



اثر خنک کردن حین تمرین در محیط گرم و مصرف سلیونیوم بر میزان LDH در قلب موش های صحرایی

فاطمه قاسمی احمدآبادی^a، الهام وسدی^b

^a کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران.

^b استادیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران.

نویسنده مسئول: فاطمه قاسمی احمدآبادی (۰۹۱۵۷۱۳۴۳۸۰ و fattemehghasemi99@gmail.com)

چکیده:

هدف: فعالیت ورزشی در شرایط محیطی گرم موجب افزایش دمای مرکزی بدن شده و خطر بروز بیماری‌های مرتبط با گرما را افزایش می‌دهد که این امر می‌تواند به بروز اثرات فیزیولوژیکی و عملکردی منفی، از جمله آسیب به عضله قلبی منجر شود. از این رو، شناسایی و بررسی راهکارهای مؤثر در کاهش این پیامدها از اهمیت زیادی برخوردار است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر خنک‌سازی حین تمرین در محیط گرم و مصرف مکمل سلیونیوم بر میزان LDH در قلب موش‌های صحرایی انجام شد. روش شناسی: این پژوهش تجربی روی ۳۶ رت نر نژاد ویستار بالغ (۸ هفته ای، وزن 225 ± 25 گرم) انجام شد. حیوانات به‌طور تصادفی به شش گروه ۶ تایی شامل کنترل، تمرین در محیط عادی، تمرین در محیط گرم، تمرین در محیط گرم همراه با مصرف سلیونیوم، تمرین در محیط گرم همراه با خنک‌سازی و تمرین در محیط گرم همراه با مصرف سلیونیوم و خنک‌سازی تقسیم شدند. پروتکل تمرین استقامتی شامل ۸ هفته تمرین روی تردمیل (۶ جلسه در هفته) در شرایط دمایی 1 ± 36 درجه سانتی‌گراد بود. برنامه تمرینی به‌صورت فزاینده تنظیم شد؛ به‌گونه‌ای که در هفته اول با مدت ۱۰ دقیقه و سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت آغاز گردید و در هر هفته بر مدت و شدت تمرین افزوده شد. خنک‌سازی به‌وسیله بسته‌های سرمازا و مکمل‌یاری با سلیونیوم به میزان 0.45 میلی‌گرم بر کیلوگرم از طریق پلت انجام شد. پس از پایان دوره، میزان LDH سرم اندازه‌گیری گردید. تحلیل آماری داده‌ها با آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس و آزمون تعقیبی دان در سطح معنی داری $P \leq 0.05$ انجام شد. یافته‌ها: تمرین در محیط گرم باعث افزایش معنادار سطوح LDH سرم نسبت به گروه کنترل شد ($p = 0.0045$). مصرف سلیونیوم به‌تنهایی (HS) باعث کاهش معنادار LDH نسبت به گروه H گردید ($p = 0.0079$). خنک‌سازی به‌تنهایی (HP) کاهش نسبی LDH را نشان داد ولی این کاهش معنادار نبود ($p = 0.05716$). مداخله ترکیبی سلیونیوم + خنک‌سازی (HSP) نیز باعث کاهش معنادار سطوح LDH نسبت به گروه H شد ($p = 0.00205$) و سطوح را به محدوده نزدیک به گروه کنترل رساند. نتیجه‌گیری: تمرین استقامتی در محیط گرم موجب تشدید آسیب عضله قلبی (افزایش LDH) می‌شود. هر دو مداخله سلیونیوم و ترکیب سلیونیوم با خنک‌سازی قادر به تعدیل معنادار این آسیب بودند، در حالی که خنک‌سازی به‌تنهایی اثر کمتری داشت. نتایج حاضر نشان‌دهنده پتانسیل حفاظتی سلیونیوم و به‌ویژه ترکیب آن با خنک‌سازی حین تمرین در شرایط گرم است. کلمات کلیدی: خنک‌سازی، سلیونیوم، شاخص‌های آسیب قلبی، تمرین استقامتی



کلمات کلیدی: خنک سازی، سلنیوم، شاخص های آسیب قلبی، تمرین استقامتی

۱- مقدمه

با توجه به افزایش دمای محیطی در نتیجه تغییرات اقلیمی و برگزاری بسیاری از رویدادهای ورزشی در شرایط گرم، استرس حرارتی به یکی از چالش های مهم سلامت و عملکرد ورزشکاران تبدیل شده است. در این شرایط، ورزش در محیط های گرم و مرطوب با افزایش نیاز به جریان خون پوستی برای دفع حرارت، همراه با کم آبی تدریجی و افزایش دمای مرکزی بدن، فشار قابل توجهی بر سیستم قلبی-عروقی وارد می کند و می تواند تأمین اکسیژن مورد نیاز عضلات فعال را با محدودیت مواجه سازد (۱). قرارگیری در چنین شرایطی با ایجاد هیپرترمی و خستگی زودرس، عملکرد ورزشی را کاهش داده و خطر بروز اختلالات مرتبط با گرما را افزایش می دهد (۲).

استرس حرارتی موجب برهم خوردن هموستاز فیزیولوژیک شده و نیاز سیستم گردش خون به سازگاری های جبرانی را افزایش می دهد (۳). شواهد پژوهشی نشان داده اند که استرس حرارتی می تواند با تغییر در عملکرد قلبی-عروقی، از جمله کاهش حجم ضربه ای، افزایش ضربان قلب و اختلال در توزیع جریان خون بین پوست و عضلات فعال، ظرفیت عملکردی فرد را محدود سازد. این تغییرات همودینامیک، به ویژه در فعالیت های طولانی مدت یا شدید، تحویل اکسیژن به بافت ها را مختل کرده و هزینه فیزیولوژیکی فعالیت را به طور محسوسی افزایش می دهد (۴). همچنین ترکیب استرس حرارتی محیطی با فعالیت بدنی شدید، فشار قلبی-عروقی قابل توجهی را پیش از بروز خستگی مرکزی تحمیل می کند که با کاهش برون ده قلبی، حجم ضربه ای و جریان خون بافتی همراه است (۵).

علاوه بر تغییرات همودینامیک، استرس حرارتی و فعالیت ورزشی شدید با افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن و تشدید استرس اکسیداتیو همراه هستند. در چنین شرایطی، تولید رادیکال های آزاد ممکن است از ظرفیت دفاع آنتی اکسیدانی بدن فراتر رفته و منجر به آسیب سلولی و بافتی شود. استرس اکسیداتیو به عنوان یکی از عوامل مهم در پاتوژنز بیماری های قلبی-عروقی شناخته می شود و می تواند در بروز آسیب میوکارد نقش داشته باشد (۶،۷،۸). در این راستا، نشانگرهایی نظیر لاکتات دهیدروژناز (LDH)، به عنوان شاخص آسیب میوکارد، ابزارهای ارزشمندی برای ارزیابی پاسخ قلب به شرایط استرس زای ناشی از تمرین در محیط گرم محسوب می شوند. لاکتات دهیدروژناز آنزیمی است که تقریباً در تمام سلول های بدن وجود دارد. در حالت طبیعی افراد سالم و در غیاب آسیب بافتی و سلولی فقط مقدار کمی از آن در خون وجود دارد. در اثر آسیب سلولی، لاکتات دهیدروژناز از درون سلول ها آزاد شده و در جریان خون وارد می شود و بنابراین سطح آن در خون افزایش می یابد (۹).

با توجه به پیامدهای نامطلوب استرس حرارتی، شناسایی راهبردهای مؤثر برای کاهش اثرات آن اهمیت ویژه ای دارد. در این راستا، استفاده از تکنیک های خنک سازی به عنوان یکی از روش های مؤثر در کنترل افزایش دمای مرکزی بدن مطرح شده است (۵).



The Second National Conference on Physical Education, Modern Sports Sciences, Professional Sport, and Health Promotion

کاربش همایش: ۱۳۰۵/۲/۱۵

دومین همایش ملی تربیت بدنی علوم ورزشی
نوبین، ورزش حرفه ای و ارتقای تندرستی

مطالعات نشان داده‌اند که خنک‌سازی حین فعالیت می‌تواند فشار حرارتی را کاهش داده و در مقایسه با پیش‌سرمایش، مزایای پایداری در کنترل پاسخ‌های فیزیولوژیکی ناشی از گرما ایجاد کند (۱۰، ۱۱). همچنین در مطالعه ای گزارش شده است که استفاده از جلیقه‌های خنک‌کننده موجب کاهش دمای بدن، ضربان قلب و احساس گرمای ادراک‌شده در شرایط گرم می‌شود (۱۲).

از سوی دیگر، سلیوم به عنوان یک عنصر کمیاب ضروری، از طریق مشارکت در ساختار سلنوپروتئین‌ها، به‌ویژه آنزیم‌های گلوکاتایون پراکسیداز، نقش مهمی در دفاع آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کند (۱۳، ۱۴). این آنزیم‌ها پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و لیپید هیدروپراکسیدها را با استفاده از گلوکاتایون احیا می‌کنند، که این فرآیند تولید رادیکال‌های آزاد را کاهش داده و پراکسیداسیون لیپیدی غشاها و میتوکندری را مهار می‌نماید (۱۵). همچنین گزارش شده است که سطوح پایین سلیوم با افزایش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی همراه بوده و مکمل‌یاری سلیوم می‌تواند با تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تعدیل پاسخ‌های التهابی، از آسیب میوکارد ناشی از استرس اکسیداتیو پیشگیری کند (۸، ۱۶).

با وجود شواهد موجود در خصوص اثرات مستقل خنک‌سازی و مکمل‌یاری سلیوم، اطلاعات محدودی درباره اثر همزمان این دو مداخله بر آسیب قلبی ناشی از تمرین در محیط گرم وجود دارد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر خنک‌سازی حین تمرین و مکمل‌یاری سلیوم، به‌تنهایی و به‌صورت ترکیبی، بر نشانگرهای آسیب قلبی در موش‌های صحرایی تحت تمرین در محیط گرم انجام شد.

۲- روش شناسی

طرح پژوهش حاضر از نوع آزمایشگاهی و تجربی است که با هدف بررسی اثر خنک‌سازی حین تمرین در محیط گرم و مصرف مکمل سلیوم بر میزان LDH در قلب موش‌های صحرایی انجام شد. جامعه آماری این پژوهش شامل ۴۸ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار (۶ تا ۸ هفته‌ای، وزن ۲۰۰ تا ۲۵۰ گرم) بود. این حیوانات از مرکز پرورش حیوانات آزمایشگاهی استان سمنان تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه حیوانات دانشگاه صنعتی شاهرود، به مدت دو هفته تحت شرایط استاندارد سازگاری قرار گرفتند (دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد، چرخه نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی، و دسترسی آزاد به آب و غذای استاندارد). حیوانات به‌صورت تصادفی به شش گروه مساوی (هر گروه ۸ حیوان) تقسیم شدند. رت‌ها با غذای استاندارد پلت تهیه‌شده از مرکز پرورش و تکثیر حیوانات آزمایشگاهی انستیتو پاستور ایران تغذیه شدند و خوراک و آب به‌صورت آزاد در اختیار آن‌ها قرار داشت. براساس استانداردهای تغذیه‌ای، رت‌ها روزانه به ازای هر ۱۰۰ گرم وزن بدن، حدود ۱۲-۱۶ گرم خوراک نیاز دارند و مصرف آب آن‌ها نیز بین ۱۰ تا ۱۵ میلی لیتر به ازای هر ۱۰۰ گرم وزن بدن بود (۱۷، ۱۸).

در گروه‌های دریافت‌کننده مکمل سلیوم، از سدیم سلیت با دوز ۰٫۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن استفاده شد (۱۹). مکمل به‌صورت خوراکی از طریق مخلوط‌سازی با غذای روزانه (پلت استاندارد) ارائه گردید. برای این منظور پلت‌های استاندارد آسیاب، با



مقدار دقیق سلنیوم غنی‌سازی و مجدداً به شکل پلت قالب‌گیری شدند تا توزیع یکنواخت تضمین شود. مکمل‌دهی به مدت هشت هفته، به صورت روزانه و بر اساس وزن هفتگی هر موش انجام گرفت. در گروه‌های تحت مداخله خنک‌سازی، از کمپرس یخ (بسته‌های سرمازا) برای خنک‌سازی موضعی بدن استفاده شد. بسته‌های یخ در کیسه‌های پارچه‌ای قرار گرفته و با نوارهای انعطاف‌پذیر به طور ایمن و ثابت به دور بدن حیوان بسته می‌شدند تا حین تمرین روی تردمیل جابه‌جا نشوند (۲۰).

پروتکل تمرینی به مدت ۸ هفته، ۶ جلسه در هفته برای گروه‌های تمرینی اجرا گردید. تمرینات بر روی تردمیل حیوانی مخصوص موش (شامل دستگاه‌های ۴ و ۵ لاینه) انجام شد. دمای محیط تمرین برای گروه محیط عادی 26 ± 1 درجه سانتی‌گراد و برای گروه محیط گرم 36 ± 1 درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید.

جدول ۱. پروتکل تمرینی

هفته	مدت تمرین (دقیقه)	سرعت نوارگردان (متر/دقیقه)
اول	۱۰	۱۰
دوم	۲۰	۱۵
سوم	۳۰	۲۰
چهارم	۴۰	۲۵
پنجم تا هشتم	تأحد و اماندگی	شروع با ۱۵، افزایش ۵ متر/دقیقه هر ۲۰ دقیقه

برنامه تمرینی به صورت فزاینده و در هفته‌های پنجم تا هشتم تا حد و اماندگی انجام شد. افزایش شدت تمرین از طریق افزایش سرعت و مدت زمان دویدن بدون اعمال شیب صورت گرفت. به طوری که سرعت اولیه ۱۵ متر بر دقیقه بود و هر ۲۰ دقیقه، ۵ متر بر دقیقه به سرعت افزوده می‌شد تا زمانی که حیوان قادر به ادامه تمرین نباشد (۱۵).

۴۸ ساعت پس از اتمام دوره تمرینی، تمامی حیوانات تحت بیهوشی عمیق و با استفاده از شیوه مناسب آسان‌کشی، کشته و جراحی شدند و نمونه‌برداری خون از قلب انجام گرفت. سرم خون جدا و میزان LDH سرم به عنوان نشانگر آسیب عضله قلبی با روش آنزیماتیک و استفاده از کیت تجاری معتبر اندازه‌گیری شد. تمامی مراحل نگهداری، مداخلات، نمونه‌برداری و پایان مطالعه بر اساس کد اخلاقی ETHICS-2410-1110 کمیته اخلاق دانشگاه صنعتی شاهرود و با رعایت کامل اصول و پروتکل‌های بین‌المللی کار با حیوانات آزمایشگاهی انجام گردید.



پس از گردآوری داده‌ها، از آمار توصیفی (میانگین $\pm$ انحراف معیار) استفاده شد. طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک بررسی گردید. برای مقایسه بین گروه‌ها از آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس و در صورت معنادار بودن نتایج، از آزمون تعقیبی دان استفاده شد. تمامی تحلیل‌های آماری با نرم‌افزارهای SPSS و GraphPad Prism انجام و سطح معناداری $P < 0.005$ در نظر گرفته شد.

۳- یافته‌ها

گروه کنترل (C) در مقایسه با گروه تمرین در محیط گرم (H) تفاوت معنی‌دار مشاهده شد ($p=0.0455$)؛ سطح LDH سرم در گروه تمرین در محیط گرم به طور معنی‌داری افزایش یافت. این افزایش نشان می‌دهد که استرس گرمایی ناشی از تمرین استقامتی با افزایش دمای مرکزی بدن، کاهش حجم پلاسما و تشدید تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، موجب آسیب به سلول‌های عضله قلبی و آزادسازی LDH به داخل خون شده است.

● گروه کنترل (C) در مقایسه با گروه تمرین در محیط گرم + سلنیوم (HS) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد ($p > 0.005$)؛ هرچند سطوح LDH در این گروه نسبت به گروه H کاهش یافته بود. این یافته حاکی از آن است که مصرف سلنیوم به‌تنهایی توانسته بخش قابل‌توجهی از آسیب اکسیداتیو را خنثی کند.

● گروه کنترل (C) در مقایسه با گروه تمرین در محیط گرم + خنک‌سازی (HP) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد ($p > 0.005$)؛ ب

● گروه کنترل (C) در مقایسه با گروه تمرین در محیط گرم + سلنیوم + خنک‌سازی (HSP) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (P

< 0.05)؛ سطوح LDH در گروه HSP نزدیک به گروه کنترل قرار گرفت.

● گروه تمرین در محیط عادی (N) در مقایسه با گروه تمرین در محیط گرم (H) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد ($P > 0.9999$)؛ با این حال سطوح LDH در گروه H بالاتر بود. این نتیجه تأکید می‌کند که افزایش LDH عمدتاً ناشی از استرس حرارتی محیط بوده و نه صرفاً فعالیت ورزشی در شرایط عادی.

● گروه تمرین در محیط گرم (H) در مقایسه با گروه تمرین در محیط گرم + سلنیوم (HS) تفاوت معنی‌دار مشاهده شد ($P = 0.0079$)؛ سطوح LDH سرم در گروه HS به طور معنی‌داری کمتر از گروه H بود. این کاهش قابل‌توجه نشان‌دهنده اثر قوی



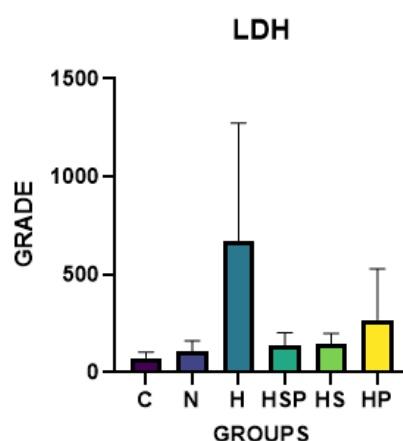
آنتی‌اکسیدانی سلنیوم از طریق تقویت آنزیم‌های گلوکاتایون پراکسیداز و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی در سلول‌های قلبی تحت شرایط استرس گرمایی است.

● گروه تمرین در محیط گرم (H) در مقایسه با گروه تمرین در محیط گرم + خنک‌سازی (HP) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد ($p=0.5716$)؛ با وجود اینکه کاهش نسبی در سطوح LDH مشاهده گردید. این یافته نشان می‌دهد که خنک‌سازی حین تمرین به‌تنهایی نتوانسته به طور کامل اثر حفاظتی معنادار ایجاد کند.

● گروه تمرین در محیط گرم (H) در مقایسه با گروه تمرین در محیط گرم + سلنیوم + خنک‌سازی (HSP) تفاوت معنی‌دار مشاهده شد ($P=0.0205$)؛ سطوح LDH سرم در گروه HSP به طور معنی‌داری کمتر از گروه H بود. این نتیجه بیانگر اثر حفاظتی خوب مداخله ترکیبی و نقش هم‌افزایی احتمالی سلنیوم و خنک‌سازی در کاهش آسیب عضله قلبی است.

● سایر مقایسه‌های بین گروهی تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.

به‌طور کلی، تمرین استقامتی در محیط گرم باعث افزایش معنی‌دار سطوح LDH سرم و تشدید آسیب عضله قلبی شد. مصرف سلنیوم به‌تنهایی (HS) و ترکیب سلنیوم با خنک‌سازی (HSP) هر دو توانستند این افزایش را به‌طور معناداری کاهش دهند، در حالی که خنک‌سازی به‌تنهایی (HP) اثر حفاظتی کمتری نشان داد. این نتایج حاکی از آن است که سلنیوم به‌عنوان مداخله آنتی‌اکسیدانی نقش مؤثرتری داشته و افزودن خنک‌سازی به آن، حفاظت بیشتری فراهم می‌کند.



شکل ۱. نمودار میزان تغییرات LDH



۴- بحث و نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تمرین استقامتی در محیط گرم به عنوان یک عامل استرس‌زای فیزیولوژیک قوی، موجب افزایش معنادار سطوح LDH سرم نسبت به گروه کنترل شد ($P = 0.00455$). (این افزایش حاکی از آن است که استرس حرارتی ناشی از تمرین، تعادل هموستاتیک سلول‌های میوکارد را برهم زده و منجر به آسیب سلولی و آزادسازی LDH به عنوان نشانگر آسیب عضله قلبی می‌گردد. این تغییرات الزاماً بیانگر نکرóz گسترده و غیرقابل برگشت نیست، بلکه بیشتر نشان‌دهنده پاسخ قلب به افزایش بار متابولیکی، هیپرترمی مرکزی، کاهش حجم پلاسما و استرس اکسیداتیو شدید است.

نتایج این پژوهش با یافته‌های هو و همکاران (۲۰۲۳)، دا پونته و همکاران (۲۰۱۸)، لگاز-آرسه و همکاران (۲۰۱۱) و یون جی.اچ و همکاران (۲۰۱۶) همسو است. آن‌ها گزارش کردند که فعالیت‌های استقامتی شدید (مانند ماراتن و فوق ماراتن) باعث افزایش موقت یا معنادار سطوح سرمی LDH، CK-MB و تروپونین I قلبی می‌شود که عمدتاً ناشی از فشار متابولیکی بالا، هیپرترمی و استرس اکسیداتیو بر سلول‌های میوکارد است. در مطالعه حاضر نیز افزایش LDH در گروه تمرین در محیط گرم (H) دقیقاً با این الگو همخوانی دارد و نشان می‌دهد که حضور استرس حرارتی شدت و پایداری این آسیب را افزایش می‌دهد (۲۱،۲۲،۲۳،۲۴).

از سوی دیگر، مداخلات محافظتی نتایج متفاوتی نشان دادند. خنک‌سازی حین تمرین به تنهایی (HP) نتوانست کاهش معناداری در سطوح LDH ایجاد کند ($P = 0.05716$). این یافته با برخی مطالعات مانند رحمانی و همکاران، ۱۴۰۰ همخوانی دارد که نشان می‌دهند خنک‌سازی بار حرارتی و فشار قلبی-عروقی را کاهش می‌دهد، اما اغلب قادر به مهار کامل آسیب‌های بیوشیمیایی نیست (۲). با این حال، این نتیجه با مطالعات اوتانی و همکاران (۲۰۲۰)، براون و همکاران (۲۰۲۳)، اسمیت و همکاران (۲۰۱۳) و کاتر و همکاران (۲۰۰۱) که خنک‌سازی را در کاهش ضربان قلب، دمای مرکزی و فشار حرارتی مؤثر دانسته‌اند، تا حدی ناهمسو است. این ناهمسوئی می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع خنک‌سازی (کمپرس موضعی در مقابل ژاکت فن‌دار یا غوطه‌وری)، شدت و مدت پروتکل تمرینی و مدل حیوانی باشد (۲۵،۲۶،۲۷،۲۸).

در مقابل، مصرف مکمل سلنیوم به تنهایی (HS) باعث کاهش معنادار سطوح LDH سرم نسبت به گروه H شد ($P = 0.00079$). این یافته با نتایج مطالعات داخلی و خارجی همسو است. ذوالفقار دیدنی و همکاران (۱۳۹۶)، ترک و همکاران (۱۳۹۶)، غوریل و همکاران (۲۰۱۷)، کاراکیو و همکاران (۲۰۲۳) و ایلهان و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که سلنیوم با تقویت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (مانند GPx، کاهش MDA و مهار مسیرهای التهابی و آپوپتوزی، استرس اکسیداتیو و آسیب قلبی را به طور مؤثری تعدیل می‌کند. در پژوهش حاضر نیز سلنیوم توانست آسیب ناشی از ترکیب تمرین و گرما را به طور معناداری کاهش دهد (۱۵،۲۹،۳۰،۳۱،۳۲).



بیشترین اثر محافظتی در گروه مداخله ترکیبی سلیوم + خنک‌سازی (HSP) مشاهده شد که سطوح LDH را به‌طور معنادار نسبت به گروه H کاهش داد ($P = 0.0025$) (و به سطوح نزدیک به گروه کنترل رساند. این نتیجه بیانگر اثر هم‌افزایی (synergistic) دو مداخله است؛ به‌طوری که خنک‌سازی با کاهش بار حرارتی و متابولیسم و سلیوم با تقویت دفاع آنتی‌اکسیدانی، به‌صورت مکمل از بافت قلب محافظت کردند. این هم‌افزایی با یافته‌های داداش‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) که ترکیب کورکومین با تمرین را مؤثرتر دانستند، همخوانی دارد (۳۳).

به‌طور کلی، یافته‌های پژوهش حاضر نه تنها با پیشینه پژوهشی در زمینه آسیب قلبی ناشی از استرس حرارتی و تمرین شدید همسو است، بلکه با نشان دادن اثر حفاظتی سلیوم و به‌ویژه ترکیب آن با خنک‌سازی، به دانش موجود ارزش افزوده می‌دهد. این مطالعه تأکید می‌کند که مداخلات تغذیه‌ای (سلیوم) و فیزیکی (خنک‌سازی) به‌تنهایی مفید هستند، اما ترکیب آن‌ها می‌تواند استراتژی مؤثرتری برای حفاظت از سلامت قلب در شرایط گرم فراهم کند. این نتایج می‌تواند مبنایی برای طراحی راهبردهای عملی در ورزشکاران و افراد در معرض گرما باشد.

۵- منابع

- González-Alonso, J., Crandall, C. G., & Johnson, J. M. (2008). The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *The Journal of physiology*, 586(1), 45-53.
- رحمانی احمد، ولیدی احمد، & آزاد احمد. (۲۰۲۱). اثر غوطه‌وری در آب خنک بر زمان واماندگی، مقدار لاکتات و شاخص‌های الکترولیتی خون مردان تمرین نکرده متعاقب تمرین وامانده ساز در گرما.
- Van de Kerkhof, T. M., Bongers, C. C., Périard, J. D., & Eijssvogels, T. M. (2024). Performance benefits of pre-and per-cooling on self-paced versus constant workload exercise: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 54(2), 447-471.
- González-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S. L., Jensen, F. B., Hyldig, T., & Nielsen, B. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of applied physiology*. Doi:10.1152/jappl.1999.86.3.1032
- Crandall, C. G., & Gonzalez-Alonso, J. (2010). Cardiovascular function in the heat-stressed human. *Acta physiologica*, 199(4), 407-423.
- Fernández-Lázaro, D., Fernandez-Lazaro, C. I., Mielgo-Ayuso, J., Navascués, L. J., Córdova Martínez, A., & Seco-Calvo, J. (2020). The role of selenium mineral trace element in exercise: antioxidant defense system, muscle performance, hormone response, and athletic performance. A systematic review. *Nutrients*, 12(6), 1790.
- Tanguy, S., Grauzam, S., de Leiris, J., & Boucher, F. (2012). Impact of dietary selenium intake on cardiac health: experimental approaches and human studies. *Molecular nutrition & food research*, 56(7), 1106-1121.
- Wang, X., Yang, B., Cao, H. L., Wang, R. Y., Lu, Z. Y., Chi, R. F., & Li, B. (2021). Selenium supplementation protects against lipopolysaccharide-induced heart injury via sting pathway in mice. *Biological trace element research*, 199(5), 1885-1892.



9. Welchen, E., Schmitz, J., Fuchs, P., García, L., Wagner, S., Wienstroer, J., ... & Maurino, V. G. (2016). D-Lactate dehydrogenase links methylglyoxal degradation and electron transport through cytochrome C. *Plant Physiology*, 172(2), 901-912.

10. Bongers, C. C., Thijssen, D. H., Veltmeijer, M. T., Hopman, M. T., & Eijssvogels, T. M. (2015). Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review. *British journal of sports medicine*, 49(6), 377-384.

11. Cao, Y., Lei, T. H., Wang, F., Yang, B., & Mündel, T. (2022). Head, face and neck cooling as per-cooling (cooling during exercise) modalities to improve exercise performance in the heat: a narrative review and practical applications. *Sports Medicine-Open*, 8(1), 16.

12. Zhao, Y., Yi, W., Chan, A. P., Wong, F. K., & Yam, M. C. (2017). Evaluating the physiological and perceptual responses of wearing a newly designed cooling vest for construction workers. *Annals of work exposures and health*, 61(7), 883-901.

13. Flores-Mateo, G., Navas-Acien, A., Pastor-Barriuso, R., & Guallar, E. (2006). Selenium and coronary heart disease: a meta-analysis. *The American journal of clinical nutrition*, 84(4), 762-773.

14. Fernández-Lázaro, D., Fernandez-Lazaro, C. I., Mielgo-Ayuso, J., Navascués, L. J., Córdova Martínez, A., & Seco-Calvo, J. (2020). The role of selenium mineral trace element in exercise: antioxidant defense system, muscle performance, hormone response, and athletic performance. A systematic review. *Nutrients*, 12(6), 1790.

۱۵. ذوالفقاریدینی حسن، ذوالفقاریدینی محمد رضا، عصری ریاضی سیامک، & قادری پاکدل فیروز. (۲۰۱۷). تاثیر بارگیری کوتاه مدت نانو ذره سلنیوم و تمرین وامانده ساز بر شاخص های اکسایشی در بافت قلبی رت های نر.

16. Ilhan, I., Asci, H., Tepebasi, M. Y., Imeci, O. B., Sevuk, M. A., Temel, E. N., & Ozmen, O. (2023). Selenium exerts protective effects on inflammatory cardiovascular damage: molecular aspects via SIRT1/p53 and Cyt-c/Cas-3 pathways. *Molecular biology reports*, 50(2), 1627-1637.

17. HIRAMATSU, N., KISHIDA, T., HAMANO, T., & NATAKE, M. (1991). Effects of dietary pantothenic levels on contents of fatty acids and thiobarbituric acid reactive substances in the liver of rats orally administered varying amounts of autoxidized linoleate. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 37(1), 73-87.

18. Blanchard, P. G., Festuccia, W. T., Houde, V. P., St-Pierre, P., Brûlé, S., Turcotte, V., ... & Deshaies, Y. (2012). Major involvement of mTOR in the PPAR γ -induced stimulation of adipose tissue lipid uptake and fat accretion. *Journal of lipid research*, 53(6), 1117-1125.

۱۹. اشرفی، صادقی، & چمنی. (۲۰۲۳). اثر سلنیوم بر شاخص های آنتی اکسیدانی و غلظت هورمون های موثر بر متابولیسم در موش صحرایی در معرض تنش گرمایی. *دانش زیستی ایران*, ۱۷(۴), ۳۵-۴۷.

20. Stevens, C. J., Borg, D., Brade, C., Carter, S., Filingeri, D., Lee, J., ... & Tyler, C. J. (2025). Head, face, and neck cooling for performance: A systematic review and meta-analysis. *International journal of sports physiology and performance*, 20(6), 743-763.

21. Hu, J., Zhou, S., Ryu, S., Adams, K., & Gao, Z. (2023). Effects of long-term endurance exercise on cardiac morphology, function, and injury indicators among amateur marathon runners. *International journal of environmental research and public health*, 20(3), 2600.

22. Da Ponte, A., Giovanelli, N., Antonutto, G., Nigris, D., Curcio, F., Cortese, P., & Lazzer, S. (2018). Changes in cardiac and muscle biomarkers following an uphill-only marathon. *Research in Sports Medicine*, 26(1), 100-111.



23. Legaz-Arrese, A., George, K., Carranza-García, L. E., Munguía-Izquierdo, D., Moros-García, T., & Serrano-Ostáriz, E. (2011). The impact of exercise intensity on the release of cardiac biomarkers in marathon runners. *European journal of applied physiology*, 111(12), 2961-2967.
24. Yoon, J. H., Park, Y., Ahn, J., Shin, K. A., & Kim, Y. J. (2016). Changes in the markers of cardiac damage in men following long-distance and ultra-long-distance running races. *The Journal of Sports Medicine and physical fitness*, 56(3), 295-301.
25. Otani, H., Fukuda, M., & Tagawa, T. (2021). Cooling between exercise bouts and post-exercise with the fan cooling jacket on thermal strain in hot-humid environments. *Frontiers in Physiology*, 12, 640400.
26. Brown, H. A., Chalmers, S., Topham, T. H., Clark, B., Meyer, T., Jowett, A., ... & Périard, J. D. (2025). Efficacy of the FIFA cooling break heat policy during an intermittent treadmill football simulation in hot conditions in trained females. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 28(6), 491-497.
27. Smith, D. L., Fehling, P. C., Hultquist, E. M., Arena, L., Lefferts, W. K., Haller, J. M., ... & Cooper, C. B. (2013). The effect of precooling on cardiovascular and metabolic strain during incremental exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(9), 935-940.
28. Cotter, J. D., Sleivert, G. G., Roberts, W. S., & Febbraio, M. A. (2001). Effect of pre-cooling, with and without thigh cooling, on strain and endurance exercise performance in the heat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 128(4), 667-677.
29. Tork, F., Zolfaghari, M. R., Siamak, A. R., & Pakdel, F. G. (2017). Effect of short term nanoselenium supplementation and exhausted training in oxidation indexes on muscle tissue of male rats.
30. Ghorbel, I., Elwej, A., Chaabane, M., Jamoussi, K., & Zeghal, N. (2017). Protective effect of selenium against aluminium chloride induced cardiotoxicity in rats. *Pharmaceutical and Biomedical Research*, 3(2), 19-25.
31. Karakuyu, N. F., Aşçı, H., Savran, M., & Gülle, K. (2023). Protective role of selenium on the heart of rats exposed acrylamide. *Medical Journal of Süleyman Demirel University*, 30(1), 9-17.
32. İlhan, I., Asci, H., Tepebasi, M. Y., İmeci, O. B., Sevuk, M. A., Temel, E. N., & Özmen, O. (2023). Selenium exerts protective effects on inflammatory cardiovascular damage: molecular aspects via SIRT1/p53 and Cyt-c/Cas-3 pathways. *Molecular biology reports*, 50(2), 1627-1637.

۳۳. داداش زاده، & پوزش جدیدی. (۲۰۲۱). تاثیر تمرین تناوبی شدید و مصرف کورکومین بر سطوح تروپونین I و کراتین کیناز سرمی موشهای نر تیمار شده با ایزوپرتنول. *مطالعات کاربردی تندرستی در فیزیولوژی ورزش*. ۸(۱)، ۴۴-۵۳.

The effect of percooling in a hot environment and selenium intake on LDH levels in the heart of rats

FatemehGhasemiAhmadabadi^{a*}, Elham Vosadi^b,

^a Master of Science in Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and sport sciences, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran

^b Assistant Professor of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and sport sciences, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran

1. * Corresponding author: Fatemeh Ghasemi Ahmadabadi, fatemehghasemi99@gmail.com



Abstract

Objective: Exercise in hot environments increases body temperature and increases the risk of heat-related illnesses, which can cause negative physiological and functional effects, including damage to the heart muscle. Therefore, identifying and investigating strategies to reduce these consequences is of great importance. The present study aimed to investigate the effect of cooling during exercise in a hot environment and selenium supplementation on LDH levels in the heart of rats.

Methodology: This experimental study was conducted on 36 adult male Wistar rats (8 weeks old, weight 225 ± 25 g). They were randomly divided into six groups of six, including control, exercise in a normal environment, exercise in a hot environment, exercise in a hot environment with selenium intake, exercise in a hot environment with cooling, and exercise in a hot environment with selenium intake and cooling. The training program was adjusted incrementally. In the first week, it started with a duration of 10 minutes and a speed of 10 km/h, and each week the duration and intensity of the exercise were increased. Cooling was performed using cold packs and supplementation with selenium at a rate of 0.45 mg on the ground through pellets. After the end of the period, the animals were killed and samples were taken. Serum LDH levels were measured. Statistical analysis of the data was performed using the non-parametric Kruskal-Wallis test and Dunn's post hoc test at a significance level of $P \leq 0.05$.

Findings: Exercise in a hot environment significantly increased serum LDH levels compared to the control group ($P=0.0455$). Selenium consumption alone (HS) significantly decreased LDH compared to the H group ($P=0.0079$). Cooling alone (HP) showed a relative decrease in LDH, but this did not decrease ($P=0.5716$). The combined selenium + cooling (HSP) intervention also reduced LDH levels compared to the H group ($P=0.025$) and brought levels closer to the control group.

Conclusion: Endurance training in the environment causes heat-induced myocardial injury (increased LDH). Both selenium intervention and the combination of selenium with cooling were able to significantly modulate this injury, while cooling alone had a lesser effect. The results indicate the protective potential of selenium and especially its combination with cooling during hot training.

Keywords: Cooling, Selenium, Cardiac Injury, Endurance Training