمان روز نمی‌باشد، با این حال، غلظت استراحتی لاکتات و NEFA وابسته به زمان روز هستند. همچنین یافته‌های تحقیق نشان داد که سوخت و ساز کربوهیدرات در ۵ دقیقه آخر فعالیت به‌طور معنی داری افزایش یافت ولی سوخت و ساز چربی تغییر معنی داری نداشت. بر اساس یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که زمان روز بر پاسخ شاخص‌های سوخت و ساز چربی به ورزش زیر بیشینه در مردان تأثیری ندارد و تغییرات این شاخص‌ها در طی فعالیت زیر بیشینه، به زمان روز وابسته نیست.

منابع:

1. Atkinson, G. and Reilly T. (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports Med.* 21(4):292-312.
2. Froberg, J.E., Karlsson, C.G., Levi, L. and Lidberg L. (1975). Circadian rhythms of catecholamine excretion, shooting range performance and self-ratings of fatigue during sleep deprivation. *Biol Psychol.* 2(3):175-88.
3. Inouye, S.I. (1982). Restricted daily feeding does not entrain circadian rhythms of the suprachiasmatic nucleus in the rat. *Brain Res.* 28; 232(1):194-9.
4. 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. *American Journal of Physiology.* 265: E380 – E391.
5. Bulow, J. and Madsen, J. (1981). Influence of blood flow on fatty acid mobilisation from lipolytically active adipose tissue. *Pflugers Arch.* 390: 169-74.
6. Felig, P. and Wahren J, (1975). Fuel homeostasis in exercise. *New Eng J Med.* 20: 1078-1975.
7. Murray, R., Eddy, D.E., Paul, G.L., Seifert, J.G. and Halaby, G.A. (1991). Physiological responses to glycerol ingestion during exercise. *J Appl Physiol.* 71: 144-9

8. Schlierf, G. and Dorow, E. (1973). Diurnal patterns of triglycerides, free fatty acids, blood sugar, and insulin during carbohydrate-induction in man and their modification by nocturnal suppression of lipolysis. *J Clin Invest.* 52(3): 732-40.
9. Gibson, T., Stimmler, L., Jarrett, R.J., Rutland, P. and Shiu M. (1975). Diurnal variation in the effects of insulin on blood glucose, plasma non-esterified fatty acids and growth hormone. *Diabetologia.* 11(1):83-8.
10. Hagstrom-Toft, E., Bolinder, J., Ungerstedt, U. and Arner, P. (1997). A circadian rhythm in lipid mobilization which is altered in IDDM. *Diabetologia.* 40(9): 1070-8.
11. Schlierf, G. (1978). Diurnal variations in plasma substrate concentration. *Eur J Clin Invest.* 8(2): 59-60.
12. Carlson, L.A., and P.R. Bally. (1965). Inhibition of lipid mobilization. *Handb. Physiol. Sect.* 5:557.
13. Frayn, K.N., Williams, C.M. and Arner, P. (1995). Are increased plasma non-esterified acid concentrations a risk marker for coronary heart disease and other chronic diseases? *Clin Sci.* 90:243-53.
14. Whichelow, M.J., Sturge, R.A., Keen, H., Jarrett, R.J., Stimmler, L. and Grainger, S. (1974). Diurnal variation in response to intravenous glucose. *Br Med J.* 1(906): 488-91.
15. Zimmet, P.Z., Wall, J.R., Rome, R., Stimmler, L. and Jarrett, R.J. (1974). Diurnal variation in glucose tolerance: associated changes in plasma insulin, growth hormone, and non-esterified fatty acids. *Br Med J.* 1(906): 485-8.
16. Morgan, L.M., Aspostolakou, F., Wright, J. and Gama, R. (1999). Diurnal variations in peripheral insulin resistance and plasma non-esterified fatty acid concentrations: a possible link? *Ann Clin Biochem.* 36 (4): 447-50.
17. Hill, D.W., Cureton, K.J. and Collins, M.A. (1989). Effect of time of day on perceived exertion at work rates above and below the ventilatory threshold. *Res Q Exerc Sport.* 60(2):127-33.
18. Reilly, T. and Brooks, G.A. (1990). Selective persistence of circadian rhythms in physiological responses to exercise. *Chronobiol Int.* 7(1):59-67.
19. Cohen C.J. (1980). Human circadian rhythms in heart rate response to a maximal exercise stress. *Ergonomics.* 23(6):591-5.
20. Bassami, M. Ahmadizad, S. Doran, D. and Maclaren, P.M. (2007). Effects of exercise intensity and duration on fat metabolism in trained and untrained older males. *European journal of applied physiology.* 101:525-532.
21. Frayn, K.N. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology.* 55(2):628-34.

22. Dill, D.B., and D.L. Costill. (1974). Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in hydration. *Journal of Applied Physiology*, 37, 247-248
23. Coyle, E.F. (1995). Substrate utilization during exercise in active people. *Am J Clin Nutr.* 61(4 Suppl):968S-979S
24. Kiens, B., Essen-Gustavsson, B., Christensen, N.J. and Saltin B. (1993). Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in man: effect of endurance training. *J Physiol.* 469:459-78.
25. Hodgetts, V., Coppack, S.W., Frayn, K.N. and Hockaday TD. (1991). Factors controlling fat mobilization from human subcutaneous adipose tissue during exercise. *J Appl Physiol.* 71(2):445-51.
26. Eriksson, B.O., Persson, B. and Thorell JI. (1971). The effects of repeated prolonged exercise on plasma growth hormone, insulin, glucose, free fatty acids, glycerol, lactate and -hydroxybutyric acid in 13-year old boys and in adults. *Acta Paediatr Scand Suppl.* 217:142-6.
27. Jeukendrup, A.E., Saris, W.H., Wagenmakers, A.J.M. (1998). Fat metabolism during exercise: A review – part 1: Fatty acid mobilisation and muscle metabolism. *International Journal of Sports and Medicine.* 231-244
28. Havel, R.J., Pernow, B. and Jones, N.L. (1967). Uptake and release of free fatty acids and other metabolites in the legs of exercising men. *J Appl Physiol.* 23(1):90-9.
29. Deschense, M.R., Sharma, J.V., Brittingham, K.T., Casa, D.J., Armstrong, L.E. and Maresh. C.M. (1998). Chronobiological effects on exercise performance and selected physiological responses. *Eur. J.Appl. Phys.* 77. 249-256.
30. Gilbert, C.H., Kaye, J. and Galton, D.J. (1974). The effect of a glucose load on plasma fatty acids and lipolysis in adipose tissue of obese diabetic and non-diabetic patients. *Diabetologia.* 10(2):135-8
31. Wildenhoff, K.E., Johansen, J.P., Karstoft, H., Yde, H. and Sorensen, N.S. (1974). Diurnal variations in the concentrations of blood Acetoacetate and 3-hydroxybutrate *Acta med. Scand.* 195: 25-28.
32. Hill, D.W., Borden, D.O., Darnaby, K.M., Hendricks, D.N. and Hill, C.M. (1992). Effect of time of day on aerobic and anaerobic responses to high-intensity exercise. *Can J Sport Sci.* 17(4):316-9.
33. Hagenfeldt L, w. J. (1971). Metabolism of free fatty acids and ketone bodies in skeletal muscle. *Muscle metabolism during exercise.* New York: Plenum. 153-63.
34. Devlin, J.T., Barlow, J. and Horton, E.S. (1989). Whole body and regional fuel metabolism during early post-exercise recovery. *Am J Physiol.* 256 (1Pt1): E167-72.