

پاسخ کاتکولامین ها و هورمون کورتیزول به فعالیت مقاومتی اینتروال شدید پس از مصرف

مکمل ال-سیترولین در مردان تمرین کرده

فاطمه خداینده^۱، ارسلان دمیرچی^{۲*}، جواد مهربانی^۳

چکیده

اهداف: دستگاه سمپاتوآدرنال در پاسخ به انواع عوامل استرسزا از جمله فعالیت ورزشی فعال می شود که میزان این فعالیت هم به ویژگی تمرین و هم مصرف مواد غذایی وابسته است. هدف پژوهش حاضر تعیین اثر مصرف حاد مکمل ال-سیترولین بر پاسخ کاتکولامین ها و هورمون کورتیزول به فعالیت مقاومتی اینتروال شدید (HIIRE) در مردان تمرین کرده بود.

روش مطالعه: پژوهش حاضر به صورت دوسوکور، تصادفی، متقاطع و کنترل شده با پلاسبو روی ۹ مرد تمرین کرده سالم (سن ۲۱/۴۱±۱/۱۳ سال، وزن ۷۹/۵۰±۹/۳۵ کیلوگرم، درصد چربی ۱۰/۶۷±۱/۵۲) انجام شد. آزمودنی ها با فاصله یک هفته، به صورت تصادفی در دو تریال مصرف ال-سیترولین (۱۲ گرم) و پلاسبو (۱۲ گرم مالتودکسترین) شرکت کردند. آنها نوشیدنی ۲۰۰ میلی لیتری حاوی مکمل/پلاسبو را یک ساعت پیش از فعالیت HIIRE مصرف کردند و فعالیت با کتل بل (۱۶ کیلوگرم) دودستی را به مدت ۱۲ دقیقه با تناوب ۳۰:۳۰ ثانیه فعالیت/استراحت و با سرعت ۱:۱ ثانیه فاز اکسنتریک/کانسنتریک به صورت سوئینگ اجرا کردند. نمونه های خونی برای اندازه گیری سرمی اپی نفرین، نوراپی نفرین و کورتیزول در دقایق سه، ده و سی بعد از فعالیت جمع آوری شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده ها از آزمون های تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر و بونفرونی در سطح ($p < 0.05$) استفاده شد.

یافته ها: مصرف مکمل ال-سیترولین موجب افزایش معنی دار هورمون های کورتیزول ($p = 0.02$)، اپی نفرین ($p = 0.001$) و نوراپی نفرین ($p = 0.001$) ۳ دقیقه پس از فعالیت HIIRE در مقایسه با قبل فعالیت شده بود. سطوح اپی نفرین ($p = 0.001$) و نوراپی نفرین ($p = 0.001$) ۳ دقیقه پس از فعالیت، در شرایط مصرف مکمل، به طور معنی داری پایین تر بود.

نتیجه گیری: مصرف حاد مکمل ال-سیترولین پیش از فعالیت، موجب کاهش کاتکولامین ها و هورمون کورتیزول تا ۳۰ دقیقه پس از فعالیت مقاومتی اینتروال شدید در مردان جوان تمرین کرده می شود.

واژه های کلیدی: فعالیت مقاومتی اینتروال شدید، ال-سیترولین، اپی نفرین، نور اپی نفرین، کورتیزول

^۱ کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

^۲ استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. نویسنده مسئول: damirchi@gmail.com

^۳ دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

مقدمه

دستگاه غدد درون‌ریز با تمام سلول‌های بدن در ارتباط است و هم‌وستاز را کنترل می‌کند. بخش مرکزی غده فوق‌کلیوی با ترشح کاتکولامین‌ها (اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین) بخشی از سیستم سمپاتوآدرنال است؛ نوراپی‌نفرین هم به‌عنوان انتقال‌دهنده عصبی و هم هورمون عمل می‌کند، اما اپی‌نفرین صرفاً هورمونی است (Bauer 2009, Charmandari 2005). این سیستم در پاسخ به استرس و فعالیت بدنی فعال شده و سطح هورمون‌ها در خون افزایش می‌یابد (Akashi 2001, Hackney 2006). این هورمون‌ها همراه با کورتیزول باعث افزایش قند خون، لیپولیز، گلیکوژنولیز، گلوکونئوز و عملکرد قلب می‌شوند تا نیازهای سوخت و ساز و قلبی-عروقی بدن تأمین شود (Scheffer 2012, Figueroa 2015).

فعالیت‌های ورزشی بسته به نیازها و استرس‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی و نوع اجرای آن‌ها، بر عملکرد سیستم‌های مختلف بدن تأثیر می‌گذارند. در این پژوهش تمرکز بر تمرین مقاومتی اینتروال شدید^۱ (HIIRE) است. تمرینات اینتروال معمولاً شامل جلسات کوتاه و متناوب با حداکثر نیرو و توان هستند (Valaei 2022). پروتکل‌های HIIE شامل تناوب فعالیت شدید و استراحت فعال یا غیرفعال است که انرژی مورد نیاز آن از مسیرهای متابولیکی مختلف تأمین می‌شود و حتی در فواصل ریکاوری، مصرف اکسیژن و متابولیسم چربی افزایش می‌یابد (Gentilin 2022). این تمرینات باعث افزایش ظرفیت توانی شده و در صورت همراهی با مصرف مکمل‌های انرژی‌زا، عملکرد ورزشکاران افزایش می‌یابد که احتمالاً ناشی از اثرات ارگوژنیک آن‌هاست (Rhim 2020). یکی از این مکمل‌ها ال-سیترولین است؛ اسید آمینه‌ای غیرضروری که در هندوانه یافت می‌شود و پیش‌ساز آرژنین است، اسیدآمینه‌ای که در منابعی مانند مرغ، گوشت قرمز، بادام‌زمینی و کدو تنبل نیز موجود است (Akashi 2001). سیترولین اثرات ارگوژنیک خود را از سه مسیر اصلی اعمال می‌کند: ابتدا، با تبدیل به ال-آرژنین و تولید نیتریک اکساید (NO) باعث گشاد شدن عروق و افزایش جریان خون عضلات می‌شود (Takeda 2011). دوم آنکه ال-سیترولین می‌تواند منجر به پاکسازی آمونیم توسط چرخه اوره شود. آمونیم در فعالیت‌های شدید در خون تجمع می‌یابد که منجر به افزایش گلیکولیز و در نتیجه افزایش تجمع لاکتات در خون می‌شود، پس ال-سیترولین می‌تواند با بفر کردن آمونیم و افزایش اوره تولید شده، منجر به کاهش تولید لاکتات در مسیرهای بی‌هوازی شود (Bailey 2015). سوم، سیترولین معمولاً به شکل سیترولین ملات مصرف می‌شود که با نقش ملات در چرخه کربس، ظرفیت هوازی را افزایش، خستگی را کاهش و عملکرد عضلانی را بهبود می‌بخشد (Suzuki 2016). به‌طور کلی، به نظر می‌رسد سیترولین علاوه بر تأمین نیازهای انرژی می‌تواند موجب بازشدگی عروق و بهبود جریان خون به عضلات فعال می‌شود.

در زمان اجرای فعالیت ورزشی، سطح آمادگی جسمانی بر عملکرد ورزشی و میزان خستگی موثر است (Gentilin 2022). یکی از عواملی که روی عملکرد ورزشکاران اثر منفی می‌گذارد، خستگی در حین اجرای فعالیت است که می‌تواند به دلیل ضعف عضلانی، عدم آمادگی هوازی و بی‌هوازی، تخلیه منابع انرژی و تجمع لاکتات رخ می‌دهد (Gentilin 2022). خستگی می‌تواند بر توانایی ورزشکار برای تولید نیرو اثرگذار باشد. بنابراین، یکی از دلایل مصرف مکمل‌ها توسط ورزشکاران، می‌تواند شامل به تأخیر انداختن خستگی باشد. از این‌رو، ورزشکاران برای تأمین نیازهای انرژی خود، مکمل‌های ورزشی را استفاده می‌کنند (Bahri 2013). دستگاه سمپاتوآدرنال در پاسخ به

¹ High intensity interval resistance exercise

فعالیت ورزشی به‌عنوان استرس حاد فعال شده و عملکرد دستگاه‌های قلبی، متابولیکی و تنفسی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش شدت تمرین، ترشح اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده نیاز بالاتر متابولیکی و قلبی-عروقی است. فعالیت شدید و کوتاه‌مدت همچنین سطح هورمون‌های استرسی مانند کاتکولامین‌ها و کورتیزول را بالا می‌برد و می‌تواند پاسخ سیستم ایمنی را تغییر دهد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تفاوت پاسخ سازشی بین افراد تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده کم است، اما افزایش کاتکولامین‌ها در افراد تمرین‌کرده بیشتر دیده می‌شود. شدت و مدت فعالیت بدنی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر این پاسخ‌ها هستند (Pimenta 2015)، شدت و نوع فعالیت تأثیر مهمی بر پاسخ کاتکولامین‌ها دارند و نیاز به بررسی بیشتر وجود دارد. در مطالعه‌ای روی دختران نوجوان، اثر تمرین و بی‌تمرینی بر پاسخ‌های کاتکولامینی به فعالیت ورزشی سرعتی بررسی شد و نشان داده شد که غلظت اپی‌نفرین پلاسما در گروه تمرین سرعتی بالاتر بود و وقتی شدت فعالیت بالاتر از حداکثر توان هوازی باشد، این هورمون نقش برجسته‌تری دارد (Figueroa 2017). در مطالعه‌ای دیگر روی مردان جوان تمرین‌کرده، فعالیت ورزشی شدید در کوتاه‌ترین زمان منجر به افزایش ۴ تا ۶ برابری کاتکولامین‌ها شد (Tucker 2015) علاوه بر این، افزایش کاتکولامین‌ها و کورتیزول با افزایش لاکتات پلاسما همراه است و بین افزایش اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین و لاکتات رابطه‌ای نزدیک و قوی وجود دارد (Bahri 2008).

گزارش‌های پژوهشی نشان می‌دهد مصرف مکمل‌های انرژی‌تیک به صورت حاد می‌تواند بر مقدار این هورمون‌ها اثرگذار باشد. نوع مکمل و دوز مصرف آن نیز عامل مؤثری است. در پژوهش‌هایی که به ارزیابی پاسخ حاد پرداخته شده، غالباً دوزهای بالا (۹ تا ۱۲ گرم) یا (۶-۱۲ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن) مورد بررسی قرار گرفته است (Valaei 2022, Alsop 2016, Rhim 2020)، هرچند گزارش شده مصرف طولانی مدت دوز بالای ال-سیتروولین اثرات سمی بر بدن دارد و عملکرد متابولیکی و قلبی - عروقی را مختل می‌کند (Valaei 2022). این در حالی است که برخی ورزشکاران در برخی شرایط، شبیه وضعیت بارگیری مکمل‌ها، به صورت حاد یا کوتاه مدت از دوزهای متوسط تا زیاد استفاده می‌کنند که در کنار ایجاد فشار متابولیک، بر عملکرد پس از مصرف، اثرگذار باشد (Figueroa 2017). مطالعات نشان داده‌اند که دوز بالای تیروزین باعث کاهش سطوح آدرنالین و نوراپی‌نفرین پس از تمرین فوتبال می‌شود (Cutrufello 2015).

سیتروولین به عنوان یکی از اسید آمینه‌های غیر ضروری در بدن انسان در سیستم نیتریک اکساید مورد استفاده قرار می‌گیرد و نقش آنتی‌اکسیدانی و گشادکنندگی بالقوه‌ای دارد (Thuma 1995). در پژوهش ولایی و همکاران گزارش شد مصرف حاد ۱۲ گرم ال-سیتروولین می‌تواند موجب بهبود دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن (سوپراکساید دسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز) در اثر یک فعالیت شدید مقاومتی اینتروال شود (Valaei 2022). در پژوهشی دیگر، اثر مکمل سیتروولین به همراه آرژنین و اورنیتین بر اجرا و سوخت‌وساز در رت‌های تمرین‌کرده بررسی شد و نشان داده شد که این سه مکمل سرعت دفع آمونیاک پس از فعالیت شدید را افزایش می‌دهند (Jacks 2002). همچنین، هفت روز مکمل‌دهی ال-سیتروولین منجر به بهبود عملکرد تایم تریل (کاهش زمان رسیدن به خط پایان) در دوچرخه‌سواران شد (Viribay 2022) و شش روز مکمل‌دهی موجب بهبود کینتیک اکسیژن و عملکرد ورزشی شد (Moinard 2016).

پاسخ هورمونی به فعالیت بدنی، به ویژه ترشح کاتکولامین‌ها و کورتیزول، نقش کلیدی در تأمین انرژی و عملکرد قلبی-عروقی دارد. تمرین مقاومتی اینتروال شدید ظرفیت هوازی و عملکرد عضلانی را افزایش می‌دهد، اما خستگی

ناشی از تجمع لاکتات و تخلیه منابع انرژی می‌تواند عملکرد را محدود کند. مکمل ال-سیترولین با افزایش نیتریک اکساید و پاکسازی آمونیم می‌تواند جریان خون عضلانی را بهبود دهد، خستگی را کاهش دهد و تحمل ورزشکاران را افزایش دهد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر پاسخ کاتکولامین‌ها و هورمون کورتیزول به فعالیت مقاومتی اینتروال شدید پس از مصرف مکمل ال-سیترولین در مردان تمرین کرده بود.

روش‌شناسی تحقیق

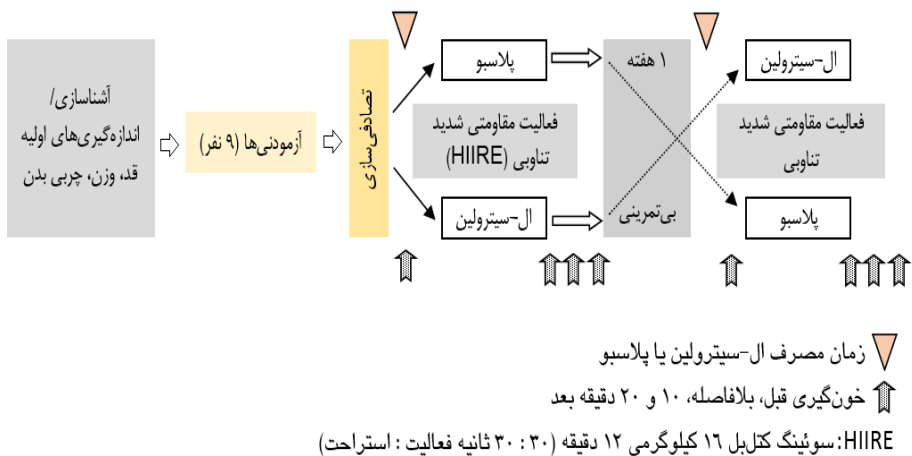
آزمودنی‌ها: پژوهش حاضر در قالب طرح نیمه تجربی، تصادفی متقاطع، کانتربالانس و دوسو کور بود (شکل ۱). آزمودنی‌ها از بین مردان ۲۳-۲۰ ساله، ورزشکار و با سابقه حداقل ۶ ماه تمرین منظم انتخاب شدند. فرم رضایت‌نامه، پرسشنامه سلامتی و سابقه ورزشی توسط آزمودنی‌ها تکمیل شد؛ سپس از بین آن‌ها تعداد ۹ نفر (با استفاده از نرم‌افزار آنالیز G*Power) واجد شرایط (بدون سابقه بیماری‌های قلبی عروقی، متابولیکی و هورمونی، بدون سابقه استعمال دخانیات، عدم استفاده از داروها یا هرگونه مکمل اسیدآمین‌های یا پروتئینی اثرگذار بر پژوهش در طی حداقل ۶ ماه گذشته) به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. انتخاب آزمودنی‌ها برای تجویز مکمل‌ها، از بین دوازده داوطلب و بر اساس چارت پلن انتخاب آزمودنی‌ها توسط فرد دیگری که نقشی در مطالعه نداشت، انجام شد. یک هفته قبل از اجرای آزمون، یک جلسه هماهنگی برای آشنایی با هدف تشریح مراحل پژوهش، روش آزمون‌ها و مدت پژوهش در نظر گرفته شد. پس از موافقت افراد، ویژگی‌های مربوط به شاخص‌های آنروپومتریک آن‌ها شامل قد، وزن و درصد توده چربی بدن اندازه‌گیری شد. همچنین برای تعیین سطح آمادگی جسمانی عمومی یک هفته پیش از فعالیت، حداکثر اکسیژن مصرفی با آزمون بروس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Gentilin 2022) (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی فردی و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها

متغیر	انحراف استاندارد $\pm$ میانگین
سن (سال)	$21/41 \pm 1/13$
وزن (کیلوگرم)	$79/50 \pm 9/35$
قد (سانتی‌متر)	$183/44 \pm 7/60$
شاخص توده بدن (کیلوگرم/مترمربع)	$23/66 \pm 2/25$
چربی بدن (درصد)	$10/67 \pm 1/52$
حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	$50/95 \pm 5/36$

از آزمودنی‌ها درخواست شد ۴۸ ساعت قبل از اجرای پروتکل از مصرف الکل یا هرگونه فعالیت شدید خودداری کنند. همچنین از شرکت‌کنندگان خواسته شد ۲۴ ساعت قبل از آزمون از مصرف مواد و داروهای حاوی نیکوتین و کافئین، از جمله سیگار، چای، آدامس، شکلات، بستنی‌های کافئین‌دار و قهوه خودداری کنند. علاوه بر این، پرسشنامه ۲۴ ساعته برای کنترل الگوی تغذیه‌ای آزمودنی‌ها تکمیل شد. این مطالعه توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه گیلان ارزیابی و به شماره (IR.GUMS. RES1397/428) مورد تایید قرار گرفته است. پروتکل ورزشی HIIRE: اولین نمونه‌های خونی بعد از مصرف مکمل، قبل از شروع فعالیت گرفته شد. پیش از فعالیت آزمودنی‌ها به مدت ۱۰ دقیقه (پدال زدن روی دوچرخه و حرکات کششی پویا) بدن‌های خود را گرم کردند.

سپس به انجام آزمون با کتبل دودستی (Wirecutter) ۱۶ کیلوگرمی در ۱۲ ست (۳۰ ثانیه کار: ۳۰ ثانیه استراحت) پرداختند (Valaei 2022). ضرباهنگ اجرا بر مبنای ۱ ثانیه فاز بالابردن و ۱ ثانیه فاز پایین آوردن یعنی ۱۵ حرکت در هر راند بود (Budnar 2014). ضربان قلب در فواصل استراحتی بین راندها با ضربان‌سنج پولار مدل H10 اندازه‌گیری شد. میانگین شدت فعالیت در برابر با ۸۷ درصد HRmax بود (بین ۷۰-۹۵ درصد). شیوه مصرف مکمل و پلاسبو: آزمودنی‌ها به صورت تصادفی در ۲ وضعیت دریافت پلاسبو (مالتودکسترین) و مکمل (ال-سیتروولین) قرار گرفتند و مقدار ۱۲ گرم را یک ساعت قبل از فعالیت HIIRE دریافت کردند. مکمل ال-سیتروولین ساخت کشور آمریکا، از کمپانی Now®Sports تهیه شد. مکمل به صورت ۱۲۰ قرص ۱۲۰۰ میلی‌گرمی بود که برای هر آزمودنی، تعداد ۱۰ عدد از آنها معادل ۱۲۰۰۰ میلی‌گرم (۱۲ گرم) در نظر گرفته شد. به دلیل مقدور نبودن مصرف قرص‌ها توسط آزمودنی‌ها و احتمال بروز مشکل، قرص‌ها با دستگاه آسیاب کن پارس خزر به‌طور کامل آسیاب شد و به‌وسیله ترازوی آزمایشگاهی دیجیتال مدل ANDBL-200i به بسته‌های پودر ۱۲ گرمی برای هر آزمودنی بسته‌بندی شد. همچنین، برای پلاسبو از مالتودکسترین (با رنگ، بو و طعم یکسان) استفاده شد (Valaei 2022). مکمل و پلاسبو با مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر آب حل و به آزمودنی‌ها داده شد. با توجه به طرح پژوهش، محقق و هیچ‌کدام از آزمودنی‌ها از محتوای بطری‌های نوشیدنی یک شکل اطلاعی نداشتند (مداخله دو سو کور). نوشیدنی‌ها ۲ ساعت بعد از مصرف صبحانه (به‌طور یکسان و معادل ۴۳۵ کیلوکالری) و ۱ ساعت قبل از شروع فعالیت HIIRE توسط آزمودنی‌ها مصرف شد.



شکل ۱. طرح اجرای پژوهش

نمونه‌های خونی و روش/اندازه‌گیری: نمونه‌های خونی قبل از فعالیت و در دقیقه‌های سوم، دهم و سی‌ام بعد از فعالیت جمع‌آوری شد. در هر یک از نوبت‌های خون‌گیری مقدار ۸ میلی‌لیتر خون از ورید رادیال دست راست آزمودنی‌ها گرفته و درون لوله‌های آزمایش مخصوص جهت تهیه سرم ریخته شد و در محل آزمون به مدت ۱۰ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد (Abderrahman 2018). سپس سرم حاصل به آزمایشگاه فرستاده

و در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان اندازه‌گیری نگهداری شد. ارزیابی هورمون‌ها، به روش ELISA انجام شد و برای آنالیز از کیت‌های نمونه‌های انسانی (ZB-11003C,38C-GmbH, Germany) استفاده شد. روش آماری: برای تعیین سطح طبیعی بودن توزیع داده‌ها، از آزمون شاپیرو-ویلک و برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از آزمون‌های تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (زمان×گروه، ۲×۴) استفاده شد. از آزمون تعقیبی بونفرونی برای محاسبه تغییرات مراحل مختلف اندازه‌گیری پس از تعیین معنی‌داری سطح F استفاده شد. در هر متغیر، برای ۱٪ اختلاف، اختلاف بین زمان پایه و تمام نقاط زمانی بعدی محاسبه شد. از آزمون t مستقل برای مقایسه بین گروه‌ها استفاده شد. سطح معنی‌داری $p < 0.05$ در نظر گرفته شد. عملیات آماری با نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ اجرا شد.

نتایج

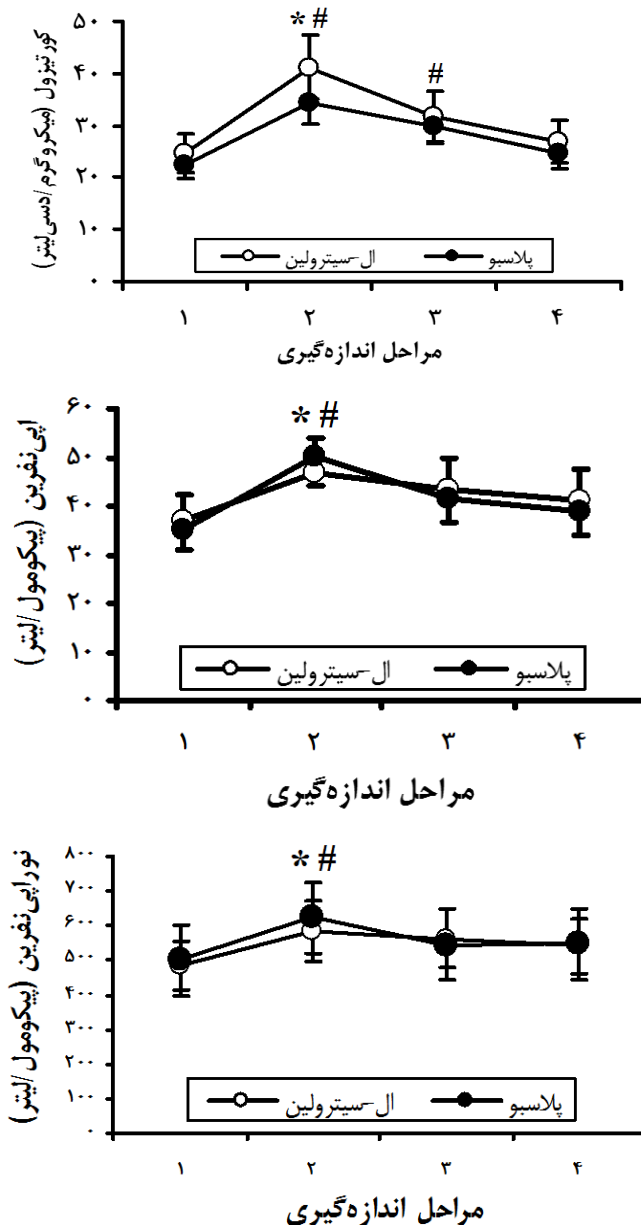
در بررسی مقایسه زمان اندازه‌گیری هورمون کورتیزول، در شرایط مصرف ال-سیترولین، ۳ و ۱۰ دقیقه پس از فعالیت HIIE، سطوح سرمی نسبت به قبل از فعالیت به طور معنی‌داری افزایش یافته بود ($p = 0.02$). در دقیقه ۳، مقدار این هورمون در مقایسه با پلاسبو بالاتر بود (شکل ۱). سطوح هورمون‌های ایپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین، در شرایط مصرف ال-سیترولین، ۳ دقیقه پس از فعالیت در مقایسه با قبل مصرف، افزایش معنی‌داری نشان داد ($p = 0.001$). سطح هر دو هورمون، ۳ دقیقه پس از فعالیت و در شرایط مصرف ال-سیترولین به طور معنی‌داری کمتر از شرایط پلاسبو بود ($p = 0.001$) (شکل ۱).

بحث و بررسی

با توجه به مطالعات محدود گذشته پیرامون اثر بخشی احتمالی مکمل ال-سیترولین به عنوان افزایش دهنده جریان خون بافتی و کاهش استرس متابولیکی در بافت خسته شده از نظر فیزیولوژیکی و همچنین یک باز کننده عروق، تغییر کورتیزول صورت گرفت. سطوح سرمی این هورمون در هر دو تریال ال-سیترولین و پلاسبو، ۳ دقیقه پس از فعالیت نسبت به قبل از فعالیت به طور معنی‌داری افزایش و پس از آن با وجود روند کاهشی، در ۱۰ دقیقه پس از فعالیت به طور معنی‌داری نسبت به قبل فعالیت بالاتر بود. میزان کاهش در ۳۰ دقیقه بعد فعالیت در هر دو تریال ال-سیترولین و پلاسبو به طور معنی‌داری نسبت به ۳ دقیقه بعد فعالیت کاهش یافته بود. به نظر می‌رسد نتایج به دست آمده در دقیقه سه پس از فعالیت، کماکان تحت تاثیر شدت فعالیت و استرس متابولیکی ناشی از آن قرار دارد و به تدریج پاکسازی متابولیت‌ها، افزایش سطح قند خون ناشی از گلوکونئوز، کاهش ضربان قلب و برتری پاراسمپاتیکی می‌تواند این استرس را کم کند (Budnar 2014).

هورمون کورتیزول به عنوان معروف‌ترین گلوکوکورتیکوئید بدن است که توسط قشر غده آدرنال ترشح می‌شود که این هورمون در بدن در پاسخ به التهاب ترشح می‌شود و در سیستم ایمنی بدن نقش مهمی را ایفا می‌کند (Jacks 2002). افزایش سطح کورتیزول در مراحل مختلف نشان می‌دهد که ویژگی‌های کاتابولیک فعالیت و این هورمون موجب افزایش هزینه انرژی شده و با اعمال یک استرس متابولیکی در کنار تغییرات سطوح کاتکولامین‌ها می‌تواند نشان دهد که در گروهی که ال سیترولین مصرف کرده بودند، در مقایسه با پلاسبو، مقدار منابع انرژی احتمالی که در اختیار بافت‌ها قرار گرفته بیشتر بوده است. به‌طور ارگانیک، منبع اصلی انرژی در این شرایط یعنی زمانی که شدت فعالیت ورزشی بالاست، گلیکوژن درون عضلانی و گلوکز خون است. کورتیزول در مراحل اولیه فعالیت ورزشی با توجه به بروز استرس متابولیکی و افزایش نیاز به انرژی بی‌هوازی به دلیل کمبود

اکسیژن در دسترس و ضعف دستگاه قلبی-عروقی در تامین انرژی از مسیر هوازی، مسئول تامین گلوکز خون مصرف شده از مسیر هیدرولیز گلیکوژن کبدی است (Thuma 1995, Budnar 2014).



شکل ۱. تغییرات هورمون‌های کورتیزول، ای‌نفرین و نورایی‌نفرین در مراحل مختلف اندازه‌گیری.

در چنین شرایطی سطح قند خون حفظ می‌شود و در دوره‌های استراحت تمرینات اینتروال، مکانیزم جبرانی آن اثرگذار است. همچنین کورتیزول از مسیر تحریک گلوکوکورتیزون از لاکتات و آلانین تولیدی طی متابولیسم بی‌هوازی و متاثر از شدت فعالیت، موجب حفظ سطح قند خون می‌شود (Budnar 2014). در این فرایند و با افزایش مدت زمان تمرین، هورمون‌های اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین برای حفظ سطح گلوکز خون با تحریک گلوکوکورتیزون از اسیدهای چرب افزایش می‌یابند تا اثر انسولین در کاهش سطح قند خون را برای حفظ شدت و مدت فعالیت، جبران کنند (Kraemer 2005, Tucker 2015). همچنین، این موضوع نشان می‌دهد احتمالاً ال-سیترولین می‌تواند بافت‌های مختلف انرژی‌زا از جمله چربی‌ها یا سایر سوبستراهای در دسترس مثل گلیکوژن درون عضلانی و گلوکز خون را به میزان بیشتری در مسیر متابولیسم قرار دهد که نتیجه آن حفظ تولید نیرو و بهبود عملکرد است. از طرفی ال-سیترولین می‌تواند به دلیل خون‌رسانی بیشتر به بافت در اثر بازکنندگی عروق و پاک‌سازی لاکتات، منجر به افزایش آستانه خستگی شود که نتیجه آن افزایش عملکرد عضلانی است.

در مطالعه حاضر شدت فعالیت اینتروال بالا بود. این موضوع نشان می‌دهد که تنش لازم برای ترشح انسولین ایجاد شده است. به عبارتی، در فعالیت‌های شدید کوتاه مدت، یکی از سوبسترای اصلی گلوکز خون است که تحت تاثیر اثر انسولین توسط سلول‌های عضلانی برداشت می‌شود؛ بنابراین سطوح خونی گلوکز کاهش می‌یابد. جبران این کاهش با ترشح هورمون‌های کورتیزول و کاتکولامین‌ها و تحریک گلوکوکورتیزون صورت می‌گیرد. افزایش سطوح کورتیزول و به همراه آن اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین و به طور کلی، محور HPA تحت تاثیر شدت و مدت فعالیت قرار می‌گیرد. گزارش شده شدت و مدت فعالیت ورزشی حاد از مهم‌ترین عواملی هستند که پاسخ‌های کاتکولامینی و همچنین هورمون کورتیزول را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Pimenta 2015)، در حالی که، شدت و نوع فعالیت به عنوان عوامل اثرگذار در پاسخ کاتکولامین‌ها نیاز به بررسی بیشتر می‌باشد. از جمله پژوهش‌ها انجام شده در این زمینه می‌توان به پژوهش، بوتکزو و همکاران (۲۰۰۶) که به بررسی اثر تمرین و بی‌تمرینی بر پاسخ‌های کاتکولامینی دختران نوجوان نسبت به فعالیت ورزشی سرعتی پرداختند، اشاره نمود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که غلظت اپی‌نفرین پلاسما در گروه تمرین، تنها قبل از شروع ۶ ماه تمرین و به دنبال ۵ ماه بی‌تمرینی بالاتر بود و اینکه ۶ ماه تمرین سرعتی در حالی موجب افزایش غلظت اپی‌نفرین پلاسما نسبت به یک فعالیت ورزشی شدید می‌شود که مقدار آن برای شدت‌های بالاتر از حداکثر توان هوازی از اهمیت بیشتری برخوردار است (Figueroa 2015). در پژوهشی دیگر، پاسخ‌های کاتکولامینی پلاسما در مردان پس از فعالیت ورزشی شدید مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داد فعالیت ورزشی شدید در زمان کوتاهی منجر به افزایش ۴ تا ۶ برابری غلظت‌های پلاسمایی اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین در مردان جوان تمرین کرده می‌شود که نشان می‌دهد در مقایسه با شدت، مدت فعالیت ورزشی حاد، عامل موثری در تعیین پاسخ‌های کاتکولامینی آزمودنی‌ها به شمار نمی‌رود و شدت فعالیت، متغیر اثرگذارتری است (Tucker 2015). بنابراین تغییرات ایجاد شده را می‌توان به شدت فعالیت ربط داد که به عنوان یک عامل استرس‌زای فیزیولوژیکی و مکانیکی توانسته موجب افزایش این هورمون پس از فعالیت باشد.

هنگام فعالیت ورزشی شدید با تغییرات در غلظت هورمونی از جمله افزایش هورمون‌های کاتکولامینی و کورتیزول، غلظت لاکتات نیز همزمان با افزایش شدت فعالیت ورزشی افزایش می‌یابد. همبستگی بالایی را بین لاکتات

پلازما و کاتکولامین‌ها گزارش شده، به طوری که بین افزایش اپی‌نفرین و نوراپی‌نفرین و افزایش لاکتات پلازما در حین آزمون پیش‌رونده ورزشی همبستگی بالایی وجود دارد (Bahri 2008).

در پژوهشی به بررسی تأثیرات مکمل تیروزین بر عملکرد بی‌هوازی و سطوح پلاسمایی کاتکولامین‌ها در ورزشکاران فوتبال پرداخته شده است. تیروزین مانند آرژنین، ویژگی‌های وازودیلاتوری و کاهنده خستگی و انرژی‌زا مشابه ال-سیترولین دارد؛ نتایج نشان داد سطوح آدرنالین و نورآدرنالین در گروه مکمل تیروزین بعد از تمرینات مربوط به فوتبال نسبت به پیش‌آزمون کاهش داشت (Cutrufello 2015). در پژوهش‌هایی دیگر به بررسی تأثیر مکمل‌هایی مانند کافئین و کراتین مونوهیدرات-کربوهیدرات بر توان بی‌هوازی، مشخص شد که کافئین تأثیر معنی‌داری در افزایش توان بی‌هوازی و بهبود ریکواری نداشت و کراتین مونوهیدرات بر اوج توان بی‌هوازی تأثیر و بر میانگین توان و شاخص خستگی بی‌تأثیر بود (Alsop 2016, Kraemer 2005). در چنین شرایطی مصرف مکمل‌هایی که بتواند عوامل خستگی را کاهش یا ظرفیت فرد را برای عملکرد ورزشی افزایش دهد، توصیه شده است. در بین مکمل‌های مختلف سیترولین با مکانیزم‌هایی که پیش از این گفته شد می‌تواند بر بهبود عملکرد موثر باشد. سیترولین به عنوان یکی از اسید آمینه‌های غیر ضروری در بدن انسان در سیستم نیتریک اکساید مورد استفاده قرار می‌گیرد و نقش آنتی‌اکسیدانی و گشادکنندگی بالقوه‌ای دارد (Moinard 2016). در پژوهشی به بررسی تأثیر مکمل سیترولین به همراه آرژنین و اورنیتین بر اجزا و سوخت و ساز رت‌های تمرین کرده پرداخته شد. نتایج حاکی از تأثیر مثبت این سه مکمل بر افزایش سرعت دفع آمونیاک از بدن پس از فعالیت شدید بود (Viribay 2022). سوزوکی و همکاران (۲۰۱۶)، گزارش کردند که هفت روز مکمل‌سازی ال-سیترولین منجر به بهبود عملکرد تایم تریل (کاهش زمان رسیدن به خط پایان) در دوچرخه سواران گردید (Suzuki 2016). همچنین، گزارش شده که شش روز مکمل‌سازی ال-سیترولین موجب بهبود کینتیک O_2 و عملکرد ورزشی شد (Moinard 2016).

نتیجه‌گیری:

به‌طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد مصرف حاد مکمل ال-سیترولین پیش از فعالیت اینتروال شدید، موجب افزایش پاسخ هورمون‌های کورتیزول و کاتکولامین‌ها می‌شود که نشان‌دهنده بروز استرس متابولیکی در این گونه فعالیت‌ها و نقش آنها در تامین نیازهای انرژی بی‌هوازی برای حفظ منابع کربوهیدراتی و احتمالاً کاهش خستگی است. به‌طور خلاصه نتایج نشان دهنده افزایش این هورمون‌ها در اثر مصرف حاد مکمل ال-سیترولین پیش از فعالیت مقاومتی اینتروال شدید بود. از محدودیت‌های این مطالعه، وجود گروه کنترل و مقایسه آن با دوزهای پایین‌تر مصرف بود که می‌تواند در پژوهش‌های بعدی مورد مطالعه قرار گیرد تا جوانب مرتبط با آثار دوز بالا و استرس متابولیکی حاد ناشی از آن بر نتایج، کنترل شود. همچنین، احتمالاً این دوز می‌تواند در مردان مورد استفاده قرار گیرد و برای زنان نیازمند مطالعات بیشتری است. عدم اندازه‌گیری تغییرات لاکتات نیز از دیگر محدودیت‌های این مطالعه است که می‌توانست نشان دهنده میزان تنش غیرهوازی برای تامین نیازهای مرتبط با آن و نقش این هورمون‌ها باشد و روند ریکواری را طی ۳۰ دقیقه پس از فعالیت و تأثیر ال-سیترولین بر آن را نشان دهد.

تضاد منافع

این پژوهش هیچ گونه تضاد و تعارض منافی ندارد.

منابع

- Abderrahman, A. B., Rhobi, F., Ouerghi, N., Hackney, A. C., Saeidi, A., & Zouhal, H. (2018). Effects of recovery mode during high intensity interval training on glucoregulatory hormones and glucose metabolism in response to maximal exercise. *Journal of athletic enhancement*, 7(3), 292.
- Akashi K, Miyake C, Yokota A. (2001). Citrulline, a novel compatible solute in drought-tolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger. *Febs Letters*. 508(3): 438-442.
- Alsop P, Hauton D. (2016). Oral nitrate and citrulline decrease blood pressure and increase vascular conductance in young adults: a potential therapy for heart failure. *Eur J Appl Physiol*. 116(9): 1651-1661.
- Bahri S, Curis E, El Wafi FZ, Aussel C, Chaumeil JC, Cynober L, Zerrouk N. (2008). Mechanisms and kinetics of citrulline uptake in a model of human intestinal epithelial cells. *Clin Nut*. 27(6): 872-880.
- Bahri S, Zerrouk N, Aussel C, Moinard C, Crenn P, Curis E, Sfar S. (2013). Citrulline: from metabolism to therapeutic use. *Nutrition*. 29(3): 479-484.
- Bailey SJ, Blackwell JR, Lord T, Vanhatalo A, Winyard PG, Jones AM. (2015). L-citrulline supplementation improves O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. *J Appl Physiol*. 119(4): 385-395.
- Bauer M, Jeckel CMM, Luz C. (2009). The role of stress factors during aging of the immune system. *Ann NY Acad Sci*. 1153:139-152.
- Budnar RG Jr, Duplanty AA, Hill DW, et al. (2014). The acute hormonal response to the kettlebell swing exercise. *J Strength Cond Res* 28:2793-2800.
- Charmandari E, Tsigos C, Chrousos G. (2005). Endocrinology of the stress response. *Annu Rev Physiol*. 67:259-84.
- Cutrufello PT, Gadowski SJ, Zavorsky GS. (2015). The effect of l-citrulline and watermelon juice supplementation on anaerobic and aerobic exercise performance. *J Sports Sci*. 33(14): 1459-1466.
- Figuerola A, Alvarez-Alvarado S, Ormsbee MJ, Madzima TA, Campbell JC, Wong A. (2015). Impact of L-citrulline supplementation and whole-body vibration training on arterial stiffness and leg muscle function in obese postmenopausal women with high blood pressure. *Exper Gerontol*. 63: 35-40.
- Figuerola A, Wong A, Jaime SJ, Gonzales JU. (2017). Influence of L-citrulline and watermelon supplementation on vascular function and exercise performance. *Curr Opin Clin Nut Met Care*. 20(1): 92-98.

- Gentilin A, Zanini P, Cevese A, Schena F, Tarperi C. (2022). Ergogenic effects of citrulline supplementation on exercise performance and physiological indexes of exercise performance during cycling tests: A review. *Sci Sports*. 37(8): 665-674.
- Hackney AC. (2006). Stress and the neuroendocrine system: the role of exercise as a stressor and modifier of stress. *Expert Rev Endocrinol Metab*. 1:783-92.
- Jacks DE, Sowash J, Anning J, McGloughlin T. (2002). Effect of exercise at three exercise intensities on salivary cortisol. *J Strength Cond Res*. 16: 286-9.
- Kraemer WJ, Ratamess NA. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med*. 35(4): 339-61.
- Moinard C, Maccario J, Walrand S, Lasserre V, Marc J, Boirie Y, Cynober L. (2016). Arginine behaviour after arginine or citrulline administration in older subjects. *Br J Nutr*. 115:399-404.
- Pimenta M, Brighenti I, Souza-Mello V, dos Santos Mendes IK, Aguila MB, Mandarim-de-Lacerda CA. (2015). High-intensity interval training beneficial effects on body mass, blood pressure, and oxidative stress in diet-induced obesity in ovariectomized mice. *Life Sci*. 139: 75-82.
- Rhim HC, Kim SJ, Park J, Jang KM. (2020). Effect of citrulline on post-exercise rating of perceived exertion, muscle soreness, and blood lactate levels: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*. 9(6): 553-561.
- Scheffer DL, Silva LA, Tromm CB, da Rosa GL, Silveira PC, de Souza CT, Pinho RA. (2012). Impact of different resistance training protocols on muscular oxidative stress parameters. *Appl Physiol Nut Met*. 37(6): 1239-1246.
- Suzuki T, Morita M, Kobayashi Y, Kamimura A. (2016). Oral L-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: double-blind randomized placebo-controlled 2-way crossover study. *J Int Soci Sports Nut*. 13(1): 6.
- Takeda K, Machida M, Kohara A, Omi N, Takemasa T. (2011). Effects of citrulline supplementation on fatigue and exercise performance in mice. *J Nut Sci Vitaminol*. 57(3): 246-250.
- Thibault R, Flet L, Vavasseur F, Lemerle M, Ferchaud-Roucher V, Picot D, Darmaun D. (2011). Oral citrulline does not affect whole body protein metabolism in healthy human volunteers: results of a prospective, randomized, double-blind, cross-over study. *Clin Nut*. 30(6): 807-811.

- Thuma JR, Gilders R, Verdun M, Loucks AB. (1995). Circadian rhythm of cortisol confounds cortisol responses to exercise: implications for future research. *J Appl Physiol.* 78:1657-64.
- Tucker WJ, Sawyer BJ, Jarrett CL, Bhammar DM, Gaesser GA. (2015). Physiological responses to high-intensity interval exercise differing in interval duration. *J Strength Con Res.* 29(12): 3326-3335.
- Valaei K, Mehrabani J, Wong A. (2022). Effects of l-citrulline supplementation on nitric oxide and antioxidant markers after high-intensity interval exercise in young men: a randomised controlled trial. *Brit J Nut.* 127(9): 1303-1312.
- Viribay A, Fernández-Landa J, Castañeda-Babarro A, Collado PS, Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J. (2022). Effects of citrulline supplementation on different aerobic exercise performance outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 24;14(17):3479.

Response of Catecholamines and Cortisol to the High Intensity Interval Resistance Exercise (HIIRE) after L-Citrulline Supplementation in Trained Men

Fatemeh Khodabandeloo, Arsalan Damirchi^{*}, Javad Mehrabani

Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

^{*}**Corresponding author:** damirchi@gmail.com

Abstract

Objectives: The sympato-adrenal system is activated in response to various stressors, including exercise, with the degree of activation dependent on both training characteristics and nutritional intake. The present study aimed to determine the acute effects of L-citrulline supplementation on catecholamine and cortisol responses to high-intensity interval resistance training [HIIRE] in trained men.

Methods: This study employed a double-blind, randomized, crossover, placebo-controlled design with nine healthy trained men (age: 21.41 ± 1.13 yr, weight: 79.50 ± 9.35 kg, body fat: $10.67 \pm 1.52\%$). Participants were randomly assigned to two trials, L-citrulline (12 g) supplementation or placebo (12 g maltodextrin) dissolved in 200ml water separated by a one-week washout period, combined with an HIIRE protocol (using a 16 kg kettlebell). The HIIRT protocol consisted of 12 minutes including 30:30 sec work/rest intervals with a 1:1 sec eccentric/concentric swing tempo. Blood samples were collected at 3, 10, and 30-minutes post-exercise to measure serum epinephrine, norepinephrine, and cortisol levels. Statistical analysis was performed using repeated-measures ANOVA and Bonferroni post-hoc tests ($p \leq 0.05$).

Results: L-citrulline supplementation significantly increased cortisol ($p = 0.02$), epinephrine ($p = 0.001$), and norepinephrine ($p = 0.001$) 3 minutes after HIIRE compared to before that. Epinephrine ($p = 0.001$) and norepinephrine ($p = 0.001$) levels were significantly lower 3 minutes after HIIRE in the supplementation condition.

Conclusion: Acute L-citrulline supplementation before exercise reduces catecholamine and cortisol levels up to 30 minutes following high-intensity interval resistance training in trained young men.

Key words: High-Intensity Interval Resistance Training (HIIRE), L-citrulline, Epinephrine, Norepinephrine, Cortisol