

علوم زیستی ورزشی - پاییز ۱۳۹۶
دوره ۹، شماره ۳، ص: ۳۶۹ - ۳۵۱
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۰۸
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۰۴

تأثیر کوتاه مدت مکمل دهی کوآنزیم Q10 و استراتژی پیش‌سرمایی بر شاخص‌های آسیب عضلانی شناگران نخبه

علی امامی^۱ - اصغر توفیقی^{۲*} - سیامک عصری رضایی^۳

۱. دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران ۲. دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران ۳. دانشیار، گروه کلینیکال پاتولوژی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

هدف از مطالعه حاضر بررسی استفاده از مکمل‌دهی دوهفته‌ای کوآنزیم Q10 (CoQ10) و پیش‌سرمایی بر سطح سرمی کراتین کیناز (CK)، آسپاراتات آمینوترانس‌فراز (AST) و لاکتات (LAC) پلاسمایی شناگران نوجوان نخبه حین تمرینات سنگین و رکوردگیری شنا بود. ۳۲ پسر سالم داوطلب به صورت تصادفی به چهار گروه هشت‌نفری، مکمل‌دهی CoQ10، پیش‌سرمایی، مکمل‌دهی+پیش‌سرمایی و کنترل تقسیم شدند. آزمودنی‌ها طی ۱۸ جلسه در تمرینات ترکیبی شنای سرعت و استقامت به مسافت ۵ کیلومتر در هر جلسه شرکت کردند. خون‌گیری سه‌مرحله‌ای، پیش از رکوردگیری اول و سپس قبل و بعد از رکوردگیری دوم در مسافت‌های ۸۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ متر جمع‌آوری شد. آنالیز داده‌ها با آزمون‌های تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و آنکوا انجام گرفت. مطابق با نتایج، تفاوت آماری معناداری در مرحله اول خون‌گیری با مقایسه بین گروهی سطح شاخص‌های CK، AST و LAC مشاهده نشد ($P > 0.05$). تفاوت آماری معناداری در مراحل دوم و سوم خون‌گیری با مقایسه بین گروهی مشاهده شد ($P < 0.05$). به طوری که سطح شاخص‌های CK، AST و LAC در گروه‌های پیش‌سرمایی و کنترل نسبت به گروه‌های مکمل‌دهی و مکمل‌دهی+پیش‌سرمایی افزایش معناداری یافتند. در نتیجه، مکمل‌دهی CoQ10 از تغییرات نامطلوب شاخص‌های آسیب عضلانی در حین تمرینات سنگین و رکوردگیری شنا ممانعت می‌کند. در حالی که استراتژی پیش‌سرمایی به‌تنهایی تأثیری بر کاهش سطح شاخص‌های آسیب عضلانی ندارد.

واژه‌های کلیدی

استرس اکسایشی، آسیب عضلانی، پیش‌سرمایی، تمرینات سنگین، کوآنزیم Q10

مقدمه

یک شناگر در عرصه ورزش قهرمانی همواره با خطرهای جدی مانند افزایش دمای بدن حین فعالیت در محیط گرم و مرطوب یا به علت مداومت بر تمرینات شدید و طولانی مدت با تبعاتی از جمله گرمزدگی^۱ و نیز بیش‌تمرینی مواجه است که در پی آن عملکرد ورزشکار طی استرس گرمایی، به‌طور فزاینده‌ای کاهش می‌یابد (۲، ۲۲). به حداقل رساندن دمای بدن و فشارهای اکسایشی در حین تمرین و مسابقات در محیط‌هایی با دمای بالا مورد توجه مراکز ورزشی قرار گرفته است تا ورزشکاران در مسابقات جام جهانی فوتبال ۲۰۱۴ برزیل و ۲۰۲۲ قطر و به‌خصوص رقابت‌های المپیک ۲۰۱۶ برزیل با مشکل مواجه نشوند (۲). در این زمینه سرد کردن بدن در دو حالت پیش‌سرمایی^۲ و حین‌سرمایی^۳ می‌تواند با ناتوانی و خستگی، از طریق پایین آوردن دمای بدن مقابله کند (۲). بیشتر مطالعات بر بهبود زمان واماندگی و عملکرد اتفاق نظر دارند، اما بین برخی مطالعات اختلاف نظرهایی هم وجود دارد و آن را یک شیوه غیرکاربردی برای ورزش‌های میدانی و رقابتی می‌دانند (۲). پیش‌سرمایی از سال ۲۰۰۰ میلادی تا به حال برای بیشتر رشته‌های ورزشی که در محیطی گرم با دمای حداقل ۲۸ درجه سانتی‌گراد انجام می‌گیرند، به کار رفته است (۱۳).

هاسگاوا^۴ و همکاران (۲۰۰۶)، استفاده از پیش‌سرمایی (غوطه‌ور در آب با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و نیز حین‌سرمایی (نوشیدن آب خنک) را برای کاهش فشار وارد بر قلب و عروق از طریق کاهش دمای بدن و جلوگیری از آب‌زدایی حین رکاب زدن در محیطی با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد مفید گزارش کردند (۱۱). از سوی دیگر، شرکت در فعالیت‌های ورزشی شدید و طولانی‌مدت با افزایش نشت الکترون از میتوکندری و با ایجاد اختلال در هموستاز بدن، به تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن^۵ (ROS)، مانند رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$)، هیدروژن پراکسید غیررادیکالی (H_2O_2) و رادیکال هیدرواکسیل ($OH\cdot$) منجر می‌شود (۲۱). در واقع آنها آغازگر قوی پراکسیداسیون لیپید، اکسیداسیون پروتئین و آسیب DNA هستند، که نقش مهمی در تثبیت پاتوژن‌ها و سطح وسیعی از بیماری‌ها دارند (۲۱). باید خاطر نشان کرد، افزایش دمای بدن محرک عروق احشایی در جهت تولید نامنظم رادیکال نیتریک اکساید ($\cdot NO$) و ROS می‌شود (۱۰). نتایج مطالعات سانتوس

1. Heat Stroke
2. Pre-Cooling
3. Per-Cooling
4. Hasegawa
5. Reactive Oxygen Species(ROS)

سیلوا^۱ و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد، شناگران نوجوان درگیر تمرینات و رقابت‌های سطح بالا با آسیب پروتئولیتیک^۲ و لیپولیتیک^۳ مواجه‌اند (۲۵). همچنین مطابق با یافته‌های تايلر^۴ و همکاران (۲۰۰۸)، یک جلسه تمرین شنا فشار اکسایشی و آسیب عضلانی را افزایش می‌دهد و همبستگی مثبت بین مالون‌دی-آلدئید^۵ (شاخص پراکسیداسیون لیپید) و CK به‌خصوص در شناگران نوجوان پسر نسبت به دختر وجود دارد (۲۹).

یکی دیگر از شیوه‌های مدنظر محققان و مربیان ورزشی مطابق با یافته‌های دمیرسی^۶ و همکاران (۲۰۱۴)، برای مقابله با آثار نامطلوب خستگی و فشارهای ناشی از تمرینات سنگین و تداومی، استفاده از مکمل غذایی CoQ₁₀ است (۷). CoQ₁₀ به‌عنوان یک شبه‌ویتامین محلول در چربی در همه سلول‌های بدن شناخته شده است (۴). همچنین دارای چندین نقش مهم از جمله انتقال الکترون‌ها و شرکت در تولید ATP در زنجیره تنفسی، مقابله با خستگی و درمان برخی بیماری‌ها (میگرن، عروق کرونری و ...) است (۴). به‌علاوه، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان به‌طور مستقیم روی رادیکال‌های پروکسیل تأثیر می‌گذارد و به‌صورت غیرمستقیم از احیای سایر آنتی‌اکسیدان‌ها از جمله ویتامین‌های C و E حمایت می‌کند (۴). شایان ذکر است CoQ₁₀ یک کوفاکتور^۷ ضروری برای جفت نشدن پروتئین‌ها در حفظ دمای مطلوب بدن، تسریع روند زیستی و فعل و انفعالات بیوشیمیایی بدن است، به‌عبارتی در تنظیم دمای مرکزی بدن برای انقباض‌پذیری عضلات نقش دارد (۲۶). بنابراین، CoQ₁₀ همانند استراتژی پیش‌سرمایی عمل تعدیل و کاهش دمای بدن را موقع استرس گرمایی ناشی از محیط و فعالیت ورزشی انجام می‌دهد، که این افت دما تصور می‌شود در به حداقل رساندن تولید ROS مفید باشد (۲۶).

شیروانی (۲۰۱۶) طی مطالعه‌ای، مصرف دوهفته‌ای CoQ₁₀ را مؤثر بر کنترل تغییرات نامطلوب MDA و سطح فعالیت AST بیرومی فوتبالیست‌ها پیشنهاد کرد (۲۷). درحالی‌که می‌زونو^۸ و همکاران (۲۰۰۸)، مکمل‌دهی CoQ₁₀ به مدت یک هفته را بی‌تأثیر بر شاخص‌های آسیب عضلانی گزارش کردند، ولی مصرف مقادیر بالا خستگی را کاهش داد و فعالیت جسمانی را بهبود بخشید (۱۹). به‌علاوه، گروه

-
1. Santos-Silva
 2. Proteolytic
 3. Lipolytic
 4. Tauler
 5. Malondialdehyde
 6. Demirci
 7. Cofactor
 8. Mizuno

تحقیقی فیگوریدو^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، با بررسی سیستم‌های انرژی درگیر در شنای ۲۰۰ متر کرال سینه گزارش کردند، مؤثرترین عامل در افت اجراهای تناوبی شناگران سرعتی، افزایش سطح لاکتات، ناکارآمدی سیستم‌های گلیکولیز و در نهایت بروز درد و خستگی است (۹). بنابراین محقق به دلیل نتایج ضد و نقیض و محدود بودن مطالعات در این زمینه، در پی انجام این پژوهش کاربردی به صورت میدانی و آزمایشگاهی است تا پاسخگوی این سؤال باشد، که آیا استفاده از پیش‌سرمایی و مکمل‌دهی CoQ₁₀ تأثیری بر تغییرات نامطلوب برخی از شاخص‌های آسیب عضلانی شناگران نوجوان در طول تمرینات سنگین (مرحله رقابت) و جلسات رکوردگیری شنا در محیط گرم و مرطوب دارد یا خیر؟

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی و کاربردی با اندازه‌گیری‌های مکرر و با استفاده از آزمودنی‌های انسانی انجام گرفت. جامعه آماری شامل شناگران نخبه پسر داوطلب و سالم در محدوده سنی ۱۶ تا ۱۹ سال (سن $17/50 \pm 1/10$ سال و چربی $14/55 \pm 1/75$ درصد) و عضو یکی از باشگاه‌های شنای تهران با سابقه ۱۰ سال شنای حرفه‌ای و نیز کسب عناوین برتر در سطح کشور بود (ویژگی‌های جسمانی شناگران در جدول ۳ ارائه شده است). افراد بدون عارضه قلبی-تنفسی و تا یک ماه پیش از شروع پژوهش هیچ‌گونه مکمل و مواد انرژی‌زا مصرف نکرده بودند و در استخر قهرمانی مجموعه ورزشی آزادی تهران زیر نظر مربی در شرایط رفاهی و تغذیه‌ای یکسانی تمرین می‌کردند. نمونه آماری به تعداد ۳۲ نفر به‌طور تمام‌شمار از جامعه همگن و در دسترس ۳۲ نفره، به‌طور تصادفی ساده و با کدگذاری انتخاب شدند و سپس در چهار گروه هشت‌نفره قرار گرفتند. به دلیل انسانی بودن آزمودنی‌ها، پس از کسب موافقت فدراسیون شنا و سرمربی تیم و نیز تشریح مراحل کار، فرم رضایت و نیز پرسشنامه سلامت PAR-Q^۲ برای اطمینان از بیمار نبودن آزمودنی‌ها تکمیل شد. آزمودنی‌ها در چهار گروه مکمل‌دهی CoQ₁₀، مکمل‌دهی + پیش‌سرمایی، پیش‌سرمایی و کنترل قرار گرفتند. مراحل انجام تحقیق به ترتیب در جدول ۱ ارائه شده است.

-
1. Figueiredo
 2. Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q)

جدول ۱. مراحل انجام تحقیق

خون‌گیری مرحله اول	رکوردگیری اول	مکمل‌دهی ۱۴ روزه CoQ10	خون‌گیری مرحله دوم	رکوردگیری دوم	خون‌گیری مرحله سوم
پیش از رکوردگیری	شنای کرال سینه در مسافت‌های ۸۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ متر، ۲۴ ساعت قبل از مکمل‌دهی	همراه با تمرینات منظم شنای سرعت و استقامت و نیز اعمال پیش‌سرمايي قبل از تمرین اصلی	قبل از رکوردگیری	اعمال پیش- سرمايي و شنای کرال- سینه در مسافت- های ۸۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ متر، ۲۴ ساعت بعد از مکمل‌دهی	پس از رکوردگیری

نحوه سنجش متغیرهای جسمانی

قد آزمودنی‌ها با قدسنج دیواری سکا (Seca 206) ساخت آلمان و میزان خطای ۱ میلی‌متر و وزن آنها با ترازوی دیجیتال Beurer با ضریب دقت ۱۰۰ گرم ساخت آلمان اندازه‌گیری شد. درصد چربی بدن^۱ (BF%) با استفاده از ضخامت‌سنج پوستی کالیپر^۲ (ساخت ژاپن) و فرمول چین پوستی سه‌نقطه‌ای "جکسون و پولاک"^۳ مختص مردان (سه‌سر بازویی، شکمی و فوق‌خاصره‌ای)، اندازه‌گیری شد (۱۲). شاخص توده بدن^۴ (BMI)، از تقسیم وزن بدن بر مجذور قد (Kg/m^2) محاسبه شد. توان هوازی ($\text{VO}_{2\text{max}}$)، به‌طور غیرمستقیم با استفاده از آزمون وامانده‌ساز بروس^۵ (دویدن بر روی نوار گردان تکنوجیم ساخت ایتالیا) و با استفاده از فرمول محاسباتی آن برآورد شد. توان بی‌هوازی با آزمون رست اندازه‌گیری شد (۱۲).

$$۵/۱۸۸۴۵ - [۰/۱۵۷۷۲ \times (\text{سن})] + [(\text{مجموع } ۳ \text{ قسمت}) \times ۰/۰۱۰۵] - (\text{مجموع } ۳ \text{ قسمت}) \times (۰/۳۹۲۸۷) = \text{درصد}$$

چربی بدن

$$[(\text{زمان}) \times ۰/۰۱۲] - [(\text{زمان}) \times ۰/۴۵۱] + [(\text{زمان}) \times ۱/۳۷۹] - [۱۴/۷۶] = \text{توان هوازی}$$

- 1 . Body Fat Percent(BF%)
- 2 . Caliper
- 3 . Jackson And Pollock
- 4 . Body Mass Index (BMI)
- 5 . Bruce Test
- 6 . RAST(Running-based Anaerobic Sprint Test) Test

$\text{توان بی‌هوای} = \frac{\text{زمان}^3}{\text{مسافت} \times \text{وزن}}$

آزمودنی‌ها ضربان قلب استراحتی خود را به مدت ۳ روز به‌طور متوالی پیش از ترک بستر به‌طور دقیق شمارش و ثبت کردند. تعداد نبض از شریان کاروتید در مدت ۱۰ ثانیه و ضرب آن در عدد ۶ شمارش و میانگین آنها یادداشت شد. ضربان قلب جلسه تمرین بلافاصله پس از رکوردگیری توسط شناگر از شریان کاروتید و ساعت پولار اندازه‌گیری شد. درک فشار تمرین^۱ (RPE)، مطابق با نرم استاندارد ۶ تا ۲۰ امتیازی بورگ، بعد از رکوردگیری‌ها به‌صورت پرسشنامه‌ای توسط شناگران تکمیل شد (۱۲).

مقادیر مصرفی مکمل کوآنزیم Q₁₀ و شبه‌دارو

میلز^۲ (۲۰۰۷)، مکمل‌دهی CoQ₁₀ را به‌دلیل جذب و توزیع در بافت‌هایی چون مغز، قلب، کلیه و سایر ارگان‌ها حداقل به مدت دو هفته ضروری دانست و مناسب‌ترین مقادیر مصرفی برای نمونه‌های انسانی به‌منظور بالا بردن سطح پایه آن را روزانه ۳۰۰ میلی‌گرم بیان کرد، زیرا به‌دلیل نیمه عمر ۳۳ ساعته و خاصیت آب‌گریزی همراه با وزن مولکولی بالا، باید به‌صورت تک‌وعده‌ای مصرف شود (۱۸). CoQ₁₀ به شکل کپسول ژله‌ای و ساخت شرکت نیچر آمریکا (Nature's Bounty. USA) و مطابق با تحقیق لی‌لارن‌گرایوب^۳ (۲۰۱۰) روزانه ۳۰۰ میلی‌گرم و به مدت ۱۴ روز مصرف شد (۱۵). گروه کنترل و پیش‌سرمایی در این مدت هر کدام روزانه ۳۰۰ میلی‌گرم کپسول‌های دارونما (لاکتوز^۴)، مشابه با CoQ₁₀ از نظر طعم، رنگ و اندازه مصرف کردند.

کنترل برنامه غذایی

به‌منظور کنترل برنامه غذایی، داده‌های لازم در زمینه میانگین دریافت غذا با استفاده از پرسشنامه یادآمد غذایی ۲۴ ساعته به‌دست آمد، بدین صورت که از تمامی افراد خواسته شد تمام خوردنی‌ها و آشامیدنی‌هایی را که طی ۲۴ ساعت گذشته مصرف کرده بودند، ذکر کنند. این پرسشنامه برای هر یک از آزمودنی‌ها در شش نوبت غیرمتوالی در طول دو هفته (هفته‌ای سه بار) تکمیل شد. برای مقادیر ذکر شده با استفاده از راهنمای مقیاس‌های خانگی موارد به گرم تبدیل شدند. سپس هر غذا براساس

1. Rating Perceived Exertion (RPE)
2. Miles
3. Leelarungrayub
4. Lactose

دستورالعمل نرم‌افزار پردازش غذا^۱ کدگذاری شده و به لحاظ میزان انرژی، آنالیز شد. نتایج تحلیل مواد غذایی نشان داد در هیچ کدام از درشت‌مغذی‌ها، مواد معدنی و ویتامین‌های مصرفی آزمودنی‌های هر یک از گروه‌ها مطابق با جدول ۲، اختلاف معناداری وجود ندارد ($P > 0.05$).

جدول ۲. مقایسه میانگین \pm انحراف استاندارد میزان دریافت مواد غذایی و انرژی مصرفی بین گروه‌ها

P value	گروه کنترل	گروه پیش‌سرمایی	گروه مکمل + پیش‌سرمایی	گروه مکمل	گروه‌ها مواد غذایی
۰/۷۵	۴۲۸/۰۰ \pm ۷/۵۶	۴۳۷/۴۰ \pm ۲۲/۵۱	۴۳۵/۵۰ \pm ۲۱/۲۰	۴۳۶/۸۰ \pm ۸/۹۵	کربوهیدرات (g/d)
۰/۵۶	۹۱/۳۳ \pm ۴/۳۲	۹۳/۶۰ \pm ۲/۰۷	۹۳/۰۰ \pm ۱/۲۶	۹۲/۲۰ \pm ۲/۱۶	پروتئین (g/d)
۰/۶۲	۸۳/۱۶ \pm ۲/۴۸	۸۲/۰۰ \pm ۲/۱۲	۸۳/۸۳ \pm ۳/۳۷	۸۲/۴۰ \pm ۱/۱۴	چربی (g/d)
۰/۱۸	۳۶/۸۳ \pm ۳/۱۲	۳۴/۴۰ \pm ۲/۹۶	۳۷/۶۶ \pm ۳/۳۲	۳۴/۲۰ \pm ۲/۵۸	فیبر (g/d)
۰/۲۸	۱۷۶/۸۳ \pm ۶/۵۵	۱۷۰/۰۰ \pm ۴/۲۴	۱۷۶/۰۰ \pm ۵/۸۶	۱۷۳/۶۰ \pm ۷/۰۲	کلسترول (mg/d)
۰/۶۱	۱۰۳۶/۶۶ \pm ۱۶/۶۳	۱۰۲۵/۰۰ \pm ۲۴/۴۹	۱۰۴۶/۶۶ \pm ۵۸/۴۳	۱۰۱۸/۴۰ \pm ۳۲/۷۹	کلسیم (mg/d)
۰/۴۳	۱۰۶/۶۶ \pm ۳/۷۷	۱۰۴/۸۰ \pm ۱/۴۸	۱۰۵/۵۰ \pm ۲/۲۵	۱۰۴/۰۰ \pm ۲/۵۴	ویتامین C (mg/d)
۰/۴۷	۱۵/۱۶ \pm ۲/۳۱	۱۶/۰۰ \pm ۱/۰۰	۱۶/۸۳ \pm ۱/۹۴	۱۵/۴۰ \pm ۲/۰۷	ویتامین E (mg/d)
۰/۱۴	۲/۸۳ \pm ۱/۱۶	۲/۲۰ \pm ۰/۸۳	۳/۵۰ \pm ۰/۵۴	۲/۴۰ \pm ۱/۱۴	ویتامین B ₆ (mg/d)
۰/۷۲	۳/۸۳ \pm ۱/۱۶	۳/۴۰ \pm ۰/۵۴	۳/۸۳ \pm ۰/۷۵	۳/۴۰ \pm ۰/۸۹	ویتامین B ₁₂ (μ g/d)
۰/۳۱	۷۴/۵۰ \pm ۱/۵۱	۷۳/۴۰ \pm ۱/۵۱	۷۴/۱۶ \pm ۲/۱۳	۷۲/۶۰ \pm ۱/۶۷	سلنیم (μ g/d)
۰/۵۵	۱۲/۳۳ \pm ۰/۸۱	۱۳/۰۰ \pm ۱/۰۰	۱۲/۵۰ \pm ۱/۰۴	۱۲/۲۰ \pm ۰/۸۳	زینک (mg/d)
۰/۲۵	۱۲/۳۳ \pm ۱/۷۵	۱۰/۶۰ \pm ۰/۸۹	۱۱/۸۳ \pm ۱/۴۷	۱۱/۲۰ \pm ۱/۴۸	آهن (mg/d)
۰/۷۰	۲۸۲۵/۸۳ \pm ۴۲/۴۸	۲۸۶۲/۰۰ \pm ۸۳/۱۱	۲۸۶۸/۵۰ \pm ۸۷/۰۹	۲۸۵۷/۶۰ \pm ۴۲/۷۴	انرژی دریافتی (Kcal/d)
۰/۴۵	۳۰۶۴/۵۰ \pm ۴۰/۵۷	۳۱۰۵/۶۰ \pm ۸۶/۳۱	۳۰۴۸/۳۳ \pm ۶۵/۹۰	۳۰۸۶/۲۰ \pm ۴۳/۱۵	انرژی مصرفی (Kcal/d)

نحوه اعمال پیش‌سرمايي

به‌منظور اعمال پیش‌سرمايي، مطابق با مطالعات انجام‌گرفته برای رشته دو و میدانی و دوچرخه-سواری و مشابه تحقیق آرن‌گرمسون^۱ و همکاران (۲۰۰۴)، شناگران در هر جلسه تمرین پیش از شروع تمرین اصلی و رکوردگیری بین گرم کردن خارج و داخل آب تحت پیش‌سرمايي قرار گرفتند (۲۴، ۱). به‌منظور احتیاط از شوک سرمايي^۲، آزمودنی‌ها پس از دوش گرفتن (کاهش تدریجی دمای آب) (۳)، داخل حوضچه آب سرد با دمای $18 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ از اندام تحتانی تا کمر بند شانه‌ای به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند (۱). همچنین شناگران برای مبارزه با آب‌زدایی^۳ و حفظ دمای بدن در حد مطلوب و بهبود خون‌رسانی به عضلات فعال از نوشیدنی ورزشی پاوریت^۴ با کربوهیدرات ۶ تا ۸ درصد به مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر و آب معدنی ۱ لیتری با دمای $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ هر ۱۰ دقیقه ۱۰۰ میلی‌لیتر مصرف کردند (۲۴).

پروتکل تمرین و رکوردگیری

به‌منظور انجام پروتکل تمرین و رکوردگیری، یک قرارداد تمرینی دوهفته‌ای (هر هفته ۹ جلسه) از تمرینات زمان‌بندی و طراحی‌شده توسط محقق و مربی برای مرحله رقابت (از مراحل چهارگانه تمرینات شنا) در گرم‌ترین ماه سال (مرداد) استفاده شد (۲۲). متغیرهای تمرین (حجم، شدت و تواتر) در هر هفته ثابت نگه داشته شد و مسافت تمرین برای هر جلسه ۵ کیلومتر در نظر گرفته شد (۱۵). عملکرد شناگران با رکوردگیری شنای کراال سینه^۵ به‌ترتیب در مسافت‌های ۸۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ متر با توان بیشینه و با کنترل ضربان قلب همانند مطالعه لی‌لارن‌گرایوب^۶ و مشابه مسابقات و با استراحت فعال ۱۰ تا ۱۵ دقیقه‌ای بین تست‌ها در نظر گرفته شد (۱۵). جلسات تمرین در دو نوبت صبح و عصر و نیز بدون کار با وزنه انجام گرفت. استخر سرپوشیده در ابعاد 50×25 متر و با عمق ۴ متر و دمای آب $27 \pm 1^{\circ}\text{C}$ و $(80 \pm 2^{\circ}\text{F})$ ، مطابق با قوانین فدراسیون جهانی شنا^۷ تنظیم شده بود. دمای محیط استخر $32 \pm 1^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد بود. سرعت شنا با شمارش تواتر استروک^۸ (SR) و مسافت استروک^۹ (SD) و با زمان‌سنج دیجیتالی و ساعت پولار کنترل شد. گرم کردن خارج آب (عمومی و پویا) و گرم

1. Arngrimsson
2. Cold Shock
3. Dehydration
4. Powerade
5. Freestyle
6. Leelarungrayub
7. FINA
8. Stroke Rate(SR)
9. Stroke Distance(SD)

کردن و سرد کردن داخل آب هر کدام در مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه انجام گرفت. شدت تمرینات نسبت به ضربان قلب هدف^۱ (THR) تنظیم شد. همچنین تمرین اصلی به مدت ۲ ساعت با استفاده از دریل‌های مختلف چهار شنا در ست‌های اینتروال، تکراری و با تمرکز بر شناهای سرعت (Sp) و استقامت (En) مطابق با فرمول‌های زیر انجام گرفت (۲۲):

Sp^۳ (۱۰۰٪ THR, ۱۲/۵ - ۵۰ m), Sp^۲ (۹۰-۱۰۰٪ THR, ۵۰- ۱۰۰ m), Sp^۱ (۸۰-۹۰٪ THR, ۱۰۰- ۲۰۰ m)
 En^۳ (۷۰-۸۰٪ THR, ۲۰۰- ۴۰۰ m), En^۲ (۶۰-۷۰٪ THR, ۴۰۰- ۸۰۰ m), En^۱ (۵۰- ۶۰٪ THR, ۸۰۰ - ۱۵۰۰ m)

تواتر استروک × مسافت استروک = سرعت شنا

سن - ۲۲۰ = ضربان قلب بیشینه

ضربان قلب استراحت + (ضربان قلب استراحت - ضربان قلب بیشینه) × درصد شدت تمرین = ضربان قلب هدف

روش تهیه نمونه‌های خونی

خون‌گیری ۲۴ ساعت پیش و پس از مکمل‌دهی طی سه مرحله انجام گرفت. در هر بار ۵ میلی‌لیتر خون از ورید پیش‌آرنجی^۲ بازوی راست آزمودنی‌ها در وضعیت نشسته و در زمان مشخص گرفته شد. ۲ میلی‌لیتر آن به‌منظور شمارش سلول‌های خون در لوله‌های آزمایش با ماده‌های ضدانعقاد (K₂EDTA)^۳ ریخته شده و به‌طور کامل مخلوط شد. بلافاصله سه میلی‌لیتر از خون باقی‌مانده بدون افزودن ماده ضدانعقاد برای تهیه سرم در داخل لوله‌های ژل‌دار مخصوص سرم انتقال یافت و متعاقب لخته شدن توسط دستگاه سانتریفیوژ در دمای ۴ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه و ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس سرم جداشده از لخته به‌طور فریزشده به یخچال مجهز به آزمایشگاه انتقال داده شد. آزمودنی‌ها ۲۴ ساعت پیش از خون‌گیری و رکوردگیری، از انجام هر گونه فعالیت بدنی اجتناب کردند. نتایج اولیه حاصل از آزمایش CBC و آزمایش کامل ادرار (UA)، سطح نرمال را نشان داد.

- 1 . Target Heart Rate (THR)
- 2 . Antecubital Ven
- 3 . K₂Ethylenediaminetetraacetic Acid (K₂EDTA)

روش اندازه‌گیری شاخص‌های خونی

آنزیم‌های سرمی CK براساس دستورالعمل کیت بیوشیمیایی شرکت بایورکس انگلستان (Biorex, co. UK) با حساسیت ۵ IU/L و AST با حساسیت ۱/۷۹ U/L اندازه‌گیری شدند. مقادیر لاکتات پلاسما با خون‌گیری از انگشت وسط با دستگاه لاکتومتر^۱ (شرکت h/p/cosmos-آلمان) با دقت اندازه‌گیری ۰/۵ تا ۲۵ میلی‌مول بر لیتر بلافاصله پس از رکوردگیری ثبت شد. شمارش سلول‌های خونی^۲ با استفاده از دستگاه سل‌کانتر آمریکایی میندرای (BC-3000 plus) صورت گرفت.

روش آماری

در بخش آمار استنباطی، برای ارزیابی نرمال بودن داده‌های هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه در هر گروه از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۳ (K-S) استفاده شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، از آزمون پارامتریک به‌منظور تجزیه و تحلیل میانگین داده‌ها استفاده شد. به همین منظور از آزمون آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری (Repeated measurement) برای مقایسه درون گروهی و آزمون آنکووا (ANCOVA) در مدل خطی عمودی (GLM) برای مقایسه برون گروهی شاخص‌های مورد مطالعه استفاده شد. همچنین برای یافتن تعاملات معناداری و اثر اصلی، مکرر^۴ (ANOVA) و در صورت معناداری از آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معناداری $\alpha = 0/05$ توسط نرم افزارهای SPSS نسخه ۲۲ و Excel نسخه ۲۰۱۳ مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و یافته‌های تحقیق

مطابق با یافته‌های تحقیق حاضر، تفاوت آماری معناداری برای شاخص‌های سرمی CK، AST و LAC پلاسما در مرحله اول خون‌گیری (پیش از مکمل‌دهی)، به ترتیب با ارزش‌های عددی $P=0/36$ و $P=0/24$ مشاهده نشد. اما در مراحل دوم و سوم خون‌گیری (پس از مکمل‌دهی)، تفاوت آماری معناداری برای هر سه شاخص با ارزش عددی $P=0/01$ مشاهده شد. میانگین \pm انحراف معیار ویژگی‌های ترکیب بدنی و جسمانی شناگران در جدول ۳ ارائه شده است که با مقایسه بین گروهی متغیرها، تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد ($P>0/05$). جزئیات نتایج آزمون فرضیه‌ها، حاصل از

1. Lactometer
2. Complete Blood Count(CBC)
3. Kolmogorov-Smirnov(K-S) Test
4. Repeated measurement

آزمون بونفرونی برای مقایسه بین گروهی و درون‌گروهی به‌ترتیب با حروف لاتین کوچک و بزرگ در جدول ۴ و نیز نمودارهای ۱ تا ۳ ارائه شده است.

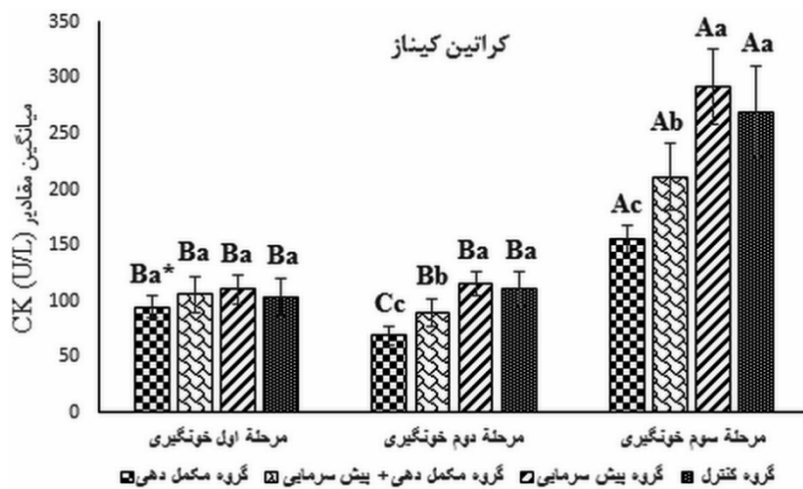
جدول ۳. میانگین \pm انحراف معیار ویژگی‌های ترکیب بدنی و جسمانی شناگران (هر گروه ۸ نفر)

متغیرها گروه‌ها	سن (سال)	قد (cm)	وزن (kg)	درصد چربی بدن (%)	شاخص توده بدن (kg/m ²)	توان هوازی ml.kg ⁻¹ بیشینه (W)	توان بی- هوازی
مکمل- دهی	17/60 ± 1/14	177/20 ± 1/92	71/20 ± 2/16	14/75 ± 1/39	22/67 ± 0/66	54/12 ± 3/23	442/1 ± 18/3
مکمل- دهی + پیش- سرمایی	17/40 ± 1/14	173/20 ± 4/65	67/60 ± 9/01	14/31 ± 2/42	22/45 ± 2/01	52/78 ± 2/46	450/2 ± 12/7
پیش- سرمایی	17/20 ± 1/30	179/20 ± 5/89	69/80 ± 8/61	14/51 ± 2/10	21/66 ± 1/45	53/44 ± 2/16	456/2 ± 28/0
کنترل	17/71 ± 1/11	175/28 ± 3/19	68/00 ± 6/02	14/60 ± 1/57	22/11 ± 1/65	53/96 ± 2/46	463/1 ± 27/9
P value	0/88	0/15	0/81	0/98	0/74	0/83	0/48

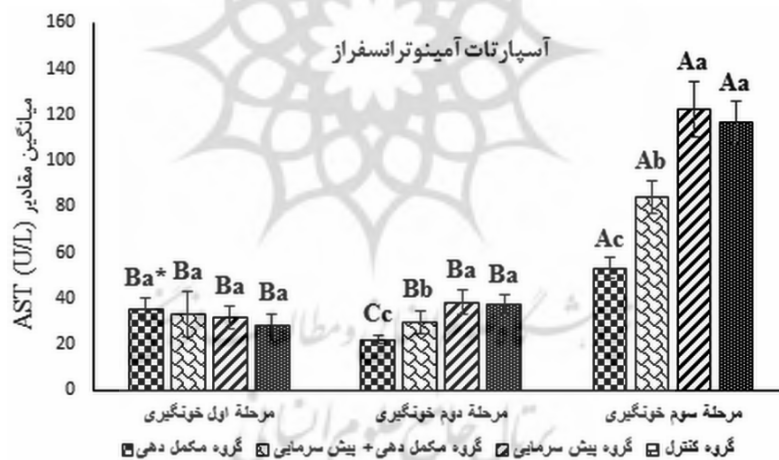
جدول ۴. تغییرات میانگین \pm انحراف استاندارد کراتین کیناز، آسپارات آمینوترانسفراز و لاکتات (هر گروه ۸ نفر)

گروه‌ها شاخص‌ها	مکمل‌دهی (n=8)	مکمل‌دهی + پیش‌سرمایی (n=8)	پیش‌سرمایی (n=8)	کنترل (n=8)	P value
CK (U/L)	مرحله ۱	94/32 ± 9/98 ^{Ba*}	106/02 ± 16/56 ^{Ba}	110/44 ± 12/50 ^{Ba}	103/56 ± 17/18 ^{Ba}
	مرحله ۲	69/05 ± 8/89 ^{Cc}	90/22 ± 12/32 ^{Bb}	115/36 ± 10/50 ^{Ba}	111/10 ± 15/22 ^{Ba}
	مرحله ۳	155/06 ± 12/43 ^{Ac}	211/11 ± 29/83 ^{Ab}	292/32 ± 33/36 ^{Aa}	269/68 ± 40/78 ^{Aa}
AST (U/L)	مرحله ۱	35/24 ± 4/92 ^{Ba}	33/32 ± 10/01 ^{Ba}	31/50 ± 4/87 ^{Ba}	28/07 ± 5/36 ^{Ba}
	مرحله ۲	22/14 ± 2/05 ^{Cc}	29/89 ± 4/99 ^{Bb}	38/40 ± 5/32 ^{Ba}	37/64 ± 4/22 ^{Ba}
	مرحله ۳	53/12 ± 4/70 ^{Ac}	84/10 ± 7/00 ^{Ab}	122/46 ± 11/86 ^{Aa}	116/43 ± 9/06 ^{Aa}
LAC (mm ol/L)	مرحله ۱	1/76 ± 0/12 ^{Ba}	1/72 ± 0/12 ^{Ba}	1/62 ± 0/13 ^{Ca}	1/62 ± 0/12 ^{Ba}
	مرحله ۲	1/30 ± 0/12 ^{Cc}	1/52 ± 0/11 ^{Bb}	1/85 ± 0/10 ^{Ba}	1/73 ± 0/10 ^{Ba}
	مرحله ۳	3/75 ± 0/16 ^{Ad}	4/32 ± 0/50 ^{Ac}	5/34 ± 0/07 ^{Aa}	4/82 ± 0/19 ^{Ab}

*حروف‌های لاتین بزرگ غیرمشابه در یک ستون (درون‌گروهی) و حروف‌های لاتین کوچک غیرمشابه در یک ردیف (بین‌گروهی) اختلاف معناداری ($P < 0/05$) را نشان می‌دهند.

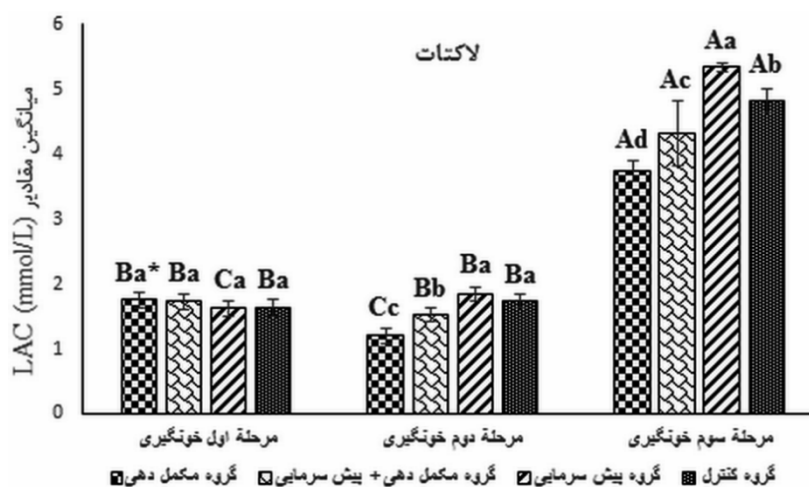


نمودار ۱. تغییرات میانگین کراتین کیناز سرمی شناگران طی سه مرحله خونگیری (هر گروه ۸ نفر)
*حروفهای لاتین بزرگ غیرمشابه برای درون گروهی و حروفهای لاتین کوچک غیرمشابه برای بین گروهی،
اختلاف معناداری ($P < 0.05$) را نشان می‌دهند.



نمودار ۲. تغییرات میانگین آسپاراتات آمینوترانسفراز سرمی شناگران طی سه مرحله خونگیری (هر گروه ۸ نفر)

*حروفهای لاتین بزرگ غیرمشابه برای درون گروهی و حروفهای لاتین کوچک غیرمشابه برای بین گروهی،
اختلاف معناداری ($P < 0.05$) را نشان می‌دهند.



نمودار ۳. تغییرات میانگین لاکتات پلاسمای شناگران طی سه مرحله خون‌گیری (هر گروه ۸ نفر) حروف‌های لاتین بزرگ غیرمشابه برای درون‌گروهی و حروف‌های لاتین کوچک غیرمشابه برای بین‌گروهی، اختلاف معناداری ($P < 0.05$) را نشان می‌دهند.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر مکمل‌دهی کوتاه‌مدت CoQ10 و استراتژی پیش‌سرمایی بر شاخص‌های آسیب و خستگی عضلانی شناگران نخبهٔ پسر نوجوان در پی تمرینات منظم، سنگین و رکوردگیری شنا در محیط گرم و مرطوب بود. مطابق با نتایج، در مراحل دوم و سوم خون‌گیری برخلاف مرحلهٔ اول با مقایسهٔ بین‌گروهی برای شاخص‌های CK، AST و LAC تفاوت آماری معناداری مشاهده شد ($P < 0.05$)، به طوری که سطح CK، AST و LAC در گروه‌های مکمل‌دهی و مکمل‌دهی + پیش‌سرمایی نسبت به گروه‌های پیش‌سرمایی و کنترل کاهش معناداری یافتند. به علاوه، مقایسهٔ درون‌گروهی CK، AST و LAC در مرحلهٔ سوم خون‌گیری نسبت به مراحل دوم و اول افزایش معناداری را نشان داد ($P < 0.05$). مطابق با نتایج مطالعات، استرس اکسایشی ناشی از تمرینات سنگین و محیط فعالیت گرم شرایطی را ایجاد می‌کنند که طی آن توازن میان مواد پراکسیدانی-آنتی‌اکسیدانی مختل می‌شود (۱۰). افزایش دمای بدن به کمبود اکسیژن^۱، فعال شدن مسیر گلیکولیز بی‌هوازی، رهایش کاتکولامین‌ها و استرس‌های متابولیکی در کبد و روده منجر می‌شود (۱۰). متعاقب آن فعل و انفعالات بیوشیمیایی

ثانویه مانند افزایش یون کلسیم (Ca^{2+}) سیتوزولی و اختلال در هموستاز بدن به افزایش تولید ROS میتوکندری و محرک اکسیداسیون سلولی و بروز آسیب، تجمع اسید لاکتیک ($C_3H_6O_3$) و بروز خستگی منجر می‌شود که در نهایت با فعال شدن آنزیم کاسپاز ۳، به آپتوز^۱ سلولی می‌انجامد (۱۰).

کلارکسون^۲ و همکاران (۲۰۰۶)، افزایش معنی‌دار مقادیر سرمی CK (آنزیم کلیدی برای تولید ATP از کراتین فسفات در سیستم فسفاژن)، AST (آنزیم مؤثر بر تولید کوآنزیم NADH و عملکرد بهینه چرخه ملات در میتوکندری) و LDH (آنزیم کاتالیزکننده تبدیل پیرووات به لاکتات و برعکس به ترتیب در عضله و کبد با تعامل همزمان NADH و NAD^+) را پس از تمرین و رقابت‌های ورزشی گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارند (۵، ۶). شایان ذکر است شاخص‌های مورد مطالعه برای گروه مکمل‌دهی در مرحله دوم خون‌گیری نسبت به مرحله اول کاهش معناداری یافتند. اگرچه ماتسوس^۳ و همکاران (۲۰۰۶)، تغییر معناداری بین این آنزیم‌ها پس از یک جلسه فعالیت ترکیبی اندام فوقانی را تأیید نکردند (۱۷). احتمالاً علت تضاد این است که برخی مطالعات افزایش غلظت آنزیم‌های آسیب عضلانی را با متغیرهای تمرین (شدت، حجم و تواتر) مرتبط دانسته‌اند (۶).

مطابق با مطالعات، کوآنزیم Q₁₀ به‌عنوان یک پرواکسیداز هنگام بالا رفتن $O_2^{\bullet-}$ در تغییر موقعیت آن به H_2O_2 در حضور آنزیم سوپراکسید دیس‌موتاز (SOD) در کمپلکس ۱ و ۳ زنجیره انتقال الکترون نقش مهمی دارد (۴). در واقع اکسید شدن یکی از سه ساختار مولکولی CoQ₁₀: یوبی‌کینون^۴ (CoQ)، رادیکال سمی کینون^۵ (CoQH•) و یوبی‌کینول^۶ (CoQH₂)، به نام یوبی‌کینول در عملکرد آنتی-اکسیدانی سلول با تولید پروتون (H^+) و ترکیب آن با $O_2^{\bullet-}$ در جهت تولید H_2O_2 مؤثر است (۴). همچنین در کمپلکس ۱ و ۲، CoQ با دریافت الکترون از کوآنزیم‌های NADH و $FADH_2$ به CoQH₂ تبدیل می‌شود و سپس با انتقال الکترون به کمپلکس ۳، نقش مهمی در فسفوریلاسیون اکسیداتیو ایفا می‌کند (۴). نتایج مطالعات آنور^۷ و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد، فعالیت شاخص کبدی گاماگلوتامیل ترانس‌فراز سرمی (GGT) افراد سالم با مصرف روزانه ۱۵۰ میلی‌گرم CoQ₁₀ به مدت چهارده روز کاهش

- 1 . Apoptosis
2. Clarkson
3. Matsuse
- 4 . Ubiquinone(CoQ)
- 5 . Semiquinone Radical(CoQH•)
- 6 . Ubiquinol(CoQH₂)
- 7 . Onur

می‌یابد و ارتباط اختصاصی بین CoQ₁₀ و GGT یافتند. آنها تأثیر معناداری را بین CoQ₁₀ و AST مشاهده نکردند (۲۰). مغایر با نتایج آنها، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مصرف ۱۴ روزه CoQ₁₀ به-تنهایی و ترکیب‌شده با پیش‌سرمایی به کاهش معنادار سطح سرمی CK، AST و LAC پلاسما منجر می‌شود. دلیل احتمالی این تناقض‌ها، مصرف مقادیر پایین، تأثیر سن بر نتایج و نوع قرارداد ورزشی است. به‌علاوه می‌زونی^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، مکمل‌دهی CoQ₁₀ را بی‌تأثیر بر شاخص‌های آسیب عضلانی در سطح معناداری $\alpha=0/01$ گزارش کردند (۱۹). احتمالاً دلیل تضاد با نتایج حاضر، غیرورزشی بودن آزمودنی‌ها، مقادیر و مدت مصرف مکمل باشد.

نتایج مطالعه دمیرسی^۲ و همکاران (۲۰۱۴)، در زمینه عملکرد ورزشی اسکی‌بازان با نتایج تحقیق حاضر همسوست، زیرا به گزارش آنها، مکمل‌دهی CoQ₁₀ به‌عنوان یک مکمل ضداکسایده و ضدخستگی می‌تواند از تغییرات نامطلوب شاخص‌های آسیب عضلانی و کبد (CK، AST، LDH، GGT، ALT و ALP) و افزایش سطح شاخص‌های اکسایشی تام پس از فعالیت ورزشی نسبتاً سنگین جلوگیری کند (۷). این نتایج احتمالاً مؤید مطالعات گروه تایوانی (۲۰۱۱) باشد مبنی بر اینکه CoQ₁₀ را به‌عنوان واسط ضدالتهابی در فعال شدن پروتئین کیناز C(PKC)، NADPH اکسیداز و oxLDL مطرح می‌کنند که آن هم به عملکرد مهاری و مؤثر AMPK (AMP-activated protein kinase) وابسته است، زیرا فعال شدن عملکرد AMPK با فعال کردن مسیر سیگنالینگ Akt/eNOS/NO و تثبیت انرژی، سلول را در برابر آسیب اکسایشی محافظت می‌کند تا عملکرد اندوتلیال در شرایط اکسیداتیو حفظ شود. اگرچه هیچ مطالعه‌ای وجود ندارد که ارتباط بین CoQ₁₀ و AMPK را تفسیر کند، آنها ارتباط متقابلی را بین CoQ₁₀ و AMPK پیشنهاد کرده‌اند (۳۰). سایر دلایل احتمالی ناهمسو بودن برخی مطالعات با نتایج حاضر این است که CoQ₁₀ از اسید آمینه تیروزین^۳ طی فرایند هفده‌مرحله‌ای و در حضور حداقل هشت ویتامین و چندین عنصر تأثیرگذار به‌صورت درون‌زا ساخته می‌شود. به‌دلیل این پیچیدگی ساخت و نقص در برخی آنزیم‌ها و پروتئین‌های تنظیمی ممکن است در دوران نوجوانی و جوانی با کمبود مواجه شود و پس از بیست‌سالگی توانایی سنتز آن از مواد غذایی کاهش یابد (۴). بنابراین، مصرف CoQ₁₀ به‌خصوص برای ورزشکاران مهم است.

-
1. Mizuno
 2. Demirci
 3. Tyrosine Amino Acid

علاقه‌مندی به شیوه‌های سرمایشی بیش از سه دهه است که بین ورزشکاران فزونی یافته و از شیوه‌های مختلفی از جمله در معرض هوای سرد قرار گرفتن، استفاده از جلیقه‌های خنک‌ساز، غوطه‌وری در آب سرد و یخ یا استفاده از نوشیدنی‌های خنک در ابتدا یا حین فعالیت بهره می‌گیرند (۲۴). به گزارش سیگل^۱ و همکاران (۲۰۱۲)، پیش‌سرمایی و حین‌سرمایی با افزایش تحمل بدن در برابر گرما، عواقب استرس گرمایی را کاهش می‌دهند (۲۸). اما در تحقیق حاضر برخلاف نتایج آنها، RPE گروه پیش‌سرمایی نسبت به سایر گروه‌ها در سطح بالایی قرار گرفت. همچنین سطح شاخص‌های CK و AST در گروه پیش‌سرمایی همانند گروه کنترل افزایش معناداری داشتند، اما LAC به‌طور معناداری در سطح بالاتری قرار گرفت. احتمالاً قرار گرفتن در معرض سرما سبب ایجاد انقباضات لرزشی، افزایش مصرف گلیکوژن عضلانی و تجمع لاکتات شده است (۸).

RPE پس از رکوردگیری دوم در گروه‌های مکمل‌دهی در سطح پایین‌تری قرار داشت. همچنین مطابق با نتایج حاصل، لاکتات پلاسمای گروه مکمل‌دهی به‌طور معناداری در سطح پایین‌تری قرار گرفت. به‌عبارتی می‌توان گفت احتمالاً افزایش سطح CoQ₁₀ پلاسمایی به افزایش فسفوریلاسیون اکسیداتیو^۲، تسریع انتقال الکترون از فلاووپروتئین‌ها^۳ به سیتوکروم‌ها^۴، وابستگی کمتر به مسیر گلیکولیز بی‌هوازی^۵، افزایش سوخت اسیدهای چرب و در نهایت انباشت لاکتات کمتر منجر شود (۱۴)، ۴). شایان ذکر است، pH عضله از میزان استراحتی (۷/۱)، در طول تمرینات با شدت بالا و شناهای سرعتی به‌خصوص ۲۰۰ متر کاهش می‌یابد. در این صورت، عملکرد برخی از آنزیم‌های حساس به pH از جمله فسفوفروکتوکیناز^۶ (PFK) مهار می‌شود و به بروز درد و خستگی عضلانی می‌انجامد (۲۳). نتایج حاضر با یافته‌های مارش^۷ و همکاران (۱۹۹۹) ناهم‌سوست، زیرا به گزارش آنها، پیش‌سرمایی از طریق انقباض عروق پوستی، خون‌رسانی به عضلات فعال را افزایش می‌دهد. در نتیجه افزایش جریان خون عضله می‌تواند متابولیسم هوازی و تولید انرژی عضله را بهبود بخشد و با جابه‌جایی لاکتات برای اکسید شدن از تجمع آن و افت pH ممانعت می‌کند و خستگی به تأخیر می‌افتد (۱۶). احتمالاً این عدم همخوانی را بتوان به ثابت و پایین بودن دمای آب استخر (۲۷±۱°C) در مقایسه با دمای بالای محیط

1. Siegel
2. Oxidative Phosphorylation
3. Flavoproteins
4. Citocromos
5. Anaerobic Glycolysis
6. Phosphofructokinase
7. Marsh

فعالیت آنها نسبت داد یا عواملی مانند نوع، روش و مدت زمان اعمال پیش‌سرمايي منجر به تناقض شده باشد (۳۱).

نتایج تحقیق آکرت^۱ و همکاران (۲۰۰۷)، با یافته‌های مارش در تضاد است، آنها بیان کردند پیش-سرمايي (با جلیقه خنک‌ساز ۵-۰°C) حین دوی استقامت در محیط با دمای ۳۲-۳۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد را بهبود می‌بخشد، اما غلظت لاکتات پلاسماي گروه‌ها تفاوت معناداری ندارد (۳۲). بوت^۲ و همکاران (۲۰۰۱)، پیش‌سرمايي از طریق غوطه‌وری در آب و پوشیدن جلیقه‌های خنک‌ساز را بی‌تأثیر بر لاکتات پلاسما و ATP در طول دوچرخه‌سواری استقامت با ۶۰ درصد اکسیژن مصرفی بیشینه در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد گزارش کردند. در نتیجه متابولیسم عضله از طریق پیش‌سرمايي در طول فعالیت ورزشی فوق‌بیشینه تغییر نمی‌کند. اگر هم بر عملکرد جسمانی مفید باشد، فقط از طریق کاهش دمای بدن و کاهش فشار وارد بر سیستم قلب و عروق ایفای نقش می‌کند (۳). در نتیجه، مصرف کوتاه‌مدت مکمل غذایی CoQ10 توسط شناگران نخبه نوجوان، بروز درد، خستگی و نیز آسیب عضلانی ناشی از تجمع آنزیم‌های کراتین کیناز، آسپارات آمینوترانسفراز و لاکتات پلاسما را کاهش می‌دهد. به‌علاوه، از افزایش استرس اکسایشی ناشی از رادیکال‌های آزاد و نیز افزایش RPE در طول تمرینات سنگین و رکوردگیری شنا در محیط گرم و مرطوب جلوگیری می‌کند. برخلاف آن، استراتژی پیش‌سرمايي به‌تنهایی در جهت حذف یا کاهش سطح شاخص‌های آسیب عضلانی و RPE شناگران مؤثر نیست. احتمالاً پیش‌سرمايي بر کاهش دمای بدن، بهبود زمان شنای رقابتی یا افزایش زمان رسیدن به واماندگی مؤثر است که نیازمند پژوهش‌های بیشتری است.

منابع و مآخذ

1. Arngrimsson SA, Pettitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, Cureton KJ. (2004). "Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat". *J Appl Physiol* (1985), 96(5), pp:1867-74.
2. Bongers CC, Thijssen DH, Veltmeijer MT, Hopman MT, Eijssvogels TM. (2014). "Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review". *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2013-092928.

3. Booth J, Wilshire B, Macdonald A, Zeyl A, McGhee S, Calvert D, et al. (2001). "Whole-body pre-cooling does not alter human muscle metabolism during sub-maximal exercise in the heat". *European Journal of Applied Physiology*, 84(6), pp:587-90.
4. Borekova M, Hojerova J, Koprda V, Bauerova K. (2008). "Nourishing and health benefits of coenzyme Q10-a review". *Czech Journal of Food Sciences*, 26(4), pp:229-41.
5. Botros M, Sikaris KA. (2013). "The de ritis ratio: the test of time". *Clin Biochem Rev*, 34(3), pp:117-30.
6. Clarkson PM, Kearns AK, Rouzier P, Rubin R, Thompson PD. (2006). "Serum creatine kinase levels and renal function measures in exertional muscle damage". *Med Sci Sports Exerc*, 38(4), pp:623-7.
7. Demirci N, Beytut E. (2014). "Effects of oral coenzyme Q10 on preventing the accumulation of lactic acid developing during the exercise performances of endurance skiing athletes". *American Journal of Sports Science*, 2(3), pp:65-70.
8. Doubt TJ. (1991). "Physiology of exercise in the cold". *Sports Medicine (Auckland, NZ)*, 11(6), pp:367-81.
9. Figueiredo P, Zamparo P, Sousa A, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. (2011). "An energy balance of the 200 m front crawl race". *Eur J Appl Physiol*, 111(5), pp:767-77.
10. Hall DM, Buettner GR, Oberley LW, Xu L, Matthes RD, Gisolfi CV. (2001). "Mechanisms of circulatory and intestinal barrier dysfunction during whole body hyperthermia". *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, 280(2), pp:H509-21.
11. Hasegawa H, Takatori T, Komura T, Yamasaki M. (2006). "Combined effects of pre-cooling and water ingestion on thermoregulation and physical capacity during exercise in a hot environment". *J Sports Sci*, 24(1), pp:3-9.
12. Heyward VH, Gibson A. (2014). "Advanced fitness assessment and exercise prescription 7th edition". *Human kinetics*.
13. Jones PR, Barton C, Morrissey D, Maffulli N, Hemmings S. (2012). "Pre-cooling for endurance exercise performance in the heat: a systematic review". *BMC Med*, 10(1), pp:166.
14. Kon M, Tanabe K, Akimoto T, Kimura F, Tanimura Y, Shimizu K, et al. (2008). "Reducing exercise-induced muscular injury in kendo athletes with supplementation of coenzyme Q10". *British Journal of Nutrition*, 100(04), pp:903-9.
15. Leelarungrayub D, Sawattikanon N, Klaphajone J, Pothongsunan P, Bloomer RJ. (2010). "Coenzyme Q10 supplementation decreases oxidative stress and improves physical performance in young swimmers: A pilot study". *The Open Sports Medicine Journal*, 4(1).
16. Marsh D, Sleivert G. (1999). "Effect of precooling on high intensity cycling performance". *Br J Sports Med*, 33(6), pp:393-7.
17. Matsuse H, Shiba N, Umezu Y, Nago T, Maeda T, Tagawa Y, et al. (2006). "Effects of a hybrid exercise on the activities of myogenic enzymes in plasma". *Kurume Med J*, 53(3-4), pp:47-51.

18. Miles MV. (2007). "The uptake and distribution of coenzyme Q(10)". *Mitochondrion*, 7, pp:S72-S7.
19. Mizuno K, Tanaka M, Nozaki S, Mizuma H, Ataka S, Tahara T, et al. (2008). "Antifatigue effects of coenzyme Q10 during physical fatigue". *Nutrition*, 24(4), pp:293-9.
20. Onur S, Niklowitz P, Jacobs G, Nöthlings U, Lieb W, Menke T, et al. (2014). "Ubiquinol reduces gamma glutamyltransferase as a marker of oxidative stress in humans". *BMC Research Notes*, 7(1), pp:1.
21. Rahal A, Kumar A, Singh V, Yadav B, Tiwari R, Chakraborty S, et al. (2014). "Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay". *Biomed Res Int*, 2014, 761264.
22. Riewald S, Rodeo S. (2015). "Science of Swimming Faster". *Human Kinetics*.
23. Rodríguez FA, Mader A. (2011). "Energy systems in swimming". *World Book of Swimming From Science to Performance*, New York: Nova, pp:225-40.
24. Ross M, Abbiss C, Laursen P, Martin D, Burke L. (2013). "Precooling methods and their effects on athletic performance". *Sports Medicine*, 43(3), pp:207-25.
25. Santos-Silva A, Rebelo MI, Castro EM, Belo L, Guerra A, Rego C, et al. (2001). "Leukocyte activation, erythrocyte damage, lipid profile and oxidative stress imposed by high competition physical exercise in adolescents". *Clin Chim Acta*, 306(1-2), pp:119-26.
26. Sawka MN, Leon LR, Montain SJ, Sonna LA. (2011). "Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress". *Compr Physiol*, 1(4), pp:1883-928.
27. Shirvani H. (2016). "Effect of coenzyme Q10 supplementation on lipid peroxidation indexes in soccer player". *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*, 17(4), Pe55-Pe60, En1.
28. Siegel R, Maté J, Watson G, Nosaka K, Laursen PB. (2012). "Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion". *Journal of Sports Sciences*, 30(2), pp:155-65.
29. Tauler P, Ferrer MD, Romaguera D, Sureda A, Aguilo A, Tur J, et al. (2008). "Antioxidant response and oxidative damage induced by a swimming session: influence of gender". *J Sports Sci*, 26(12), pp:1303-11.
30. Tsai KL, Chen LH, Chiou SH, Chiou GY, Chen YC, Chou HY, et al. (2011). "Coenzyme Q10 suppresses oxLDL-induced endothelial oxidative injuries by the modulation of LOX-1-mediated ROS generation via the AMPK/PKC/NADPH oxidase signaling pathway". *Mol Nutr Food Res*, 55 Suppl 2(S2), pp:S227-40.
31. Tyler CJ, Sunderland C, Cheung SS. (2015). "The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: a meta-analysis". *Br J Sports Med*, 49(1), pp:7-13.
32. Uckert S, Joch W. (2007). "Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat". *Br J Sports Med*, 41(6), pp:380-4.