فیزیولوژی ورزشی دوره ۱۱، شماره ۴۴، زمستان ۱۳۹۸. صص ۱۲۲-۱۰۷

مقالهٔ پژوهشی

تأثیر مصرف هم‌زمان مکمل‌های کافئین و ال–کارنیتین بر عملکرد هوازی و سوبسترای انتخابی هنگام فعالیت ورزشی

اکبر عادلی[۱]، روح‌الله نیکویی[۲]، محسن امینایی[۳]

۱. کارشناسی‌ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان (نویسندهٔ مسئول)
۳. استادیار فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

چکیده

هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین تأثیر مصرف هم‌زمان مکمل‌های کافئین و ال-کارنیتین بر انتخاب سوبسترای مصرفی درحین تمرین و اثر احتمالی آن بر عملکرد استقامتی در مردان کاراته‌کار نخبه بود. تعداد ۱۲ کاراته‌کار در چهار کوشش مجزا با فاصلهٔ زمانی یک هفته، مکمل‌دهی کافئین (پنج میلی گرم بر کیلوگرم)، کارنیتین (سه گرم)، کافئین-کارنیتین (پنج میلی گرم بر گیلوگرم + سه گرم) و دارونما (۲۵۰ میلی گرم لاکتوز) را دریافت کردند و نیز آزمون فزایندهٔ ارگومتری را انجام دادند. گازهای تنفسی درخلال آزمون و نمونهٔ خونی قبل و بعد از آزمون، جمع‌آوری شدند. نقاط Fatmax به‌عنوان نقطه‌ای که چربی بیشترین سهم را در انرژی مصرفی تمرین دارد و Cross over به‌عنوان نقطه‌ای که سوخت غالب از چربی به کربوهیدرات تغییر می‌کند، تعیین و بار کاری و اکسیژن مصرفی معادل با آن‌ها استخراج شد و با تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر بین کوشش‌ها مقایسه شدند. پس از مصرف کافئین و ترکیب کافئین و ال-کارنیتین، میزان تغییرات اسید چرب پلاسما (FFA) درحین تمرین، بار کاری و اکسیژن مصرفی معادل با آستانهٔ بی‌هوازی، نقاط Cross over و Fatmax نسبت به کوشش کنترل بیشتر بود (همه $P < 0.05$). این متغیرها در کوشش مصرف ترکیبی به‌طور معناداری مقادیر بیشتری نسبت به کوشش مصرف کافئین تنها داشتند ($P < 0.05$). مصرف ال-کارنیتین تفاوتی در این متغیرهای مطالعه‌شده نسبت به کوشش کنترل ایجاد نکرد. به‌طورکلی، مصرف مکمل کافئین با تغییر در سوبسترای مصرفی به‌سمت چربی سبب بهبود عملکرد استقامتی می‌شود و مصرف هم‌زمان با ال-کارنیتین می‌تواند این اثر را تشدید کند.

واژگان کلیدی: ال-کارنیتین، انتخاب سوبسترا، کافئین، عملکرد استقامتی.

1. Email: ak_adeli@yahoo.com
2. Email: r_nikooie@uk.ac.ir
3. Email: maminai@uk.ac.ir

مقدمه

انتخاب سوبسترای مصرفی درحین تمرین فرایندی است که تحت‌کنترل دقیق هورمونی و موضعی (عضلهٔ اسکلتی) در بدن انجام می‌شود و با توجه به شدت و مدت فعالیت از درصدهایی مشخص از چربی و کربوهیدرات درحین تمرین استفاده می‌شود. در شدت‌های کم فعالیت، استفاده از چربی به‌عنوان سوبسترای مصرفی زیاد است و کربوهیدرات سهمی اندک در تأمین انرژی دارد. با افزایش شدت تمرین سهم نسبی چربی کاهش می‌یابد و درمقابل، سهم نسبی کربوهیدرات افزایش می‌یابد. چنانچه ماهیت تمرین ازنوع فزاینده باشد، در نقطه‌ای معین منحنی چربی و کربوهیدرات همدیگر را قطع می‌کنند که نقطهٔ تقاطع (COP)[1] نامیده می‌شود. در شدت‌های پایین‌تر از این نقطه، چربی به‌عنوان منبع سوخت غالب است؛ درحالی‌که در شدت‌های بالاتر از آن کربوهیدرات سوخت غالب می‌شود (۱). وقوع COP تحت‌تأثیر فاکتورهایی متفاوت مانند شدت تمرین، وضعیت تغذیه‌ای و محتوای اولیهٔ گلیکوژن عضلانی قرار می‌گیرد، اما مهم‌ترین عامل تعیین‌کنندهٔ آن موجودیت سوبسترایی اسید چرب و گلوکز به‌عنوان سوخت است. به‌طور معمول، COP در شدت‌های ۴۵-۶۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) اتفاق می‌افتد؛ هرچند این فاکتور عاملی تمرین‌پذیر است و در ورزشکاران استقامتی نخبه می‌تواند در شدت های بالاتری از VO_{2max} اتفاق بیفتد.

با اینکه عوامل متعددی در وقوع COP درگیر هستند، مهم‌ترین عامل وقوع آن توانایی‌نداشتن بدن در استفادهٔ بیشتر از اسیدهای چرب آزاد (FFA)[2] است که درنهایت بدن را به استفاده از منابع قندی مجبور می‌کند. توانایی‌نداشتن بدن در مصرف اسیدهای چرب، به آزادنشدن کافی اسیدهای چرب از بافت چربی و نبود توانایی میتوکندریایی در مصرف اسیدهای چرب بستگی دارد؛ بنابراین، استفاده از عواملی که بتواند این نقصان‌ها را برطرف کند، می‌تواند وقوع COP را به‌تأخیر بیندازد. یکی از این عوامل کاندید، مصرف مکمل‌های مؤثر در متابولیسم چربی نظیر کافئین و ال-کارنیتین است. کافئین، تری متیل گزانتین (۱، ۳، ۷-تری میتل گزانتین) با فرمول شیمیایی $C_8H_{10}N_4O_2$ الکالوئیدی محرک است که به‌طور طبیعی در قهوه، چای، کاکائو، کولا و غیره یافت می‌شود. پاراگزانتین، متابولیت اصلی کافئین در بدن انسان است که لیپولیز را تسهیل می‌کند و فراهمی اسیدهای چرب آزاد پلاسما را افزایش می‌دهد (۲). کافئین با اتصال به گیرنده‌های آدنوزین در سیستم عصبی مرکزی (CNS)[3] و بافت چربی، غلظت پیام بر ثانویه را افزایش می‌دهد که درپی آن، لیپولیز افزایش می‌یابد و درنتیجه، فراخوانی اسیدهای چرب آزاد و دردسترس قرارگرفتن آن‌ها برای مصرف در عضلهٔ اسکلتی افزایش

1. Cross Over Point
2. Free Fatty Acid
3. Central Nervous System

می‌یابد (۳). تصور بر این است که ازطریق این مکانیسم استفاده از گلیکوژن عضلانی کاهش می‌یابد و درنتیجه، فعالیت ورزشی با شدت‌های زیربیشینه می‌تواند برای مدت زمان طولانی‌تر انجام گیرد (۴)؛ باوجوداین، تمامی مطالعات انجام‌شده که افزایش سطوح اسیدهای چرب را به‌دنبال مصرف کافئین گزارش کرده‌اند، بهبود موازی در عملکرد استقامتی را گزارش نکرده‌اند که دلیل احتمالی می‌تواند توانایی‌نداشتن بدن در مصرف اسیدهای چرب آزاد افزایش‌یافته باشد که راهی به درون میتوکندری پیدا نمی‌کنند.

درواقع، انتقال اسید چرب آزاد به درون میتوکندری از مراحل کلیدی اکسایش چربی است (۵)؛ بنابراین، یکی دیگر از روش‌های افزایش اکسیداسیون اسید چرب، تلاش برای انتقال بیشتر اسید چرب آزاد به درون میتوکندری است که تحت کنترل کارنیتین پالمیتیل ترانسفراز I و II (CPT II و CPT I)[1] است. کارنیتین، دی پپتید است که در پستاندران از اسیدهای آمینهٔ ضروری لیزین و میتونین ساخته می‌شود یا توسط رژیم غذایی جذب بدن می‌شود (۶). ال-کارنیتین (شکل فعال کارنیتین) به‌دلیل ویژگی انتقال اسید چرب آزاد به درون میتوکندری، نقشی مهم در میزان اکسایش چربی‌ها دارد (۷). درواقع، کارنیتین پیش‌سازی ضروری برای آنزیم‌های CPT II وCPT I در عضلهٔ اسکلتی است. این آنزیم‌ها در انتقال گروه‌های آسیل چرب با زنجیرهٔ بلند، به ترتیب از غشای خارجی و داخلی میتوکندری و واردشدن به مرحلهٔ بتا اکسیداسیون، نقشی مهم را ایفا می‌کنند (۸). مکمل‌سازی ال-کارنیتین با افزایش و تحریک انتقال اسید چرب آزاد به درون میتوکندری به افزایش اکسیداسیون چربی‌ها، کاهش مصرف گلوکز و ذخایر گلیکوژن و تأخیر در بروز خستگی همراه با بهبود عملکرد ورزشی منجر می‌شود (۹) و باعث کاهش تولید لاکتات و افزایش VO_{2max} می‌شود. بیش از ۹۵ درصد از کل کارنیتین بدن در بافت عضلهٔ اسکلتی و به دو شکل کارنیتین آزاد و استیل کارنیتین ذخیره می‌شود (۵).

مطالعات انجام‌شده درزمینهٔ مصرف مکمل کافئین، همگی افزایش اسیدهای چرب آزاد خون را گزارش کرده‌اند (۱۰،۱۱،۱۲). این اثرهای کافئین معمولاً بر اثر مصرف پنج میلی‌گرم کافئین به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن اتفاق می‌افتد و در برخی موارد به بهبود عملکرد نیز منجر می‌شود؛ هرچند براساس بیشتر مطالعات، پاسخ‌های سوخت‌وسازی به ورزش با افزایش موجودیت FFA تغییر نمی‌کنند (۱۳). برخی مطالعات این ناتوانی را به مرحلهٔ تجزیه‌تری گلیسرید به FFA در بافت چربی و برخی دیگر به مرحلهٔ انتقال میتوکندریایی FFA در عضلهٔ اسکلتی نسبت داده‌اند. ازطرف‌دیگر، مصرف ال-کارنیتین به‌تنهایی نیز ممکن است به‌دلیل فراهم‌نبودن اسیدهای چرب آزاد، اثربخشی درخور توجهی بر اکسیداسیون چربی نداشته باشد؛ بنابراین، با توجه به اینکه اثر این دو مکمل به‌نوعی تکمیل‌کنندهٔ

1. Carnitine Palmitoyl Transferase 1&2

یکدیگر است و آزادسازی و انتقال میتوکندریایی اسید چرب را به‌طور هم‌زمان انجام می‌دهند، این احتمال وجود دارد که مصرف همراه با هم آن‌ها بتواند سوبسترای مصرفی درحین تمرین را دستخوش تغییر کند و وقوع COP را به‌تأخیر بیندازد. این موضوع زمانی قوت می‌گیرد که در مطالعهٔ چا[1] و همکاران (۱۴) نشان داده شده است که غلظت FFA پلاسما به‌واسطهٔ مصرف هم‌زمان کافئین و ال-کارنیتین به میزان معناداری افزایش می‌یابد که با بهبود درخور توجه مصرف چربی در زمان استراحت همراه است؛ درحالی‌که مصرف هرکدام از آن‌ها به‌تنهایی تغییری درغلظت‌های FFA و تری‌گلیسرید به‌همراه ندارد. افزون بر این، در این مطالعه اثرهای مصرف همراه با هم این دو مکمل در مقایسه با مصرف هرکدام به‌تنهایی، موجب بهبود بیشتر عمکرد استقامتی شده است (۱۴)؛ باوجوداین، در این مطالعه تنها اثر این دو مکمل بر عملکرد بررسی شده است و اثر تعاملی آن‌ها بر انتخاب سوبسترای مصرفی درحین تمرین، به‌عنوان عامل احتمالی بهبود عملکرد بررسی نشده است. تاکنون اثر تعاملی این دو مکمل بر انتخاب سوبسترای مصرفی درحین تمرین و درپی آن، بر عملکرد استقامتی بررسی نشده است؛ بنابراین، هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین تأثیر هم‌زمان مصرف مکمل‌های کافئین و ال-کارنیتین بر انتخاب سوبسترای مصرفی درحین تمرین و اثر احتمالی آن بر عملکرد استقامتی بود.

روش پژوهش

طرح پژوهش حاضر ازنوع نیمه‌تجربی بود که به‌صورت متقاطع[2] انجام شد (نحوهٔ شرکت‌کردن آزمودنی‌ها در کوشش‌های تمرینی در جدول شمارهٔ یک گزارش شده است). ازلحاظ هدف نیز مطالعهٔ حاضر جزو پژوهش‌های کاربردی است. جامعهٔ آماری پژوهش حاضر همهٔ کاراته‌کاران مرد نخبهٔ شهر کرمان، عضو باشگاه‌های شاهین، عقاب و جوانمرد بودند که حداقل در ردهٔ استانی دارای مقام بودند و سابقهٔ بیش از سه سال تمرین حرفه‌ای کاراته را داشتند. نمونهٔ آماری پژوهش، ۱۵ کاراته‌کار مرد با دامنهٔ سنی ۲۰-۳۰ بودند که به‌صورت هدفمند انتخاب شدند و در مطالعه شرکت کردند. پس از انجام هماهنگی‌های لازم برای شرکت آزمودنی‌ها در پژوهش، رضایت‌نامهٔ همکاری در پژوهش از تمام آزمودنی‌ها دریافت شد. سه نفر از آزمودنی‌ها از ادامهٔ پژوهش انصراف دادند و تجزیه‌وتحلیل نهایی با ۱۲ نفر انجام شد. آزمودنی‌ها از انجام فعالیت جسمانی شدید ۴۸ ساعت قبل از روز آزمون منع بودند. فاصلهٔ بین هر آزمون یک هفته بود و عملیات آزمون‌گیری هر آزمودنی تاحدامکان در ساعتی یکسان از روز انجام می‌شد. در هر جلسه تمرین، آزمودنی‌ها یک آزمون فزایندهٔ استاندارد را روی دوچرخهٔ ارگومتر به شرح زیر انجام دادند.

1. Cha
2. Counter Balance Design

جدول ۱- نحوهٔ شرکت‌کردن متقاطع آزمودنی‌ها در کوشش‌های تمرینی

زیر گروه ها	جلسهٔ اول	جلسهٔ دوم	جلسهٔ سوم	جلسهٔ چهارم
آزمودنی‌های یک تا سه	کوشش کنترل	کوشش ترکیبی	کوشش کافئین	کوشش ال-کارنیتین
آزمودنی‌های چهار تا شش	کوشش ترکیبی	کوشش کنترل	کوشش ال-کارنیتین	کوشش کافئین
آزمودنی‌های هفت تا نه	کوشش کافئین	کوشش ال-کارنیتین	کوشش کنترل	کوشش ترکیبی
آزمودنی‌های ۱۰ تا ۱۲	کوشش ال-کارنیتین	کوشش کافئین	کوشش ترکیبی	کوشش کنترل

آزمودنی‌ها به‌طور متقاطع در پژوهش شرکت کردند؛ به‌گونه‌ای‌که چهار بار به فاصلهٔ یک هفته از یکدیگر در چهار تلاش مجزا، مکمل‌دهی کافئین، کارنیتین، کافئین-کارنیتین و دارونما را دریافت کردند. در جلسهٔ اول، آشنایی با محیط آزمایشگاه و آشنایی با آزمون ورزش انجام شد و شاخص‌های آنتروپومتریک و ترکیب بدنی آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شدند. هر آزمودنی آزمون فزایندهٔ استاندارد روی چرخ ارگومتری مونارک مدل ۸۳۹E ساخت کشور سوئد (مطابق با دستورالعمل آمده در بخش روش) را تا حد واماندگی انجام داد. حداکثر اکسیژن مصرفی به‌عنوان ملاکی از عملکرد استقامتی تعیین شد و نقاط Fat_{max}[1] و COP به‌عنوان شاخصی از انتخاب سوبسترای مصرفی درحین فعالیت تعیین شدند و بار کاری و اکسیژن مصرفی معادل با آن‌ها استخراج شد و این متغیرها با هم مقایسه شدند. همچنین، نمونه‌گیری خون از آزمودنی‌ها با هدف اندازه‌گیری غلظت اسید چرب آزاد و تری‌گلیسرید پلاسما (TG)[2]، قبل از مصرف مکمل و بلافاصله بعد از اتمام آزمون انجام شد.

مقدار مصرف مکمل‌ها، پنج میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن مکمل کافئین در کوشش کافئین (۱۱)، سه گرم ال-کارنیتین در کوشش ال-کارنیتین (۱۲)، پنج میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن مکمل کافئین به‌علاوهٔ سه گرم ال-کارنیتین در کوشش ترکیبی و ۲۵۰ میلی‌گرم لاکتوز در کوشش کنترل، در کپسول‌های مشابه بود که ۶۰ دقیقه قبل از شروع آزمون فزاینده دراختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت و به‌صورت خوراکی مصرف شد (۱۶). هر دو مکمل محصول ساخت شرکت Nutrex ایالات متحدهٔ آمریکا بودند.

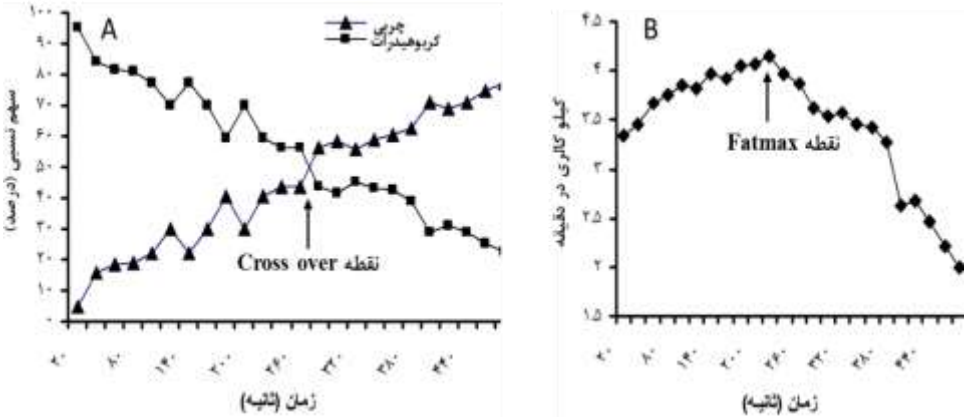
1. Fat Maximal Point
2. Tri Glyceride

۶۰ دقیقه بعد از مصرف مکمل، آزمودنی‌ها به‌مدت سه دقیقه رکاب‌زدن با ۵۰ وات گرم‌کردن را انجام دادند. درخلال انجام آزمون، ازطریق ماسک دوطرفه با مقاومت و فضای مرده اندک[1] (۴۰ میلی‌لیتر) تنفس انجام شد و گازهای تنفسی در تمامی طول آزمون به‌وسیلهٔ دستگاه گاز آنالایزر (مدل Cortex, Metalyzer 3B-R2 ساخت کشور آلمان) به‌طور نفس‌به‌نفس جمع‌آوری شدند. عمل کالیبراسیون دستگاه با استفاده از کپسول‌های محتوی O_2 و CO_2 رفرنس و هوای محیط قبل از شروع هر آزمون انجام شد. سپس، افزایش در مقاومت به اندازهٔ ۲۵ وات در هر سه دقیقه یک بار اعمال شد. این عمل تا وقوع VO_{2max} ادامه داشت و آزمودنی‌ها به‌طور شفاهی تشویق می‌شدند آزمون را تاجایی‌که امکان دارد، ادامه دهند. در این پژوهش، وقوع VO_{2max} براساس دستیابی به دو فاکتور از سه شاخص زیر تعریف شد ۱۷): ۱- حالت فلات در VO_2 با وجود افزایش در مقاومت (افزایش کمتر از ۵۰ میلی‌لیتر)، ۲- نسبت تنفسی بیشتر از ۱/۱۵ و ۳- رسیدن ضربان قلب به ضربان قلب بیشینهٔ پیش‌بینی‌شده براساس سن (سن- ۲۲۰).

برای تعیین آستانهٔ بی‌هوازی از نمودار معادل تهویه‌ای اکسیژن (VE/VO_2) استفاده شد. ابتدا نمودار VE/VO_2 به بارکاری ترسیم شد و نقطه‌ای که در آن معادلهٔ تهویهٔ اکسیژن دچار شکست ناگهانی می‌شد، بدون اینکه با شکست هم‌زمان در منحنی VE/VCO_2 همراه باشد، به‌عنوان آستانهٔ بی‌هوازی تعریف شد (۱۸). تعیین نقطهٔ شکست با استفاده از مدل رگرسیونی و تعیین نقاط عطف منحنی به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار دستگاه گاز آنالیزور انجام شد. بعد از مشخص‌شدن این نقطه، ضربان قلب و اکسیژن مصرفی معادل با این نقطه استخراج شد و برای تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی استفاده شد. زمان رسیدن به واماندگی شامل حد فاصل بین شروع و اتمام آزمون فزاینده بود. حداکثر بارکاری تحمل‌شده به‌عنوان بارکاری معادل با آخرین مرحله‌ای درنظر گرفته شد که آزمودنی توانسته بود به‌طور کامل انجام دهد. برای تعیین سوبسترای مصرفی درحین تمرین از دو شاخص COP و Fat_{max} استفاده شد (۱۹). برای محاسبهٔ COP، ابتدا فواصل آزمون به دوره‌های ۲۰ ثانیه‌ای تقسیم شدند. سپس، مقادیر میانگین نسبت تبادل تنفسی (RER)[2] ثبت‌شده درخلال این دورهٔ ۲۰ ثانیه‌ای محاسبه شدند و براساس آن و طبق جداول کالری‌سنجی موجود، سهم نسبی کربوهیدرات و چربی مصرفی معادل با هر بازهٔ زمانی درخلال آزمون فزاینده محاسبه شد. سپس، نمودار مصرف کربوهیدرات و چربی به زمان (هر دو روی یک نمودار) ترسیم شد. نقطه‌ای که دو نمودار یکدیگر را قطع می‌کنند، به‌عنوان COP تعریف شد (۱۹). این نقطه روی نمودار کاملاً مشخص و با چشم تعیین‌شدنی است. بعد از استخراج این نقطه، متغیرهای معادل با آن شامل بارکاری و اکسیژن مصرفی این نقطه استخراج شدند و برای

1. Low Dead Space
2. Respiratory Exchange Ratio

تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی استفاده شدند. در شکل شمارهٔ یک، بخش A نحوهٔ تعیین این نقطه در یکی از آزمودنی‌های پژوهش را نشان می‌دهد. برای محاسبهٔ شاخص Fat_{max}، ابتدا مقادیر اکسیژن مصرفی و نسبت تبادل تنفسی معادل با هر وهلهٔ ۲۰ ثانیه‌ای تمرین محاسبه شدند. سپس، کالری مصرفی معادل با این میزان مصرف اکسیژن با درنظرگرفتن مقادیر RER طبق جداول کالری‌سنجی موجود استخراج شد. در مرحلهٔ بعد، سهم نسبی چربی در کالری کل در هر وهلهٔ زمانی تعیین شد (۲۰). بیشترین عدد به‌دست‌آمده به‌عنوان Fat_{max} درنظر گرفته شد. بعد از استخراج این نقطه، متغیرهای معادل با آن شامل اکسیژن مصرفی و بارکاری استخراج شدند و برای تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی استفاده شدند. در شکل شمارهٔ یک، بخش B نحوهٔ تعیین این نقطه را در یکی از آزمودنی‌های پژوهش نشان می‌دهد.



شکل ۱- نحوهٔ تعیین نقطهٔ تقاطع (A) و نقطهٔ حداکثر اکسیداسیون چربی (B) در یکی از آزمودنی‌های پژوهش

نمودار B میزان کالری تولیدی از سوختن چربی را در هر بارکاری نشان می‌دهد

قبل از مصرف مکمل و بلافاصله بعد از اتمام آزمون فزاینده، نمونهٔ خونی از ورید بازویی آنتی‌کوبیتال دست چپ به مقدار پنج میلی‌لیترگرفته شد. نمونهٔ خونی پس از جمع‌آوری در لوله‌های مناسب برای جداکردن پلاسما نگهداری شد و به آزمایشگاه منتقل شد. برای جداکردن پلاسما، نمونهٔ خونی به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجهٔ سانتی‌گراد در g ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شد، پلاسما جدا گردید و در دمای منفی ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری اسید چرب و تری‌گلیسرید پلاسما نگهداری شد. اندازه‌گیری تری‌گلیسرید با استفاده از کیت‌های شرکت پارس‌آزمون ساخت ایران و به کمک دستگاه اتوآنالیزور (Mind Ray BS200) انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت اسیدهای چرب آزاد

غیراستریفه‌شدهٔ پلاسما، از کیت رنگ‌سنجی NEFA شرکت RANDOX محصول کشور انگلستان با حساسیت ۰/۱ میلی‌مول بر لیتر استفاده شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس.[1] انجام شد. در بخش آمار توصیفی از شاخص‌های پراکندگی مرکزی ازقبیل میانگین و انحراف استاندارد انجام شد. در بخش آمار استنباطی، برای تعیین طبیعی‌بودن توزیع داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف[2] و برای همگنی کوواریانس‌ها از آزمون کرویت موخلی[3] استفاده شد. از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر[4] و آزمون بونفرونی[5] برای مقایسهٔ شاخص‌های پژوهش بین کوشش‌های مجزا استفاده شد. سطح معناداری در تمام مقایسه‌ها ($\alpha = 0.05$) درنظر گرفته شد.

نتایج

در جدول شمارهٔ دو، ویژگی‌های جسمانی آزمودنی‌ها شامل سن، قد، وزن، درصد چربی وشاخص توده بدن (BMI)[6] گزارش شده‌اند.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌های پژوهش

متغیر	میانگین ± انحراف استاندارد
سن (سال)	۲۴/۴۴ ± ۳/۸۱
وزن (کیلوگرم)	۷۲/۱۵ ± ۸/۳۱
قد (سانتی‌متر)	۱۷۳/۱۶ ± ۵/۱۴
BMI (کیلوگرم/متر مربع)	۲۳/۹۵ ± ۲/۵۴

داده‌ها، میانگین و انحراف استاندارد هستند (تعداد = ۱۲)

انجام آزمون فزاینده در هر چهار کوشش مجزای تمرینی سبب افزایش معنادار سطوح FFA نسبت به مقادیر پیش‌آزمون شد (همه $P < 0.05$ در جدول شمارهٔ سه). میزان تغییرات سطوح FFA در کوشش کافئین (۱۸ درصد) و در کوشش ترکیبی (۲۴ درصد) نسبت به تغییرات آن در کوشش کنترل، به‌طور معناداری بیشتر بود (هر دو $P < 0.05$). همچنین، میزان تغییرات FFA و تغییرات آن در گروه ترکیبی نسبت به گروه کافئین به‌طور غیر معناداری بیشتر بود. درپی انجام آزمون فزاینده، سطوح TG پلاسما

1. SPSS
2. Kolmogorov–Smirnov Test
3. Mauchly's Test of Sphericity
4. ANOVA with Repeated Measure
5. Bonferoni
6. Body Mass Index

در هر چهار کوشش تمرینی نسبت به مقادیر پیش‌آزمون تغییری معنادار نداشتند. همچنین، تغییرات سطوح TG پلاسما درحین تمرین بین چهار کوشش تفاوت معنادار نداشت.

جدول ۳- مقادیر مربوط به FFA و TG پلاسما قبل و بعد آزمون و میزان تغییرات آن‌ها

متغیر	زمان سنجش	کنترل	کافئین	ال-کارنیتین	ترکیبی
اسید چرب آزاد	قبل از آزمون	۲۸۶ ± ۵۶	۲۷۲ ± ۶۵	۲۹۵ ± ۶۲	۲۸۹ ± ۴۲
پلاسما	بعد از آزمون	۵۶۸ ± ۱۱۲*	۶۷۵ ± ۱۳۶*	۵۱۶ ± ۱۲۴*	۷۲۱ ± ۱۳۴*
(میکرومول برلیتر)	میزان تغییرات	۲۸۲ ± ۶۸	۴۰۳ ± ۱۲۴ #	۲۹۱ ± ۸۶	۴۳۲ ± ۱۵۸ #
تری‌گلیسرید	قبل از آزمون	۸۴/۳ ± ۲۳/۶	۷۷/۶ ± ۱۷	۸۲/۶ ± ۲۲/۴	۷۷/۴ ± ۲۳/۵
پلاسما (میلی	بعد از آزمون	۷۸/۵ ± ۲۲/۴	۷۴/۵ ± ۱۸/۳	۷۸/۶ ± ۱۹/۸	۷۳/۵ ± ۲۳/۶
گرم بردسی لیتر)	میزان تغییرات	۶ ± ۲/۷	۴/۲ ± ۱/۹	۴/۶ ± ۱/۷	۴/۵ ± ۱/۹

هر عدد میانگین و انحراف استاندارد ۱۲ نفر است.

#: اختلاف معنادار با کوشش کنترل ($P < 0.05$)، *: اختلاف معنادار با مقادیر پیش‌آزمون ($P < 0.05$)

جدول شمارهٔ چهار مقادیر مربوط به حداکثر اکسیژن مصرفی، زمان رسیدن به واماندگی، حداکثر بار کاری تحمل‌شدهٔ درپی انجام آزمون فزایندهٔ استاندارد و همچنین، مقادیر مربوط به بار کاری و اکسیژن مصرفی معادل با FAT_{max} و COP و زمان رسیدن به این نقاط درخلال آزمون فزایندهٔ استاندارد را نشان می‌دهد. اکسیژن مصرفی معادل با نقطهٔ COP در کوشش کافئین و ترکیبی، به‌ترتیب ۱/۲۸ و ۱/۴۹ برابر مقادیر آن در کوشش کنترل بود و در کوشش ترکیبی ۱/۱۳ برابر کوشش کافئین بود. مقادیر این فاکتور بین گروه‌های کافئین و کنترل ($P < 0.01$)، گروه‌های ترکیبی و کنترل ($P < 0.01$) و گروه‌های ترکیبی و کافئین ($P < 0.05$) تفاوت معنادار داشت. اکسیژن مصرفی معادل با Fat_{max}، در کوشش کافئین ۱/۲۸ و در کوشش ترکیبی ۱/۴۳ برابر مقادیر آن و در کوشش کنترل و در کوشش ترکیبی ۱/۱۲ برابر کوشش کافئین بود. مقادیر این فاکتور بین گروه‌های کافئین و کنترل ($P < 0.01$)، گروه‌های ترکیبی و کنترل ($P < 0.01$) و گروه‌های ترکیبی و کافئین ($P < 0.05$) تفاوت معنادار داشت. بار کاری معادل با COP در کوشش کافئین و ترکیبی، به‌ترتیب ۱/۱۸ و ۱/۳۱ برابر مقادیر آن در کوشش کنترل و در کوشش ترکیبی ۱/۱۱ برابر کوشش کافئین بود. مقادیر آن بین کوشش کافئین و کنترل، بین کوشش ترکیبی و کنترل (هر دو $P < 0.01$) و بین کوشش کافئین و ترکیبی ($P < 0.05$) تفاوت معنادار داشت. بار کاری معادل با نقطه Fat_{max}، در کوشش کافئین و ترکیبی به‌ترتیب ۱/۲۷ و ۱/۴۲ برابر مقادیر آن در کوشش کنترل و در کوشش ترکیبی ۱/۱۲ برابر کوشش کافئین بود. مقادیر این فاکتور بین کوشش کافئین و کنترل، بین کوشش ترکیبی و کنترل و بین کوشش کافئین و ترکیبی (هر سه $P < 0.05$) تفاوت معنادار داشت. زمان رسیدن به نقطهٔ COP در کوشش کافئین و

ترکیبی به‌ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۵۶ برابر کوشش کنترل و در کوشش ترکیبی ۱/۱۵ برابر کوشش کافئین بود. مقادیر فاکتور زمان رسیدن به نقطهٔ COP بین کوشش کافئین و کنترل ($P < 0.01$)، کوشش ترکیبی و کنترل ($P < 0.01$) و کوشش کافئین و ترکیبی ($P < 0.05$) تفاوت معنادار داشت.

جدول ۴- توصیف متغیرهای وابستهٔ پژوهش درخلال انجام آزمون فزاینده

متغیر	کنترل	کافئین	ال-کارنیتین	(کافئین- ال کارنیتین)
VO_{2max} ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	۴۰/۲ ± ۸/۸	۴۱/۶ ± ۶/۷	۴۱/۵ ± ۶/۵	۴۱/۰ ± ۸/۷
حداکثر بار کاری تحمل‌شده (وات)	۲۴۴ ± ۲۴	۲۵۰ ± ۲۵	۲۴۷ ± ۲۲	۲۵۸ ± ۳۲
زمان رسیدن به نقطهٔ COP (ثانیه)	۳۴۹ ± ۸۷	۴۷۵ ± ۹۴ *	۳۷۸ ± ۸۴	۵۴۵ ± ۱۰۵ *
زمان رسیدن به نقطهٔ Fatmax (ثانیه)	۲۰۸ ± ۳۵	۳۴۸ ± ۷۳ *	۲۲۰ ± ۴۴	۳۹۰ ± ۸۶ *
بار کاری معادل با Cross over (وات)	۹۷/۸ ± ۲۳/۴	۱۱۶ ± ۲۳ *	۱۰۵ ± ۱۶/۷	۱۲۸ ± ۳۴ *
بار کاری معادل با Fatmax (وات)	۷۶/۶ ± ۱۷/۶	۹۷ /۲ ± ۳۱/۷ *	۸۱/۲ ± ۱۷/۶	۱۰۸ ± ۳۰/۱ *
بار کاری معادل با آستانهٔ بی‌هوازی (وات)	۱۷۱/۹ ± ۱۴/۴	۱۹۲/۶ ± ۱۷/۲ *	± ۱۵/۶ ۱۸۳/۱	۲۱۰ ± ۱۶/۶ *
اکسیژن مصرفی معادل با Cross over ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	۱۴/۲ ± ۱/۹	۱۸/۸ ± ۳/۱ *	۱۶ /۲ ± ۲	۲۱/۲ ± ۳/۲ *
اکسیژن مصرفی معادل با Fat_{max} ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	۱۲/۱ ± ۱/۵	۱۵/۶ ± ۲/۳ *	۱۳/۴ ± ۱/۷	۱۷/۴ ± ۲/۸ *
اکسیژن مصرفی معادل با آستانهٔ بی‌هوازی ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	۲۹/۲ ± ۷/۴	۳۲/۵ ± ۷/۴ *	۳۰/۱ ± ۶/۷	۳۴/۴ ± ۸/۲ *

داده‌ها، میانگین و انحراف استاندارد هستند (تعداد = ۱۲)

*: اختلاف معنادار با کوشش کنترل ($P < 0.05$)

درپی مصرف ال-کارنیتین، تفاوتی معنادار در فاکتورهای معادل با COP و Fat_{max} نسبت به کوشش کنترل ایجاد نشد. همچنین، مقادیر VO_{2max}، حداکثر بار کاری تحمل‌شده و زمان رسیدن به واماندگی، بین چهار کوشش تمرینی با هم تفاوتی معنادار نداشتند.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعهٔ حاضر با هدف تعیین تأثیر مصرف هم‌زمان مکمل‌های کافئین و ال-کارنیتین بر انتخاب سوبسترای مصرفی و همچنین، بررسی اثر احتمالی آن بر عملکرد استقامتی انجام شد. مهم‌ترین یافته‌های پژوهش این بود که مصرف مکمل کافئین به‌تنهایی و در ترکیب با ال-کارنیتین با افزایش سطوح FFA و فراهمی این سوبسترا، سبب تغییر در سوبسترای مصرفی به‌سمت چربی می‌شود و این تغییرات باعث تأخیر در وقوع نقطهٔ COP و Fat_{max} می‌شود. نتیجهٔ نهایی این اثر بهبود عملکرد استقامتی است که در این پژوهش با اکسیژن مصرفی معادل با آستانهٔ بی‌هوازی برآورد شد. همچنین، مصرف ترکیبی مکمل‌های کافئین و ال-کارنیتین اثری بیشتر از مصرف مکمل کافئین به‌تنهایی بر انتخاب سوبسترای مصرفی دارد.

در پژوهش حاضر، ابتدا برای اطمینان از تأثیر مکمل‌های کافئین و ال-کارنیتین بر انتخاب سوبسترا و عملکرد استقامتی، اثرهای این دو مکمل بر تغییرات FFA و TG پلاسما بعد از انجام آزمون استاندارد فزایندهٔ ارگومتری سنجیده شدند و نتایج از افزایش بیشتر سطوح FFA درپی مصرف کافئین به‌تنهایی یا در ترکیب با ال-کارنیتین نسبت به کوشش کنترل حاکی بود. افزایش سطوح اسیدهای چرب چه در حالت استراحت و چه درحین تمرین (۲۱) درپی مصرف کافئین، در پژوهش‌های گذشته گزارش شده است که از دوزی مشابه با دوز مصرفی پژوهش حاضر (پنج میلی گرم در کیلوگرم) استفاده کرده‌اند. همچنین، در پژوهش‌های پیشین، افزایش درخور توجه (بیشتر از ۱۰ برابر) مقادیر کافئین پلاسما ۶۰ دقیقه بعد از این دوز مصرفی گزارش شده است (۲۲)؛ بنابراین، برای حصول اطمینان از اینکه سطوح کافئین در پژوهش حاضر درپی مکمل‌دهی دستخوش تغییر شده است، شروع آزمون ۶۰ دقیقه بعد از مصرف مکمل قرار داده شد. اثرهای کافئین بر سطوح FFA پلاسما به عملکرد آن بر آنزیم فسفودی استراز و ترشح کاتکولامین‌ها مربوط می‌شود. کافئین با مهار آنزیم فسفودی استراز، آنزیمی که آدنوزین مونوفسفات حلقوی (cAMP)[1] را به AMP تبدیل می‌کند، سبب افزایش غلظت cAMP در بافت چربی و سبب فعال‌شدن لیپاز حساس به هورمون (HSL)[2] می‌شود و نتیجهٔ غایی آن تسهیل لیپولیز در بافت چربی است. همچنین، غلظت افزایش‌یافتهٔ cAMP در غدد فوق‌کلیوی به

1. Cyclic Adenosine Monophosphate
2. Hormone Sensitive Lipase

تحریک ترشح کاتکولامین‌ها از بخش مرکزی آن منجر می‌شود که با اثر بر بافت چربی باعث تحریک لیپولیز می‌شوند (۲۳). این عوامل می‌توانند سطوح افزایش‌یافتهٔ اسید چرب پلاسما را درپی مصرف کافئین به‌تنهایی یا در ترکیب با ال-کارنیتین تغییر دهند؛ نتیجه‌ای که در پژوهش‌های گذشته گزارش شده است (۲۴)؛ باوجوداین، سطوح تری‌گلیسرید پلاسما بعد از انجام آزمون فزاینده نسبت به کوشش کنترل دستخوش تغییر معنادار نشد. این نتیجه می‌تواند یا به‌دلیل اثرنگذاشتن مکمل‌های پژوهش حاضر بر تجزیهٔ تری‌گلیسرید پلاسما یا به‌دلیل اندازه‌گیری تری‌گلیسرید پلاسما در شدت‌های بیشینه اتفاق افتاده باشد؛ زیرا، مقدار چشمگیری از چربی در دامنهٔ ۲۰ تا ۴۰ میلی‌مول در هر کیلوگرم عضلهٔ اسکلتی انسان ذخیره می‌شود؛ به‌طوری‌که دومین منبع از ذخایر چربی، تری‌گلیسرید درون‌عضلانی (IMTG)[1] است. معمولاً در تمرین شدت‌های بالا، اتکای عضلات به سوزندان تری‌گلیسرید درون‌عضلانی افزایش می‌یابد (۲۵) و به‌موازات آن، اتکا به مصرف TG پلاسما کاهش می‌یابد. همچنین، در شدت‌های بالا اتکا به منابع قندی (که اکسیژن مصرفی را مقصدانه‌تر از چربی مصرف می‌کند)، افزایش می‌یابد که خود می‌تواند اتکا به سوخت TG پلاسما را کاهش دهد و از اهمیت آن بکاهد.

با توجه به اینکه COP و FATmax در شدت‌های پایین تمرین اتفاق می‌افتند، این احتمال وجود دارد که سطوح ال-کارنیتین در این شدت‌ها بتواند نیازهای انتقال میتوکندریایی اسیدهای چرب را انجام دهد و بنابراین، فرایند مکمل‌دهی اثری بر این شاخص‌ها نداشته باشد. همچنین، شواهدی مبنی‌بر تأثیرنگذاشتن ال-کارنیتین به‌تنهایی بر اکسیداسیون لیپید وجود دارد؛ برای مثال، یافته‌های مطالعهٔ موروساکی[2] و همکاران (۲۶) حاکی است که ترکیب کافئین، آرژنین، ایزوفلاون و ال-کارنیتین به افزایش معنادار لیپولیز و بتااکسیداسیون منجر می‌شود، ولی این تغییرات ناشی از ال-کارنیتین نیستند؛ زیرا، تأثیر مصرف ال-کارنیتین به‌تنهایی بر لیپولیز مشاهده نشده است. همچنین، این احتمال وجود دارد که ال-کارنیتین جزو آن دسته از مکمل‌هایی باشد که مصرف حاد آن بر اکسیداسیون لیپید اثرگذار نباشد و برای استفاده از این مکمل با هدف افزایش اکسیداسیون لیپید، باید مکمل‌سازی بلندمدت آن در دستور کار قرار گیرد؛ زیرا، بیشتر مطالعاتی که تأثیر نداشتن این مکمل به تنهایی را بر اکسیداسیون لیپید گزارش کرده‌اند، عمدتاً مکمل‌سازی حاد را انجام داده‌اند؛ بنابراین، برای رفع این محدودیت و امکان اظهارنظر قطعی درزمینهٔ اثر ال-کارنیتین بر عملکرد استقامتی، انجام پژوهش‌هایی در آینده با هدف مکمل‌سازی بلندمدت ال-کارنیتین و سنجش اثر تعاملی آن با مکمل کافئین پیشنهاد می‌شود.

1. Intramuscular Tri Glyceride
2. Murosaki

پس از تأیید اثر مصرف مکمل‌های تجویزشده بر افزایش سطوح اسیدهای چرب آزاد پلاسما درحین انجام آزمون فزاینده، پژوهش حاضر سعی در آزمون فرضیهٔ تأثیر افزایش سطوح FFA بر انتخاب سوبسترای مصرفی درحین تمرین داشت. منطق این فرضیه براساس اصل انعطاف‌پذیری متابولیکی در عضلهٔ اسکلتی، به‌عنوان مهم‌ترین بافت انجام فعالیت بدنی و فعال‌ترین بافت متابولیک درحین تمرین استوار بود. طبق این اصل، بافت‌هایی از بدن که به سوزاندن سوبستراهای سوختی نظیر چربی، کربوهیدرات، پروتئین و غیره مجهز هستند، می‌توانند با توجه به نیازهای متابولیک بدن سوخت ارجح خود را ازبین سوبستراهای موجود انتخاب کنند یا درصدهای استفاده‌شده از این سوبستراها را با توجه به شرایط موجود تغییر دهند. انتخاب سوبسترای مصرفی درحین تمرین تحت کنترل عوامل متعددی قرار می‌گیرد، اما موجودیت و فراهمی سوبسترای مصرفی در رأس عوامل تأثیرگذار بر انتخاب سوبسترای مصرفی است؛ به‌عنوان‌مثال، افزایش دردسترس‌بودن اسیدهای چرب می‌تواند میزان کربوهیدرات مصرفی درحین تمرین را کاهش دهد یا در شرایطی که موجودیت کربوهیدرات و چربی کافی نباشد، سوخت متابولیک می‌تواند به سمت پروتئین و اجسام کتونی سوق پیدا کند (۲۷)؛ بنابراین، با توجه به افزایش درخور توجه FFA درپی مصرف مکمل کافئین به‌تنهایی یا در ترکیب با ال-کارنیتین، انتظار تغییر در سوبسترای مصرفی در پژوهش حاضر وجود داشت؛ براین‌اساس، برای مشخص‌شدن این مهم، در مطالعهٔ حاضر نقاط COP و Fat_{max} دربین کوشش‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. استفاده از این شاخص‌ها برای برآورد سوبسترای مصرفی درحین تمرین یا استراحت به‌کرات در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است (۲۸). برای تعیین عوامل مؤثر در تغییرات مشاهده‌شده در عملکرد استقامتی و جست‌وجوی این مطلب که آیا تغییرات مشاهده‌شده در عملکرد استقامتی از تغییر سوبسترای مصرفی درحین تمرین ناشی هستند، متغیرهای معادل با نقاط Fat_{max} و COP بین چهار کوشش تمرینی با هم مقایسه شدند. نتایج پژوهش حاضر از این حاکی بود که میزان اکسیژن مصرفی در نقطهٔ معادل با Fat_{max} و COP در کوشش‌های کافئین و ترکیبی بیشتر از کوشش کنترل بوده است. نقطهٔ COP شدتی از تمرین است که در آن سوخت مصرفی از چربی به کربوهیدرات تغییر می‌کند و تغییر در این نقطه به معنای تغییر در سوبسترای مصرفی درحین تمرین است؛ بنابراین، وقوع با تأخیر بیشتر نقطهٔ COP در کوشش‌های کافئین و ترکیبی می‌تواند به‌دلیل وابستگی به استفاده از چربی به‌عنوان سوبسترای غالب بعد از مصرف این مکمل‌ها باشد. در سطح بیوشیمیایی، افزایش فراهمی و دسترسی به چربی‌ها به‌دنبال مصرف ترکیبی این دو مکمل باعث افزایش اکسیداسیون چربی در عضله می‌شود. این تغییر در سوخت ترجیحی با افزایش هم‌زمان محتوای استیل کوآنزیم A (COA)[1] ناشی از بتااکسیداسیون بیشتر لیپید و به‌دنبال آن، تولید بیشتر سیترات به‌وسیلهٔ سیکل

1. Acetyl Coenzyme A

کربس، همراه می‌شود. افزایش استیل کوآنزیم A و سیترات به مهار فعالیت دو آنزیم کلیدی گلیکولیز پیروات دهیدروژناز (PDH)[1] و فسفو فروکتوکیناز (PFK)[2] منجر می‌شود و در ادامه، مهار این دو آنزیم سبب تجمع گلوکز-شش-فسفات (G-6-P)[3] عضله می‌شود و درنتیجه، تمایل عضلهٔ اسکلتی به مصرف کربوهیدرات کاهش می‌یابد و به تبع آن، وقوع نقطهٔ COP به‌تعویق می‌افتد. دلیل آشکار دال بر افزایش سوخت چربی درپی مصرف مکمل کافئین به‌تنهایی و به‌صورت ترکیبی، بالاتربودن اکسیژن مصرفی و بار کاری معادل نقطهٔ Fat_{max} در این کوشش‌ها نسبت به کوشش کنترل بود.

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد که مصرف مکمل کافئین قبل از تمرین با افزایش موجودیت و فراهمی اسید چرب سبب تغییر سوبسترای مصرفی به‌سمت چربی می‌شود که عملکرد استقامتی را بهبود می‌بخشد. این اتفاق با به‌تأخیرانداختن وقوع نقاط COP و Fat_{max} حمایت می‌شود. مصرف هم‌زمان این مکمل با ال- کارنیتین اثرهای مفید مصرف کافئین را تشدید می‌کند.

پیام مقاله: نتایج پژوهش حاضر پیش‌درآمدی دربارهٔ اثرگذاری مثبت مصرف هم‌زمان دو مکمل کافئین و ال-کارنیتین بر عملکرد ورزشکارانی است که تمرین خود را در محدودهٔ زیر آستانهٔ بی‌هوازی انجام می‌دهند؛ باوجوداین، اظهارنظر قطعی مستلزم انجام پژوهش‌های بعدی است.

منابع

1. Gagnon DD, Perrier L, Dorman SC, Oddson B, Larivière C, Serresse O. Ambient temperature influences metabolic substrate oxidation curves during running and cycling in healthy men. Eur J Sport Sci. 2020; 20(1):90-9.
2. Farhadi H, Hadi H, Sabegh MA. Effect of caffeine gum ingestion on blood lactate and glucose during 1500 m running. Ann Biol Res. 2011; 2(5):252-7 (in persian).
3. Oberlin-Brown KT, Siegel R, Kilding AE, Laursen PB. Oral presence of carbohydrate and caffeine in chewing gum: independent and combined effects on endurance cycling performance. Int J Sports physiol. 2016;11(2):164-71.
4. Marshall K. The effect of different dosages of caffeine on time to exhaustion in prolonged exercise in trained athletes (a meta analysis). The Plymouth Student Scientist. 2010;3(2):18-39.
5. Kudoh Y, Aoyama S, Torii T, Chen Q, Nagahara D, Sakata H, et al. L-carnitine kinetics in chronic hemodialysis patients: comparison between oral and intravenous supplementation. J Biochem Pharmacol Res. 2014; 2(2):117-24.
6. Kelek SE, Afşar E, Akçay G, Danışman B, Aslan M. Effect of chronic L-carnitine supplementation on carnitine levels, oxidative stress and apoptotic markers in peripheral organs of adult Wistar rats. Food Chem Toxicol. 2019;134: 1-7.

1. Pyruvate Dehydrogenase
2. Phospho Fructo Kinase
3. Glucose 6 Phosphate

7. Pooyandjoo M, Nouhi M, Shab-Bidar S, Djafarian K, Olyaeemanesh A. The effect of (L-) carnitine on w eight loss in adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controll edtrials. Endocrinologia. 2018; 23(1):83-90.
8. Fielding R, Riede L, Lugo JP, Bellamine A. l-Carnitine supplementation in recovery after exercise. Nutrients. 2018;10(3):1-17.
9. Leelarungrayub J, Pinkaew D, Klaphajone J, Eungpinichpong W, Bloomer RJ. Effects of L-carnitine supplementation on metabolic utilization of oxygen and lipid profile among trained and untrained humans. Asian J Sports Med. 2017; 8(1): 1-9.
10. Bell DG, Jacobs I, Ellerington K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. Med Sci Sports Exercise. 2001; 33(8):1399-403.
11. Gonçalves LdS, Painelli VdS, Yamaguchi G, Oliveira LFd, Saunders B, da Silva RP, et al. Dispelling the myth that habitual caffeine consumption influences the performance response to acute caffeine supplementation. J Appl Physiol. 2017;123(1):213-20.
12. Mielgo-Ayuso J, Calleja-Gonzalez J, Del Coso J, Urdampilleta A, León-Guereño P, Fernández-Lázaro D. Caffeine supplementation and physical performance, muscle damage and perception of fatigue in soccer players: A systematic review. Nutrients. 2019;11(2):1-15.
13. Kammerer M, Jaramillo JA, García A, Calderin JC, Valbuena LH. Effects of energy drink major bioactive compounds on the performance of young adults in fitness and cognitive tests: a randomized controlled trial. J Int Soc Sports Nutr. 2014;11(1):1-7.
14. Cha Y-S, Choi S-K, Suh H, Lee S-N, Cho D, Lim K. Effects of carnitine coingested caffeine on carnitine metabolism and endurance capacity in athletes. J Nutr Sci Vitaminol. 2001;47(6):378-84.
15. Burrus BM, Moscicki BM, Matthews TD, Paolone VJ. The effect of acute l-carnitine and carbohydrate intake on cycling performance. Int J Exer Sci. 2018;11(2):404-416.
16. San Juan AF, López-Samanes Á, Jodra P, Valenzuela PL, Rueda J, Veiga-Herreros P, et al. Caffeine supplementation improves anaerobic performance and neuromuscular efficiency and fatigue in Olympic-level boxers. Nutrients. 2019;11(9):1-15.
17. Nikooie R, Gharakhanlo R, Rajabi H, Bahraminegad M, Ghafari A. Noninvasive determination of anaerobic threshold by monitoring the %SpO2 changes and respiratory gas exchange. J Strength Cond Res 2009;23(7):2107-13.
18. Pallarés JG, Morán-Navarro R, Ortega JF, Fernández-Elías VE, Mora-Rodriguez RJPo. Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. PLoS One. 2016;11(9):1-16.
19. Gmada N, Marzouki H, Haboubi M, Tabka Z, Shephard R, Bouhlel E. Crossover and maximal fat-oxidation points in sedentary healthy subjects: methodological issues. Diabetes Metab. 2012;38(1):40-5.
20. Croci I, Borrani F, Byrne N, Wood R, Hickman I, Cheneviere X, et al. Reproducibility of Fatmax and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. PloS one. 2014;9(6):1-10.
21. Talanian JL, Spriet LL. Low and moderate doses of caffeine late in exercise improve performance in trained cyclists. Appl Physiol Nutr Metab. 2016;41(8):850-5.

22. Silva RPd, Martinez D, Fiori CZ, Bueno KSdS, Uribe Ramos JM, Kaminski RSR, et al. The effect of caffeine supplementation on exercise performance evaluated by a novel animal model. Clin Biomed Res. 2017; 37(4): 316-22.
23. Kashef M, Moonikh KU, Kashef A. The effects of different doses of caffeine on time to exhaustion, resting levels and hemodynamic parameters response in young male athletes. psj. 2017; 15(4):56-65. (in persian).
24. Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. J Int Soc Sports Nutr. 2010;7(1):1-15.
25. Jevons E, Gejl KD, Hvid LG, Frandsen U, Jensen K, Sahlin K, et al. Restricting carbohydrate during recovery from prolonged exercise does not effect intramuscular triglyceride resynthesis. 23rd international Congress of the European College of Sports Science; 2018 Jul 4-7; Ireland.
26. Murosaki S, Lee TR, Muroyama K, Shin ES, Cho SY, Yamamoto Y, et al. A combination of caffeine, arginine, soy isoflavones, and L-carnitine enhances both lipolysis and fatty acid oxidation in 3T3-L1 and HepG2 cells in vitro and in KK mice in vivo. J Nutr. 2007;137(10):2252-7.
27. Manninen AH. Metabolic Effects of the Very-Low-Carbohydrate Diets: Misunderstood "Villains" of Human Metabolism. J Int Soc Sports Nutr. 2004; 1(2): 7–11.
28. Sidossis LS, Gastaldelli A, Klein S, Wolfe RR. Regulation of plasma fatty acid oxidation during low-and high-intensity exercise. Am J Physiol Endo Metab. 1997; 272(6):1-9.

ارجاع‌دهی

عادلی اکبر، نیکویی روح‌الله، امینایی محسن. تأثیر مصرف هم‌زمان مکمل‌های کافئین و ال-کارنیتین بر عملکرد هوازی و سوبسترای انتخابی هنگام فعالیت ورزشی. فیزیولوژی ورزشی. زمستان ۱۳۹۸؛ ۱۱(۴۴): ۲۲ـ۱۰۷. شناسهٔ دیجیتال: 10.22089/spj.2020.8022.1968

Adeli A, Nikooie R, Aminaie M. Effect of Simultaneous Consumption of Caffeine and L-Carnitine on Aerobic Performance and Substrate Selection During Exercise. Sport Physiology. Winter 2020; 11(44): 107-22. (In Persian). DOI: 10.22089/spj.2020.8022.1968

Effect of Simultaneous Consumption of Caffeine and L-Carnitine on Aerobic Performance and Substrate Selection During Exercise

A. Adeli[1], R. Nikooie[2], M. Aminaie[3]

1. M.Sc. of Exercise Physiology, Shahid Bahonar University of Kerman
2. Associate Professor of Exercise Physiology, Shahid Bahonar University of Kerman (Corresponding Author)
3. Assistance Professor of Exercise Physiology, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 2019/10/24 **Accepted: 2020/02/05**

Abstract

The purpose of the current study was to investigate the effect of coingestion of caffeine and L-carnitine supplements on substrate selection during exercise and its probable effect on endurance performances in elite male karate. Twelve elite athletes performed a progressive standard test following placebo (250 mg Lactose), caffeine (5 mg/kg), l-carnitine (3 g), and caffeine and l-carnitine (5 mg/kg, 3 g) consumption in four sessions separated by one-week interval. Respiratory gases and blood samples were collected before and after exercise. Cross over point (COP), as a point that metabolic substrate changes from fat to carbohydrates, and Fat_{max}, as a point at which fat has the highest contribution to energy supply, were determined, workload and oxygen consumption corresponding to them were extracted, and compared among trials by repeated measures analysis of variance. Following consumption of caffeine alone and in combined with L-carnitine, the changes in plasma free fatty acid (FFA) during exercise, workload and oxygen consumption corresponding to COP and Fat_{max} points were significantly higher compared to the control trial (all $P < 0.05$). The values of these variables in combined trial were significantly higher than those found in the caffeine trial (all $P < 0.05$). L-carnitine consumption did not induce significant change in these variables compared to the control trial. In sum, Caffeine consumption improves endurance performance through changing substrate selection during exercise toward fat and this effect could be exacerbated by simultaneous consumption of L-carnitine.

Keywords: Caffeine, Endurance Performance, L- Carnitine, Substrate Selection.

1. Email: ak_adeli@yahoo.com
2. Email: r_nikooie@uk.ac.ir
3. Email: maminai@uk.ac.ir