پژوهش‌نامهٔ فیزیولوژی ورزشی کاربردی سال سیزدهم/شمارهٔ بیست وششم/پاییز و زمستان ۱۳۹۶

دریافت:۹۵/۴/۱۴ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۰ ص ص:۱۹۰-۱۷۳

تأثیر یک دورهٔ کوتاه مدت پیش‌سرمایی و مکمل‌یاری کوآنزیم Q_{10} بر شاخص‌های اکسایشی و ضداکسایشی و دمای مرکزی بدن شناگران نخبه

علی امامی[۱]، اصغر توفیقی[۲]، سیامک عصری رضایی[۳]

چکیده

سابقه و هدف: فعالیت ورزشی شدید و طولانی در محیط گرم و شرجی، محرّک عروق احشایی در جهت تولید نامنظم گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود. هدف پژوهش حاضر بررسی پیش‌سرمایی و مکمل‌یاری دو هفته‌ای کوآنزیم Q_{10} (CoQ_{10}) بر مالون‌دی‌آلدئید (MDA)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام (TAC) و دمای مرکزی بدن (Tc) شناگران نوجوان نخبه بود.

مواد و روش‌ها: ۳۲ شناگر پسر نخبه به‌صورت تصادفی در چهار گروه مکمل‌یاری، پیش‌سرمایی، مکمل‌یاری+پیش‌سرمایی و کنترل تقسیم شدند. آزمودنی‌ها طی پروتکل ۱۸ جلسه‌ای صبح و عصر در تمرینات شنای سرعتی و استقامتی، هر جلسه به مسافت ۵ کیلومتر شرکت کردند. آزمون‌های آماری آنکووا، اندازه‌گیری مکرّر و تی وابسته برای تحلیل داده‌ها استفاده شد ($\alpha=0.05$).

یافته‌ها: تفاوت معنادار بین‌گروهی برای شاخص‌های MDA، TAC و Tc در مرحلهٔ اوّل اندازه‌گیری مشاهده نشد ($P>0.05$)؛ امّا در مراحل دوم و سوم تفاوت معناداری مشاهده شد ($P<0.05$). MDA و TAC گروه‌های مکمل‌یاری و پیش‌سرمایی+مکمل‌یاری نسبت به سایر گروه‌ها، به‌ترتیب کاهش و افزایش معنادار نشان دادند. Tc گروه کنترل نسبت به سایر گروه‌ها افزایش معناداری یافت.

نتیجه‌گیری: مکمل‌یاری CoQ_{10}با افزایش سطح TAC از تغییرات نامطلوب MDA سِرمی و Tc شناگران حین تمرینات سنگین و رکورگیری ممانعت به‌عمل می‌آورد. اگرچه، این نتایج برای پیش‌سرمایی حاصل نشد، امّا توانست Tc را کاهش دهد.

واژگان کلیدی: کوآنزیم Q_{10}، پیش‌سرمایی، مالون‌دی‌آلدئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام، دمای مرکزی بدن، تمرینات سنگین

۱. دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران AliEmami2@yahoo.com

۲. دانشیارفیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳. دانشیار کلینیکال پاتولوژی، گروهبیماری‌هایدرونی و کلینیکال پاتولوژی، دانشکدهٔ دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

مقدمه

یک شناگر در عرصهٔ ورزش قهرمانی همواره با خطرات جدی از قبیل آسیب‌های بافتی، بیش‌تمرینی[1] و بیش-گرمایی[2] به علت مداومت بر تمرینات چندین ساله و برخی مواقع تحمیل فشاری فراتر از ظرفیت بدن روبرو می-شود (۱). بالا رفتن دمای بدن می‌تواند عوارض قلبی از جمله گرمازدگی[3] را سبب گردد؛ به‌عبارتی عملکرد ورزشکار طی استرس‌های ناشی از تمرینات سنگین و محیط تمرینی گرم و نامساعد، به‌طور فزاینده‌ای کاهش می‌یابد (۱). در این راستا به حداقل رساندن دمای افزایش یافتهٔ بدن و فشارهای اکسایشی در حین تمرین و مسابقات در محیط‌های گرم (شرجی یا خشک) از جمله مسابقات جام جهانی فوتبال ۲۰۲۲ قطر، توسط مراکز ورزشی مورد توجه قرارگرفته است تا ورزشکاران با مشکل عملکردی مواجه نگردند (۲). سرد کردن بدن در دو حالت پیش‌سرمایی[4] و سرمادهی حین ورزش[5] می‌تواند با ناتوانی و خستگی از طریق پایین آوردن دمای بدن مقابله کند (۲). بیشتر مطالعات از جمله تحقیق باگرد و همکاران[6] (۲۰۱۰)، بر بهبود زمان واماندگی[7] و عملکرد اتفاق نظر دارند (۳)، امّا بین برخی از مطالعات اختلاف نظرهایی هم وجود دارد و آن را یک شیوهٔ غیرکاربردی برای ورزش‌های میدانی و رقابتی می‌دانند (۲). استراتژی پیش‌سرمایی از سال ۲۰۰۰ میلادی تا به حال برای اکثر رشته‌های ورزشی که در محیطی گرم با دمای حداقل $28^{\circ}C$ انجام می‌گیرند، مورد استفاده قرار گرفته است (۴).

در همین راستا، هاسگاوا و همکاران[8] (۲۰۰۶)، استفاده‌ی از پیش‌سرمایی (غوطه‌ور در آب $25^{\circ}C$) و حین‌سرمایی (نوشیدن آب خنک) را برای کاهش فشار وارد بر قلب و عروق از طریق کاهش دمای بدن و کاهش آب‌زدایی حین رکاب‌زدن در محیطی با دمای $32^{\circ}C$ و رطوبت نسبی ۸۰٪ مفید گزارش کردند (۵). مطابق با مطالعات، شرکت در فعالیت‌های ورزشی شدید، طولانی مدت و رقابت در محیط‌هایی با دما و رطوبت نسبی بالا با افزایش نشت الکترون از غشای داخلی میتوکندری به آب میان بافتی و سپس داخل خون و با آزادسازی هورمون‌های استرس‌زا (کاتکولامین‌ها)، تغییر در تعداد ماکروفاژها، نوتروفیل‌ها و لنفوسیت‌ها، کاهش فعالیت ایمنی و در نهایت افزایش خطر ابتلا به عفونت می‌شود (۶). بعلاوه، با ایجاد اختلال در هموستاز بدن، گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن[9] (ROS)، شامل رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\bullet-}$)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، رادیکال هیدروکسیل ($OH^{\bullet}$) و رادیکال پراکسیل ($RO_2^{\bullet}$) تولید می‌شوند (۶). در واقع آن‌ها آغازگر قوی پراکسیداسیون لیپیدها هستند، که نقش مهمی در تثبیت پاتوژن‌ها و طیف وسیعی از بیماری‌ها دارند (۶). بالا رفتن دمای مرکزی بدن، محرّک عروق محیطی بدن در جهت تولید نامنظم ROS و رادیکال نیتریک اکساید ($NO^{\bullet}$) می‌شود (۷).

یکی از شیوه‌های مد نظر محقّقین و مربیان ورزشی مطابق با یافته‌های دِمیرسی و همکاران[10] (۲۰۱۴)، جهت مقابله با اثرات نامطلوب خستگی و فشارهای اکسایشی ناشی از تمرینات سنگین استفاده از مکمل‌دهی کوآنزیم Q_{10} است (۸). کوآنزیم Q_{10} به‌عنوان شبه ویتامین و محلول در چربی که در همهٔ سلول‌های بدن شناخته شده و چندین نقش مهم از جمله: انتقال الکترون‌ها و شرکت در تولید ATP در زنجیرهٔ تنفسی را بر عهده دارد (۹). این

1 Over Training
2 Over Heating
3 Heat Stroke
4 Pre-Cooling
5 Per-Cooling
6 Bogerd et al.
7 Exhaustion Time
8 Hasegawa et al.
9 Reactive Oxygen Species
10 Demirci et al.

ماده برای درمان برخی از بیماری‌ها از جمله میگرن، بیماری عروق کرونری و دیابت مورد استفاده قرار گرفته و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان به‌طور مستقیم بر رادیکال‌های پرواکسیل تأثیر گذاشته و غیرمستقیم از ساخت سایر آنتی-اکسیدان‌ها از جمله ویتامین C و E حمایت می‌کند (۹). در این راستا، نایاناتارا و همکاران[1] (۲۰۰۵)، استرس ناشی از تمرینات اجباری و پشت سر هم شنا در هر روز را عامل فعال‌شدن رادیکال‌های آزاد[2] و به دنبال آن افزایش پراکسیداسیون لیپید در بیشتر بافت‌های بدن و به سبب آن محصولاتی از قبیل مالون‌دی‌آلدئید[3] دانستند (۱۰). در مقابل، لی‌لارن‌گرایوب و همکاران[4] (۲۰۱۰)، مکمل‌دهی کوآنزیم Q_{10} را عاملی برای کاهش عوامل اکسایشی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام شناگران نوجوان گزارش کردند (۱۱). برخلاف آن نتایج سوهال و همکاران[5] (۲۰۰۶)، نشان داد مکمل‌دهی کوآنزیم Q_{10} به مدت ۱۴ ماه بر وضعیت آنتی‌اکسیدانی بافت‌های موش‌ها تأثیری ندارد (۱۲). سایر مطالعات چنین گزارش شده است که در ورزشکاران ردهٔ سنی نونهالان و نوجوانان، طی انجام تمرینات شنا به مدت سه جلسه در هفته، عدم تعادل در وضعیت آنتی‌اکسیدانی بدن به دلیل افزایش استرس اکسایشی ناشی از تمرینات طولانی و شدید، ایجاد می‌گردد (۱۳). همچنین گروه تحقیقاتی سانتوس سیلوا و همکاران[6] (۲۰۰۱)، با بررسی شاخص‌های اکسایشی نوجوانان درگیر تمرینات و رقابت‌های شنای سطح بالا اظهار کردند، شناگران با تخریب پروتئین‌ها[7] و تخریب چربی‌ها[8] همراه هستند (۱۴). در نتیجه محقّق به دلیل نتایج ضد ضد و نقیض و محدود بودن مطالعات در رابطه با اثر فیزیولوژیکی پیش‌سرمایی و مصرف CoQ_{10} بر شاخص‌های MDA، TAC و دمای مرکزی بدن با انجام این پژوهش کاربردی به‌صورت میدانی و آزمایشگاهی در پی پاسخ-گویی به این سؤال است، آیا استفاده از استراتژی پیش‌سرمایی و مکمل‌دهی CoQ_{10} تأثیری بر بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام سِرمی، تغییرات نامطلوب فشار اکسایشی و دمای مرکزی بدن شناگران نوجوان نخبه در طول تمرینات سنگین (مرحلهٔ رقابت[9]) و رکوردگیری شنا در محیط گرم و شرجی دارد یا خیر؟

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی پیش‌آزمون و پس‌آزمون با آزمودنی‌های انسانی و در چهار گروه تجربی: ۱- مکمل‌یاری کوآنزیم Q_{10} (روزانه ۳۰۰ میلی‌گرم)، ۲- مکمل‌یاری + پیش‌سرمایی، ۳- پیش‌سرمایی (غوطه‌ور در آب با دمای ۰/۵±۱۸) و ۴- گروه کنترل با خون‌گیری و رکوردگیری مکرّر مطابق با جدول شمارهٔ ۱ و پس از کسب موافقت از فدراسیون شنا، سرمربی و شناگران انجام شد. جامعهٔ آماری این پژوهش را شناگران پسر نوجوان نخبه و داوطلب در محدودهٔ سنی ۱۶ تا ۱۹ سال و حاضر در اردوی تیم ملی و با سابقهٔ ۱۰ سال شنای حرفه‌ای و کسب عناوین برتر در سطح کشور تشکیل داده‌اند. با توجه به محدود بودن دامنهٔ سنی شناگران نخبه و نیز محدود بودن تعداد جامعهٔ آماری در دسترس، نمونهٔ آماری به شکل تمام شمار و برابر با کل جامعهٔ آماری به تعداد ۳۲ نفر انتخاب شد و به‌طور تصادفی ساده و با کدگذاری در ۴ گروه ۸ نفره قرار گرفتند. افراد بدون عارضهٔ قلبی- تنفسی و تا یک ماه قبل از شروع پژوهش هیچ‌گونه مکمل و مواد انرژی‌زا مصرف ننموده‌اند و در مجموعهٔ ورزشی آزادی

1 Nayanatara et al.
12 Free Radicals (FR)
1 Malondialdehyde
4 Leelarungrayub et al.
5 Sohal et al.
6 Santos-Silva et al.
5 Proteolytic
6 Lipolytic
9 Competition Phase

تهران زیر نظر مربی در شرایط رفاهی و تغذیه‌ای یکسانی تمرین می‌کردند. بعد از تشریح کار، فرم رضایت از شناگران و والدینشان و نیز پرسشنامهٔ سلامت PAR-Q[1] برای اطمینان از عدم بیماری آزمودنی‌ها تکمیل گردید.

جدول شمارهٔ ۱: روش انجام مراحل پژوهش (۱۱)

خون‌گیری مرحلهٔ اوّل	**رکوردگیری اوّل**	خون‌گیری مرحلهٔ دوم	**مکمل‌دهی ۱۴ روزهٔ CoQ_{10} با تمرینات سنگین و منظم شنا و پیش‌سرمایی قبل از تمرین اصلی**	**رکوردگیری دوم**	خون‌گیری مرحلهٔ سوم
بلافاصله قبل از رکوردگیری	شنا در مسافت‌های ۸۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ متر با استراحت ۱۵ دقیقه بین هر تست، ۲۴ ساعت قبل از مکمل‌دهی	بلافاصله قبل از رکوردگیری، سنجش Tc		شنا در مسافت‌های ۸۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ متر با استراحت ۱۵ دقیقه بین هر تست و پیش سرمایی، ۲۴ ساعت بعد از مکمل‌دهی	بلافاصله بعد از رکوردگیری، سنجش Tc

نحوهٔ اندازه‌گیری ویژه‌گی‌های جسمانی شناگران

شاخص‌های ترکیب بدن، الف) درصد چربی بدن[2] با استفاده از ضخامت سنج پوستی کالیپر (ساخت ژاپن) و فرمول فرمول چین‌پوستی سه نقطه‌ای "جکسون و پولاک" مختص مردان (سه‌سر بازویی، شکمی و فوق خاصره‌ای)، اندازه‌گیری گردید (۱۵). ب) شاخص تودهٔ بدن[3] از تقسیم وزن بدن بر مجذور قد (Kg/m^2) مورد محاسبه قرار گرفت. توان هوازی (VO_{2max}) و توان بی‌هوازی شناگران به‌طور غیرمستقیم، به‌ترتیب با استفاده از آزمون وامانده-ساز بروس[4] (دویدن بر روی نوارگردان تکنوجیم[5]، ساخت ایتالیا) و آزمون رَست[6] و نیز فرمول محاسباتی آنها اندازه‌گیری شد (۱۵). سنجش دمای مرکزی بدن[7] با دماسنج دیجیتالی (ساخت ترکیه، Wee Baby) طی دو مرحله، بلافاصله قبل (در وضعیت استراحت) و بعد از رکوردگیری دوم شنا از زیر زبان در موقع قبل از ظهر مورد سنجش قرار گرفت. آزمودنی‌ها ضربان قلب استراحتی خود را به مدت سه روز متوالی پیش از ترک بستر به‌طور دقیق شمارش و ثبت کردند. تعداد نبض از شریان کاروتید در مدت ۳۰ ثانیه و ضرب آن در عدد ۲ شمارش و میانگین آنها یادداشت شد. ضربان قلب جلسهٔ تمرین بلافاصله بعد از رکوردگیری توسط شناگر از شریان کاروتید و ساعت پولار (ساخت آلمان، Beurer PM 90) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری و آگاهی از میزان درک فشار[8] (RPE) ناشی از فعالیت ورزشی، مطابق با نورم استاندارد ۶ تا ۲۰ امتیازی بورگ، به شکل پرسشنامه‌ای توسط شناگران بعد از رکوردگیری‌های اوّل و دوم تکمیل گردید (۱۵).

درصد چربی بدن = (۰/۳۹۲۸۷) × (مجموع سه قسمت) − ۰/۰۰۱۰۵ × (مجموع سه قسمت)[۲] + [۰/۱۵۷۷۲ × (سن)] − ۵/۱۸۸۴۵

8 Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q)
1 Body Fat Percent (BF%)
2 Body Mass Index (BMI)
3 Bruce Test
4 Teknogyme
5 Rast Test
6 Core Temperature (Tc)
7 Rating Perceived Exertion (RPE)

حداکثر اکسیژن مصرفی ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) = [۱۴/۷۶] − [۱/۳۷۹ × (زمان)] + [۰/۴۵۱ × (زمان)^{۲}] − [۰/۰۱۲ × (زمان)^{۳}]

توان بی‌هوازی (w) = وزن × (مسافت)^{۲} / (زمان)^{۳} (۱۵)

دوز مصرفی مکمل کوآنزیم Q_{10} و شبه دارو

میلز[1] (۲۰۰۷)، مکمل‌دهی CoQ_{10} را به دلیل جذب و توزیع در بافت‌هایی چون مغز، قلب، کلیه و سایر ارگان‌ها به حداقل مدت زمان مصرفی دو هفته‌ای نیاز دانست و مناسب‌ترین دوز مصرفی برای نمونه‌های انسانی جهت بالا بردن سطح پایهٔ آن روزانه ۳۰۰ میلی‌گرم به دلیل نیمهٔ عمر ۳۳ ساعته و خاصیت آب گریزی همراه با وزن مولکولی بالا به‌صورت تک وعده‌ای پیشنهاد کرده است (۱۶). مقدار دوز مصرفی CoQ_{10} به شکل کپسول ژله‌ای (ساخت آمریکا و با تأیید وزارت بهداشت جهانی)، مطابق با کار تحقیقی لی‌لارن‌گرایوب و همکاران[2] (۲۰۱۰)، روزانه ۳۰۰ میلی‌گرم در موقع قبل از ظهر به مدت ۱۴ روز مصرف شد (۱۱). گروه کنترل و پیش‌سرمایی در این مدت هر کدام روزانه ۳۰۰ میلی‌گرم کپسول‌های دارونما (دکستروز)، مشابه با CoQ_{10} از نظر طعم، رنگ و اندازه مصرف کردند.

کنترل برنامهٔ غذایی شناگران

جهت کنترل برنامهٔ غذایی، داده‌های لازم در زمینهٔ میانگین دریافت غذا با استفاده از پرسشنامهٔ 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 ۶ نوبت غیرمتوالی در طول ۲ هفته (هفته‌ای سه بار) تکمیل شد. برای مقادیر ذکر شده با استفاده از راهنمای مقیاس‌های خانگی موارد به گرم تبدیل شدند (۱۷). سپس هر غذا طبق دستورالعمل نرم‌افزار پردازش غذا کدگذاری شده و به لحاظ میزان انرژی مورد آنالیز قرار گرفت (۱۸). نتایج تحلیل مواد غذایی نشان داد (مطابق با جدول شمارهٔ ۲) در هیچ کدام از درشت مغذی‌ها، مواد معدنی و ویتامین‌های مصرفی آزمودنی‌های هر گروه اختلاف معناداری وجود ندارد ($P>0.05$).

جدول شمارهٔ ۲: میانگین ± انحراف استاندارد میزان دریافت مواد غذایی و انرژی مصرفی بین گروه‌ها

گروه‌ها مواد غذایی	مکمل‌یاری	مکمل‌یاری+ پیش‌سرمایی	پیش‌سرمایی	کنترل	P value
کربوهیدرات (g/d)	۴۳۶/۸۰±۸/۹۵	۴۳۵/۵۰±۲۱/۲۰	۴۳۷/۴۰±۲۲/۵۱	۴۲۸/۰۰±۷/۵۶	۰/۷۵
پروتئین (g/d)	۹۲/۲۰±۲/۱۶	۹۳/۰۰±۱/۲۶	۹۳/۶۰±۲/۰۷	۹۱/۳۳±۴/۳۲	۰/۵۶
چربی (g/d)	۸۲/۴۰±۱/۱۴	۸۳/۸۳±۳/۳۷	۸۲/۰۰±۲/۱۲	۸۳/۱۶±۲/۴۸	۰/۶۲
فیبر (g/d)	۳۴/۲۰±۲/۵۸	۳۷/۶۶±۳/۳۲	۳۴/۴۰±۲/۹۶	۳۶/۸۳±۳/۱۲	۰/۱۸
کلسترول (mg/d)	۱۷۳/۶۰±۷/۰۲	۱۷۶/۰۰±۵/۸۶	۱۷۰/۰۰±۴/۲۴	۱۷۶/۸۳±۶/۵۵	۰/۲۸
کلسیم	۱۰۱۸/۴۰±۳۲/۷۹	۱۰۴۶/۶۶±۵۸/۴۳	۱۰۲۵/۰۰±۲۴/۴۹	۱۰۳۶/۶۶±۱۶/۶۳	۰/۶۱

1 Miles
2 Leelarungrayub et al.

گروه‌ها مواد غذایی	مکمل‌یاری	مکمل‌یاری+ پیش‌سرمایی	پیش‌سرمایی	کنترل	P value
(mg/d)					
ویتامین C (mg/d)	۱۰۴/۰۰±۲/۵۴	۱۰۵/۵۰±۲/۲۵	۱۰۴/۸۰±۱/۴۸	۱۰۶/۶۶±۳/۷۷	۰/۴۳
ویتامین E (mg/d)	۱۵/۴۰±۲/۰۷	۱۶/۸۳±۱/۹۴	۱۶/۰۰±۱/۰۰	۱۵/۱۶±۲/۳۱	۰/۴۷
ویتامین B_6 (mg/d)	۲/۴۰±۱/۱۴	۳/۵۰±۰/۵۴	۲/۲۰±۰/۸۳	۲/۸۳±۱/۱۶	۰/۱۴
ویتامین B_{12} (µg/d)	۳/۴۰±۰/۸۹	۳/۸۳±۰/۷۵	۳/۴۰±۰/۵۴	۳/۸۳±۱/۱۶	۰/۷۲
سلنیم (µg/d)	۷۲/۶۰±۱/۶۷	۷۴/۱۶±۲/۱۳	۷۳/۴۰±۱/۵۱	۷۴/۵۰±۱/۵۱	۰/۳۱
زینک (mg/d)	۱۲/۲۰±۰/۸۳	۱۲/۵۰±۱/۰۴	۱۳/۰۰±۱/۰۰	۱۲/۳۳±۰/۸۱	۰/۵۵
آهن (mg/d)	۱۱/۲۰±۱/۴۸	۱۱/۸۳±۱/۴۷	۱۰/۶۰±۰/۸۹	۱۲/۳۳±۱/۷۵	۰/۲۵
کربوهیدرات (Kcal/d)	۱۷۴۷/۲۰±۳۵/۸۲	۱۷۴۲/۰۰±۸۴/۸۰	۱۷۴۹/۶۰±۹۰/۰۴	۱۷۱۲/۰۰±۳۰/۲۵	۰/۷۵
پروتئین (Kcal/d)	۳۶۸/۸۰±۸/۶۷	۳۷۲/۰۰±۵/۰۵	۳۷۴/۴۰±۸/۲۹	۳۶۵/۳۳±۱۷/۲۸	۰/۵۶
چربی (Kcal/d)	۷۴۱/۶۰±۱۰/۲۶	۷۵۴/۵۰±۳۰/۳۴	۷۳۸/۰۰±۱۹/۰۹	۷۴۸/۵۰±۲۲/۳۴	۰/۶۲
انرژی دریافتی کل (Kcal/d)	۲۸۵۷/۶۰±۴۲/۷۴	۲۸۶۸/۵۰±۸۷/۰۹	۲۸۶۲/۰۰±۸۳/۱۱	۲۸۲۵/۸۳±۴۲/۴۸	۰/۷۰
انرژی مصرفی کل (Kcal/d)	۳۰۸۶/۲۰±۴۳/۱۵	۳۰۴۸/۳۳±۶۵/۹۰	۳۱۰۵/۶۰±۸۶/۳۱	۳۰۶۴/۵۰±۴۰/۵۷	۰/۴۵

نحوهٔ اعمال پیش‌سرمایی

مطابق با مطالعات انجام گرفته برای رشتهٔ دوومیدانی و دوچرخه‌سواری (۱۹) و مشابه تحقیق آرن‌گریمسون و همکاران[1] (۲۰۰۴)، شناگران در هر جلسه تمرین قبل از شروع تمرین اصلی و رکوردگیری بین گرم‌کردن خارج و داخل آب تحت پیش‌سرمایی قرار گرفتند (۲۰). جهت احتیاط از شوک سرمایی، آزمودنی‌ها بعد از دوش گرفتن (کاهش تدریجی دمای آب)، (۲۱) داخل حوضچهٔ آب سرد با دمای $18\pm0/5^{\circ}C$ از اندام تحتانی تا قسمت کمربند شانه‌ای به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند (۲۰). در ضمن شناگران همهٔ گروه‌ها حین جلسات تمرین جهت مبارزه با آب‌زدایی و استرس متابولیکی و نیز حفظ دمای مرکزی بدن در حد مطلوب و بهبود خون‌رسانی به عضلات فعال

1 Arngrïmsson et al.

از نوشیدنی ورزشی پاووریت با کربوهیدرات ۶ تا ۸ درصد (هیپوتونیک) به مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر و آب معدنی ۱ لیتری با دمای ۵±۱°C هر ۱۰ دقیقه ۱۰۰ میلی‌لیتر مصرف کردند (۲۲).

پروتکل تمرین و رکوردگیری

پروتکل تمرین یک طرح تمرینی ۲ هفته‌ای (هر هفته ۹ جلسه) از تمرینات زمان‌بندی و طراحی شده توسط محقّق و مربی برای مرحلهٔ رقابت (از مراحل ۴ گانهٔ تمرینات شنا) در گرم‌ترین ماه فصل سال (تابستان) در نظر گرفته شد (۲۳). متغیرهای تمرین (حجم، شدت و تواتر) در هر هفته ثابت نگه داشته شده و مسافت تمرین برای هر جلسه ۵ کیلومتر در نظر گرفته شد (۱۱). عملکرد شناگران با رکوردگیری شنای کرال سینه به ترتیب در مسافت‌های ۸۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ متر با توان بیشینه و با کنترل ضربان قلب همانند مطالعهٔ لی‌لارن‌گرایوب و همکاران[1] (۲۰۱۰)، مشابه مسابقات شنا و نیز به دلیل نخبه بودن شناگران با استراحت فعال ۱۵ دقیقه‌ای بین تست‌ها در نظر گرفته شد (۱۳، ۲۳). جلسات تمرین در دو نوبت صبح و عصر و بدون کار با وزنه‌های بدنسازی انجام گرفت. استخر سرپوشیده در ابعاد ۲۵×۵۰ متر و با عمق ۴ متر و دمای آب ۲۷±۱°C (۸۰±۲°F)، مطابق با قوانین فدراسیون جهانی شنا (FINA) تنظیم شده بود. دما محیط استخر ۳۲±۱°C و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد بود. سرعت شنا (V) با شمارش تواتر استروک[2] (SR) و مسافت استروک[3] (SL) و با استفاده از کرنومتر دیجیتالی و ساعت پولار کنترل گردید. شدت تمرینات نسبت به ضربان قلب هدف[4] (فرمول کارونن)، مطابق با فرمول‌های زیر تنظیم شد (۱۷، ۲۳). گرم کردن خارج آب (عمومی و پویا)، گرم‌کردن (۵۰–۴۰%THR) و سرد-کردن (۴۰–۳۰%THR) داخل آب هر کدام در مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه انجام گرفت. گرم‌کردن عمومی، شامل یک فعالیت با شدت متوسط با استفاده از گروه‌های عضلانی بزرگ برای بالا بردن دمای بدن تا مرحلهٔ عرق‌کردن سبک انجام گرفت. تمریناتی از قبیل: نرم‌دویدن، دوچرخه‌سواری ثابت و طناب‌زدن. گرم‌کردن پویا، شامل حرکات کششی با استفاده از نوارهای الاستیکی برای تمرین الگوهای حرکتی شنا که برای بهبود انعطاف‌پذیری پویا و بالا نگه داشتن دمای بدن انجام گرفت. زمان انجام هر حرکت ۲۰ تا ۳۰ ثانیه به طول انجامید. تمرین اصلی به مدت ۲ ساعت با استفاده از دریل‌های مختلف ۴ شنا در ست‌های اینتروال، تکراری و با تمرکز بر شناهای سرعت (Sp) و استقامت (En) مطابق با فرمول‌های زیر انجام گرفت (۲۳). روش محاسبهٔ شدت تمرین و سرعت شنا عبارتند از:

Sp3 (۱۰۰٪ THR, ۱۲/۵– ۵۰ m), Sp2 (۹۰–۱۰۰٪ THR, ۵۰– ۱۰۰ m), Sp1 (۸۰–۹۰٪ THR, – ۲۰۰ ۱۰۰ m)

En3 (۷۰–۸۰٪ THR, ۲۰۰– ۴۰۰ m), En2 (۶۰–۷۰٪ THR, ۴۰۰– ۸۰۰ m), En1 (۵۰– ۶۰٪ THR, ۸۰۰– ۱۵۰۰ m)

$$MHR = ۲۲۰ - \text{سن}$$

$$THR = RHR + \text{شدت تمرین} \times (MHR^{5} - RHR^{6})$$

$$V = SL \times SR$$

1 Leelarungrayub et al.
2 Stroke Rate (SR)
3 Stroke Distance (SL)
4 Target Heart Rate (THR)
5 Maximum Heart Rate (MHR)
6 Rest Heart Rate (RHR)

روش تهیهٔ نمونه‌های خونی

مطابق با مطالعات، خون‌گیری ۲۴ ساعت قبل و بعد از مکمل‌دهی (در بالاترین سطح اثربخشی CoQ_{10} در خون)، طی سه مرحله انجام گرفت (۹، ۱۶). در هر بار ۵ میلی‌لیتر خون از ورید پیش آرنجی بازوی[1] راست آزمودنی‌ها در وضعیت نشسته و در یک زمان مشخص گرفته شد. ۲ میلی‌لیتر آن جهت شمارش سلول‌های خون در لوله‌های آزمایش با ماده‌های ضد انعقاد (K_2EDTA) مخلوط شد. بلافاصله ۳ میلی‌لیتر از خون باقی‌مانده بدون افزودن مادهٔ ضدانعقاد برای تهیهٔ سرم در داخل لوله‌های ژل‌دار مخصوص سرم انتقال یافته و متعاقب لخته‌شدن توسط دستگاه سانتریفوژ در دمای $4^{\circ}C$ به مدت ۱۵ دقیقه و ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. آزمودنی‌ها ۲۴ ساعت قبل از خون‌گیری و رکوردگیری از انجام هر گونه فعالیت بدنی اجتناب کردند. نتایج اوّلیهٔ حاصل از آزمایش CBC و آزمایش کامل ادرار (UA)، سطح نرمال را نشان داد.

روش اندازه‌گیری شاخص‌های خونی

اندازه‌گیری TAC سرمی از کیت بیوشیمیایی شرکت Biorex (Biorex, Co. UK) و آزمون FRAP استفاده شد. در این روش توانایی پلاسما در احیای یون‌های فریک (Fe^{3+}) اندازه‌گیری می‌شود با احیای یون‌های فریک و تبدیل آن به یون‌های فرو (Fe^{2+}) در pH= ۳/۶ (اسیدی) و با حضور معرف‌های اختصاصی از جمله مولکول تری پیریدیل- s تری آدنیل (TPTZ)، کمپلکس آبی رنگ ایجاد می‌شود که در طول موج ۵۹۳ نانومتر و با دستگاه اسپکتروفتومتر[2] (Camsepect, M330 UK) اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری MDA سرمی بر پایه‌ی واکنش با تیوباربیتوریک اسید (TBA)، استخراج با بوتانل نرمال، اندازه‌گیری جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر و مقایسهٔ جذب با منحنی استاندارد می‌باشد. اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید با حل کردن ۵۰۰ میکرولیتر سرم در ۳ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۱ درصد آغاز می‌گردد. پس از ورتکس (ساخت شرکت هیدولف آلمان) کردن به میزان ۱ میلی‌لیتر محلول تیوباربیتوریک اسید ۰/۶۷ درصد به لوله آزمایش اضافه شده و پس از ورتکس کامل به مدت ۴۵ دقیقه در داخل یک بن ماری در حال جوش قرار داده می‌شود. پس از اتمام مدت لازم لوله‌های آزمایش را زیر آب سرد خنک کرده، به میزان ۲ میلی‌لیتر بوتانل نرمال اضافه نموده و به مدت ۱ الی ۲ دقیقه ورتکس نموده و سپس به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ rpm سانتریفوژ نموده و پس از جدا کردن فاز آلی (محلول رویی) اندازه‌گیری جذب نوری در طول موج ۵۳۲ نانومتر، غلظت سرمی مالون‌دی‌آلدئید تعیین می‌گردد. شمارش سلول‌های خونی با استفاده از دستگاه سِل‌کانتر آمریکایی میندرای (BC-3000 plus) صورت گرفت.

روش تجزیه و تحلیل آماری

در بخش آمار استنباطی، برای ارزیابی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف[3] (K-S) در سطح معناداری $P\geq 0.05$، استفاده شد. بعد از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، از آزمون پارامتریک جهت تجزیه و تحلیل میانگین داده‌ها استفاده شد. به همین منظور از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرّر[4] (طرح عاملی ۳×۴) و آنکووا[5] در مدل خطی عمومی (GLM)[6]، به‌ترتیب برای یافتن اختلاف معناداری درون گروهی و بین

7 Antecubital Vien
1 Spectrophotometric
2 Kolmogorov-Smirnov Test
3 Repeated Measurement
4 Analysis of Covariance (ANCOVA)
6 General Linear Model (GLM)

گروه‌هی شاخص‌های MDA و TAC استفاده شد. آزمون تی وابسته[1] و آنکووا، به‌ترتیب برای یافتن اختلاف معناداری درون گروهی و برون گروهی شاخص Tc مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای مقایسهٔ تعاملات معناداری و اثرات اصلی از آزمون تعقیبی بونفرونی[2] استفاده شد. محاسبات آماری از طریق نرم‌افزارهای SPSS نسخهٔ ۲۲ و Excel نسخهٔ ۲۰۱۳ انجام شد. همچنین درصد خطا ۰/۰۵=α، (P<0.05) در نظر گرفته شده است.

یافته‌ها

نتایج حاصل از تحلیل واریانس شاخص‌های MDA، TAC و Tc نشان داد که تفاوت آماری معناداری بین گروه-ها به‌ترتیب با ارزش عددی ۰/۲۵ =P، ۰/۱۸ =P و ۰/۲۲ =P در مرحلهٔ اوّل اندازه‌گیری وجود ندارد. امّا در مراحل دوم و سوم اندازه‌گیری برای MDA و TAC و در مرحلهٔ دوم اندازه‌گیری برای Tc تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده گردید (P<0.05). جزئیات نتایج حاصل از آزمون تعقیبی بونفرونی (مقایسهٔ بین گروهی و درون گروهی) و آزمون T وابسته (مقایسهٔ درون گروهی شاخص Tc) به‌صورت حروف لاتین در جدول شمارهٔ ۴ و نمودار شمارهٔ ۱ ارائه شده است. همچنین اثر گروه، اثر زمان و نیز اثر متقابل بین MDA و TAC شناگران چهار گروه در زمان-های مختلف اندازه‌گیری معنادار مشاهده گردید. میانگین برخی از ویژگی‌های جسمانی شناگران، در جدول شمارهٔ ۳ ارائه شده است که تفاوت معناداری برای هر شاخص بین گروه‌ها مشاهده نشد (P>0.05).

جدول شمارهٔ ۳: میانگین ± انحراف معیار ویژگی‌های ترکیب بدنی و آمادگی جسمانی شناگران (n= ۸)

متغیرها / گروه‌ها	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	درصد چربی بدن (درصد)	شاخص توده‌ی بدن (kg/m^2)	توان هوازی ($ml.kg^{-1}.min^{-}$ ([1]	توان بی‌هوازی بیشینه (وات)
مکمل‌یاری	۱۷/۶۰±۱/۱۴	۱۷۷/۲۰±۱/۹۲	۷۱/۲۰±۲/۱۶	۱۴/۷۵±۱/۳۹	۲۲/۶۷±۰/۶۶	۵۴/۱۲±۳/۲۳	۴۴۲/۱±۱۸/۳
مکمل‌یاری + پیش‌سرمایی	۱۷/۴۰±۱/۱۴	۱۷۳/۲۰±۴/۶۵	۶۷/۶۰±۹/۰۱	۱۴/۳۱±۲/۴۲	۲۲/۴۵±۲/۰۱	۵۲/۷۸±۲/۴۶	۴۵۰/۲±۱۲/۷
پیش‌سرمایی	۱۷/۲۰±۱/۳۰	۱۷۹/۲۰±۵/۸۹	۶۹/۸۰±۸/۶۱	۱۴/۵۱±۲/۱۰	۲۱/۶۶±۱/۴۵	۵۳/۴۴±۲/۱۶	۴۵۶/۲±۲۸/۰
کنترل	۱۷/۷۱±۱/۱۱	۱۷۵/۲۸±۳/۱۹	۶۸/۰۰±۶/۰۲	۱۴/۶۰±۱/۵۷	۲۲/۱۱±۱/۶۵	۵۳/۹۶±۲/۴۶	۴۶۳/۱±۲۷/۹

بحث و نتیجه‌گیری

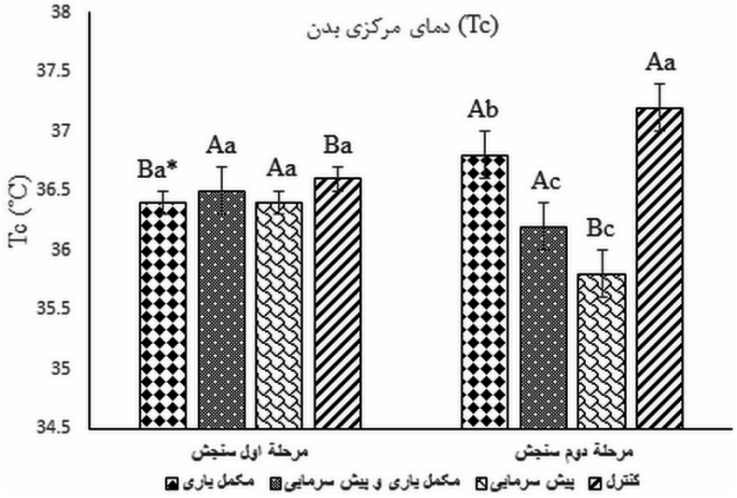
نتایج تحقیق حاضر در راستای بررسی مکمل‌یاری ۱۴ روزهٔ CoQ_{10} و استفاده از پیش‌سرمایی بر مقادیر سرمی مالون‌دی‌آلدئید (شاخص پراکسیداسیون لیپیدها)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام (مجموع عملکرد عوامل آنزیمی، پروتئینی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانتی غیرآنزیمی) و دمای مرکزی بدن (عامل غالب برای محاسبهٔ دمای بدن نسبت به دمای سطح پوست) شناگران در حین تمرینات سنگین و رکوردگیری شنا نشان داد، مکمل‌یاری نسبت به سایر گروه‌ها منجر به کاهش معنادار MDA، Tc و افزایش معنادار TAC می‌شود. در حالی که، پیش‌سرمایی به‌تنهایی تأثیر معناداری بر کاهش MDA و افزایش TAC سرمی ندارد، امّا منجر به کاهش معنادار Tc می‌شود.

6 Paired Sample T-Test
7 Bonferroni's Post-Hoc Test

جدول شمارهٔ ۴: میانگین ± انحراف معیار شاخص‌های مالون‌دی‌آلدئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام سرمی شناگران (n= ۸)

شاخص‌ها / گروه‌ها		مکمل‌یاری	مکمل‌یاری و پیش‌سرمایی	پیش‌سرمایی	کنترل	اثر گروه	اثر زمان	اثر متقابل گروه و زمان
مالون‌دی-آلدئید (MDA) (nmol/dL)	مرحلهٔ ۱	۱/۳۵±۰/۰۷^{Ba*}	۱/۴۳±۰/۰۷^{Ba}	۱/۴۱±۰/۰۶^{Ba}	۱/۳۷±۰/۰۸^{Ba}	p< ۰/۰۱	p< ۰/۰۰۱	۰/۰۰۱ p<
	مرحلهٔ ۲	۰/۸۰±۰/۱۱^{Cc}	۱/۱۵±۰/۱۰^{Cb}	۱/۶۸±۰/۱۳^{Ba}	۱/۵۷±۰/۱۷^{Ba}			
	مرحلهٔ ۳	۱/۶۰±۰/۱۶^{Ac}	۲/۳۸±۰/۴۴^{Ab}	۴/۰۳±۰/۱۷^{Aa}	۳/۸۷±۰/۳۲^{Aa}			
ظرفیت آنتی-اکسیدانی تام (TAC) (nmol/dL)	مرحلهٔ ۱	۹/۵۶±۲/۰۷^{Ba}	۸/۱۲±۰/۷۳^{Ba}	۷/۷۶±۰/۱۲^{Aa}	۸/۶۰±۱/۴۷^{Aa}	۰/۰۰۱ p<	p< ۰/۰۱	۰/۰۰۱ p<
	مرحلهٔ ۲	۱۴/۴۶±۰/۹۶^{Aa}	۱۱/۲۴±۱/۴۰^{Ab}	۵/۱۸±۰/۲۵^{Bc}	۷/۰۱±۱/۳۱^{Ac}			
	مرحلهٔ ۳	۱۲/۴۶±۱/۰۹^{ABa}	۹/۳۶±۰/۵۸^{ABb}	۲/۴۰±۰/۳۳^{Cd}	۴/۳۶±۰/۶۰^{Bc}			

*حروف‌های لاتین بزرگ غیرمشابه در یک ستون و حروف‌های لاتین کوچک غیرمشابه در یک ردیف اختلاف معناداری (P<0.05) را نشان می‌دهند.



نمودار شمارهٔ ۱: میانگین ± انحراف معیار دمای مرکزی بدن شناگران (n= ۸)

*حروف‌های لاتین بزرگ غیرمشابه برای هر گروه در دو مرحله و حروف‌های لاتین کوچک غیرمشابه برای گروه‌ها در هر مرحله اختلاف معناداری (P<0.05) را نشان می‌دهند.

مکمل‌یاری+ پیش‌سرمایی بر کاهش مقادیر MDA و افزایش TAC سِرمی شناگران نسبت به گروه کنترل و پیش‌سرمایی اثر معناداری دارد. همچنین مداخلهٔ دو عامل مکمل‌یاری و پیش‌سرمایی بر تغییرات سطح شاخص-های MDA و TAC سرمی در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری اثر معناداری دارد. مطابق با نتایج درون گروهی، MDA و TAC گروه مکمل‌یاری و مکمل‌یاری + پیش‌سرمایی نسبت به دو گروه دیگر در مرحلهٔ دوم اندازه‌گیری

نسبت به حالت پایه به ترتیب کاهش و افزایش معناداری نشان دادند. بعلاوه، Tc گروه مکمل‌یاری نسبت به سایر گروه‌ها در مرحلهٔ دوم نسبت به حالت پایه تغییر مطلوب‌تری نشان داد.

شناگران با انجام تمرینات زمان‌بندی شده همواره به‌دنبال شنای سریع در هر رقابتی هستند امّا در این میان عواملی از قبیل استرس اکسایشی شرایطی است که طی آن توازن میان مواد پراکسیدانی-آنتی‌اکسیدانی مختل می‌شود و وضعیت ردوکس[1] (اکسیداسیون- احیاء) به‌سمت بر هم خوردن این تعادل سوق می‌یابد (۲۳, ۲۴). بالا رفتن دمای بدن منجر به کمبود اکسیژن و استرس‌های متابولیکی در کبد و روده می‌شود، که متعاقب آن فعل و انفعالات بیوشیمیایی ثانویه از قبیل افزایش کلسیم (Ca^{2+}) سیتوزولی و منجر به افزایش تولید ROS میتوکندری و محرک اکسیداسیون سلولی که از طریق فعال کردن آنزیم کاسپاز ۳، آپوپتوز[2] سلولی را منجر می‌شود (۲۴). همسو با نتایج حاضر روحی و همکاران (۲۰۰۶)، ۳۰ دقیقه دویدن (با ۷۵ درصد VO_{2max}) بر روی نوارگردان را برای افزایش مقادیر مالون‌دی‌آلدئید و کاهش ظرفیت ضداکسایشی تام پلاسمای مردان غیرورزشکار گزارش کردند (۲۵). در این خصوص ساز و کارهای مختلفی از سوی محققین پیشنهاد شده است، به‌طوری که برخی بر این اعتقاد هستند که مکمل‌دهی CoQ_{10} با افزایش توان ضداکسایشی و حذف بنیان‌های آزاد موجبات کاهش پراکسیداسیون لیپید را فراهم می‌نماید (۲۶).

مطابق با مطالعات به عمل آمده، دی‌اکسیژن (O_2) ترجیح می‌دهد در یک زمان یک الکترون بگیرد و سپس آن را به رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\bullet-}$) تبدیل کند. به‌دنبال این فرایند، ۲ تا ۵ درصد اکسیژن مصرفی به $O_2^{\bullet-}$ تبدیل می‌شود (۲۷). در این راستا کوآنزیم Q_{10} به عنوان یک پرواکسیدان موقع بالا رفتن $O_2^{\bullet-}$ و تغییر موقعیت آن به هیدروژن پراکسید (H_2O_2) در حضور آنزیم سوپراکسید دیس‌موتاز (SOD) در داخل کمپلکس ۱ و ۳ زنجیرهٔ تنفسی نقش مهمی ایفا می‌کند (۲۸). در واقع اکسید شدن یکی از سه ساختار مولکولی کوآنزیم Q_{10}: (CoQ[3]، $CoQH^{\bullet}$[4]، $CoQH_2$[5])، به نام یوبی‌کوینول $CoQH_2$ (به‌صورت کاملاً احیا شده از ناقلین الکترون NADH و $FADH_2$ در کمپلکس ۱ و۲)، در عملکرد آنتی‌اکسیدانی سلول با تولید پروتون (H^+) و سپس ترکیب آن با $O_2^{\bullet-}$ در جهت تولید H_2O_2 مؤثر است (۲۹). H_2O_2 در حضور آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با تولید مولکول آب، منجر به تولید ATP می‌شود در غیر این صورت تبدیل به رادیکال هیدرواکسیل[6] ($OH\bullet$) می‌شود (۲۹). قابل ذکر است، کوآنزیم Q_{10} از اسید آمینه‌ی تیروزین طی فرایند ۱۷ مرحله‌ای و در حضور حداقل ۸ ویتامین و چندین عناصر تأثیرگذار به صورت درون‌زاد ساخته می‌شود. به خاطر این پیچیدگی ساخت و نقص در برخی آنزیم‌ها و پروتئین-های تنظیمی ممکن است، در دوران کودکی و جوانی با کمبود مواجه گردد و پس از ۲۰ سالگی توانایی سنتز آن از مواد غذایی کاهش می‌یابد (۹). بنابراین، مصرف مکمل CoQ_{10} مخصوصاً برای ورزشکاران درگیر تمرینات سنگین و طولانی مهم تلقی می‌شود.

همسو با نتایج تحقیق حاضر دیازکاسترو و همکاران[7] (۲۰۱۱)، با بررسی مردان ورزشکار آماتور در فعالیت طاقت‌فرسای ۵۰ کیلومتر دویدن و نیز آرمان‌فر و همکاران (۲۰۱۵)، با مطالعهٔ زنان سالم و دوندگان نیمه‌استقامت

1 Redox
2 Apoptosis
3 Ubiquinone (CoQ)
4 Semiquinone Radical (CoQH•)
5 Ubiquinol (CoQH2)
1 Hydroxyl Radical (OH•)
7 Díaz-Castro et al.

گزارش کردند، CoQ_{10} استرس اکسایشی، عوامل پیش‌التهابی (TNF-α) سیستم ایمنی و آسیب عضلانی (8-OHdG) و سطح ایزوپروستان را کاهش، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام (TAC) و سیتوکین‌های ضدالتهابی (IL-6) را افزایش می‌دهد (۳۰, ۳۱). بعلاوه، کان و همکاران[1] (۲۰۰۸)، در یک مطالعه مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم کوآنزیم Q_{10} طی ۲۰ روز را برای کاهش میزان لیپید پراکسید سرمی (LPO) رزمی‌کاران پس از فعالیت رقابتی مفید را گزارش کردند (۳۲). گروه تحقیقی اوکادان و همکاران[2] (۲۰۱۲)، با مطالعهٔ مکمل‌دهی Q_{10} بر استرس اکسایشی قلب موش‌ها طی تمرینات شنای وامانده‌ساز اظهار داشتند، مکمل‌دهی حین تمرین ممکن است از پراکسیداسیون لیپید و آسیب DNA قلب ممانعت به عمل آورد، هرچند عوامل آنتی اکسیدانی (SOD, GSH) تأثیر معناداری از مکمل‌دهی نگرفتند (۳۳). سایر مطالعات افزایش سطح CoQ_{10} عضلهٔ شناگران جوان به‌دنبال ۱۲ روز مکمل‌دهی CoQ_{10} و به‌دنبال آن افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و نیز افزایش مدت زمان رسیدن به خستگی حین فعالیت را گزارش کرده‌اند (۱۱).

با این حال، نتایج برخی از مطالعات گذشته حاکی از این است که اثر این مکمل خوراکی بر MDA و TAC سرمی بسیار اندک است (۲۶). به عنوان مثال، می‌توان به نتایج مطالعهٔ سوهال و همکاران[3] (۲۰۰۶)، مبنی بر عدم عدم تأثیر قابل محسوس تجویز کوآنزیم Q_{10} (به مقدار ۹۰ تا ۳۷۱ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن موش‌ها به مدت ۱۴ ماه) بر آنتی‌اکسیدان‌های دفاعی مهم بافت‌های بدن اشاره کرد (۱۲). تضاد یافته‌های مطالعهٔ حاضر با نتایج سوهال ممکن است ناشی از تفاوت‌های موجود در نوع آزمودنی، تنوع برنامه‌های تمرینی و شدت فعالیت ورزشی باشد. همچنین گروه تحقیقاتی لاکسونن و همکاران[4] (۱۹۹۸)، نشان دادند که مکمل‌دهی کوآنزیم Q_{10} به به مدت ۶ هفته نمی‌تواند با افزایش ظرفیت ضداکسایشی تام از تغییرات نامطلوب مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص اصلی پراکسیداسیون غشاهای زیستی افراد سالم و تمرین کردهٔ جوان و پیر جلوگیری نماید (۳۴). دلیل احتمالی این تناقضات نسبت به تحقیق حاضر، مصرف دوز پایین (۱۲۰ میلی‌گرم روزانه)، نوع قرارداد ورزشی و مصرف کالری غذایی پایین در طول تمرینات می‌تواند باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد، دمای مرکزی بدن گروه مکمل‌دهی به‌طور معناداری در سطح پایین‌تری (مطلوب‌تری) نسبت به گروه کنترل قرار دارد که به نوعی می‌توان اذعان کرد، احتمالاً CoQ_{10} در برابر افزایش دمای بدن و عوارض ناشی از آن عمل محافظتی دارد. این نتایج می‌تواند مؤید یافته‌های مطالعات علوم پزشکی باشد؛ زیرا به گزارشات آنها مصرف کوآنزیم Q_{10} همراه با به کارگیری از تکنیک‌های سرمایشی موقع جراحی بعد از ایست قلبی، منجر به کاهش دمای بدن از $34^{\circ}C$ به $32^{\circ}C$ می‌شود (۳۵). در حالی که در دو گروه دیگر تحقیق حاضر (پیش‌سرمایشی، پیش‌سرمایی+ مکمل‌یاری)، هر چند دمای هر دو گروه نسبت به وضعیت پایه کاهش داشت و اختلاف دمایی بین آنها مشاهده شد، امّا تفاوت معنادار نبود ($P>0.05$). این نتیجه می‌تواند مؤید یافته‌های گروه تحقیقاتی نی‌بو و همکاران[5] (۲۰۰۲)، باشد مبنی بر این که، مکمل‌دهی کوآنزیم Q_{10} موقعی که دمای بدن پایین است، می‌تواند بر افزایش دمای بدن مؤثر باشد (۳۶). به‌عبارتی، کوآنزیم Q_{10} یک کوفاکتور ضروری برای عدم جفت‌شدن پروتئین‌ها در تنظیم دمای مطلوب بدن و انقباض‌پذیری عضلات، تسریع روند زیستی و فعل

1 Kon et al.
2 Okudan et al.
3 Sohal et al.
4 Laaksonen et al.
5 Nybo et al

و انفعالات بیوشیمیایی نقش دارد (۳۷). کوآنزیم Q_{10} عمل تعدیل و کاهش دمای بدن را موقع استرس گرمایی انجام می‌دهد، که این افت دما تصور می‌شود در به حداقل رساندن تقاضای انرژی و کاهش تولید ROS مفید باشد، در غیر این صورت ROS باعث آسیب بافت در پاسخ به فشار گرمایی ناشی از محیط، فعالیت بدنی و کم آبی می‌شود (۳۸).

علاقه‌مندی به پیش‌سرمایی بیش از سه دهه است که بین ورزشکاران فزونی یافته و از شیوه‌های مختلفی از جمله در معرض هوای سرد، استفاده از جلیقه‌های خنک‌ساز، غوطه‌وری در آب سرد و یخ و یا از نوشیدنی‌های خنک، متناسب با محیط فعالیت بهره می‌گیرند (۲۲). همسو با نتایج تحقیق حاضر مطالعهٔ آرن‌گریمسون و همکاران[1] (۲۰۰۴)، کاهش دمای مرکزی بدن و ضربان قلب حین تمرین را بعد از پیش‌سرمایی نشان داده است (۲۰)، امّا برخلاف نتایج آنها، درک فشار تمرین بعد از پیش‌سرمایی تغییری نشان نداد. احتمالاً دلیل این تضاد را بتوان به ثابت و پایین بودن دمای آب استخر ($27\pm1^{\circ}C$) در مقایسه با دمای بالای محیط فعالیت مطالعهٔ آنها نسبت داد و یا ممکن است عواملی از قبیل نوع، روش و مدت زمان اعمال پیش‌سرمایی منجر به تناقض باشند. بعلاوه، باگرد و همکاران[2] (۲۰۱۰) و آکرت و همکاران[3] (۲۰۰۷)، استفاده از پیش‌سرمایی با شدت بالا نسبت به شدت پایین (به‌ترتیب، جلیقهٔ سرمایشی با یخ شدید و خفیف، تعداد کیسه‌های سرمایشی بیشتر و یا کل بدن در برابر یک اندام) را برای کاهش دمای بدن و طولانی کردن مدت زمان رسیدن به واماندگی مفیدتر دانستند (۳, ۳۹).

یافته‌های دافیلد و همکاران[4] (۲۰۱۳)، با نتایج تحقیق حاضر متضاد است، زیرا بعد از پیش‌سرمایی (۲۰ دقیقه و با استفاده از جلیقهٔ یخ، حوله‌های خنک و نوشیدن ۳۵۰ میلی‌لیتر آب یخ) برای تمرین و رقابت فوتبال در یک محیط گرم و شرجی ($29\pm3^{\circ}C$ و با رطوبت نسبی ۸±۷۸ درصد)، دمای داخلی بدن (قسمت روده‌ای) تغییر معناداری نشان نداد، هر چند عرق‌ریزی و درک فشار تمرین تا حدودی کاهش داشت (۴۰). همسو با مطالعهٔ دافیلد، میزان درک فشار (RPE) شناگران بعد از رکوردگیری دوم نسبت به رکوردگیری اول در گروه مکمل‌دهی و مکمل‌دهی+ پیش‌سرمایی نسبت به دو گروه دیگر تحقیق در سطح پایین‌تری قرار گرفت. کار تحقیقی سیگل و همکاران[5] (۲۰۱۲) و مایوگان و همکاران[6] (۲۰۱۰) نشان دادند، پیش‌سرمایی و حین‌سرمایی تحمل بدن را در برابر برابر گرما بالا می‌برند و سپس عواقب استرس گرمایی (افزایش ضربان قلب و جریان خون عروقی و عرق‌ریزی) کاهش می‌یابد (۴۱, ۴۲). امّا در تحقیق حاضر برخلاف نتایج آنها، درک فشار تمرین و ضربان قلب بعد از پیش-سرمایی نسبت به گروه کنترل تغییری نشان نداد. هو و همکاران[7] (۲۰۱۳)، در تأیید سایر مطالعات، مبنی بر اعمال اعمال حین‌سرمایی نتیجه گرفتند، مصرف نوشیدنی خنک در حین تمرینات طولانی شنا مخصوصاً در زمان عصر نسبت به زمان صبح و نسبت به نوشیدنی با دمای معمولی ضربان قلب (HR)، دمای مرکزی (Tc) و دمای پوست (Ts) را کاهش می‌دهد (۴۳). همسو با نتایج آنها، کاهش دمای مرکزی بدن برای شناگران گروه پیش‌سرمایی در مرحلهٔ دوم سنجش Tc مشاهده گردید. اگرچه، برای گروه پیش‌سرمایی+ مکمل‌دهی هم این نتیجه حاصل گردید

1 Arngrïmsson et al.
2 Bogerd et al.
3 Ückert et al.
4 Duffield et al.
5 Siegel et al.
6 Maughan et al.
7 Hue et al.

امّا تفاوت بین این دو گروه معنادار نبود. همان طور که اشاره شد، احتمالاً مصرف کوآنزیم Q_{10} از افت بیش از حد دمای مرکزی بدن ممانعت کرده است.

نتیجه‌گیری

مکمل‌یاری CoQ_{10} موجب کاهش فشار اکسایشی، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام و کاهش درک فشار ناشی از تمرین در حین تمرینات سنگین مرحله‌ی رقابت شنا و رکوردگیری در مسافت‌های سرعتی، نیمه‌استقامتی و استقامتی می‌شود. CoQ_{10} به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی و تنظیم‌گر دما، از افزایش دمای مرکزی بدن و عوارض ناشی از آن ممانعت به عمل می‌آورد. پیش‌سرمایی برخلاف این که دمای مرکزی بدن را همانند سایر مطالعات نسبت به حالت پایه کاهش می‌دهد امّا در جهت کاهش و یا حذف فشار اکسایشی و بهبود ظرفیت آنتی-اکسیدانی تام شناگران بی‌تأثیر است. بدین منظور، مصرف CoQ_{10} می‌تواند از عوارض ناشی از به کارگیری استراتژی پیش‌سرمایی جلوگیری کند. ممکن است تجویز پیش‌سرمایی به روش‌های مختلف بر وضعیت عملکردی (مدت زمان واماندگی)، سایر عوامل آنتی‌اکسیدانی و آسیبی در رشتهٔ ورزشی شنا مؤثر باشد که نیازمند پژوهش‌های بیشتری است.

سپاس‌گزاری: بدین‌وسیله از ریاست محترم فدراسیون شنای ایران و شناگران نوجوان نخبه که نهایت همکاری را در جهت انجام پژوهش حاضر انجام دادند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

References:

1- Wendt D, Van Loon LJ, Lichtenbelt WD. 2007. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. Sports Medicine(Auckland, NZ). 37(8):669-682.

2- Bongers CC, Thijssen DH, Veltmeijer MT, Hopman MT, Eijsvogels 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- Bogerd N, Perret C, Bogerd CP, Rossi RM, Daanen HA. 2010. The effect of pre-cooling intensity on cooling efficiency and exercise performance. Journal of Sports Sciences. 28(7):771-9.

4- Jones PR, Barton C, Morrissey D, Maffulli N, Hemmings S. 2012. Pre-cooling for endurance exercise performance in the heat: a systematic review. BMC Medicine. 10(1):1.

5- 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. Journal of Sports Sciences. 24(1):3-9.

6- Rahal A, Kumar A, Singh V, Yadav B, Tiwari R, Chakraborty S, et al. 2014. Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay. BioMed Research International. 2014.

7- Hall DM, Buettner GR, Matthes RD, Gisolfi CV. 1994. Hyperthermia stimulates nitric oxide formation: electron paramagnetic resonance detection of NO-heme in blood. Journal of Applied Physiology. 77(2):548-53.

8- Demirci N, Beytut E. 2014. Effects of oral coenzyme Q_{10} on preventing the accumulation of lactic acid developing during the exercise performances of endurance skiing athletes. American Journal of Sports Science. 2(3):65-70.

9- Borekova M, Hojerova J, Koprda V, Bauerova K. 2008. Nourishing and health benefits of coenzyme Q_{10}-a review. Czech Journal of Food Sciences. 26(4):229-41.

10- Nayanatara A, Nagaraja H, Anupama B. 2005. The effect of repeated swimming stress on organ weights and lipid peroxidation in rats. Thai Journal of Pharmaceutical Sciences. 18(1):3-9.

11- Leelarungrayub D, Sawattikanon N, Klaphajone J, Pothongsunan P, Bloomer RJ. 2010. Coenzyme Q_{10} supplementation decreases oxidative stress and improves physical performance in young swimmers: A pilot study. The Open Sports Medicine Journal. 4(1).

12- Sohal RS, Kamzalov S, Sumien N, Ferguson M, Rebrin I, Heinrich KR, et al. 2006. Effect of coenzyme Q_{10} intake on endogenous coenzyme Q content, mitochondrial electron transport chain, antioxidative defenses, and life span of mice. Free Radical Biology and Medicine. 40(3):480-7.

13- Gougoura S, Nikolaidis MG, Kostaropoulos IA, Jamurtas AZ, Koukoulis G, Kouretas D. 2007. Increased oxidative stress indices in the blood of child swimmers. European Journal of Applied Physiology. 100(2):235-9.

14- Santos-Silva A, Rebelo MI, Castro EMB, 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. Clinica Chimica Acta. 306(1):119-26.

15- Heyward VH, Gibson A. 2014. Advanced fitness assessment and exercise prescription 7th edition. Human kinetics.

16- Miles MV. 2007. The uptake and distribution of coenzyme Q_{10}. Mitochondrion. 7:S72-S7.

17- Ghaffarpour M, Houshiar rad A, Kianfar H. 1379. The manual for household measures, cooking yield factors & edible portion of food. Ulume Keshavarzi, Tehran. [Persian]

18- Shirinzadeh M, Shakerhosseini R, Hoshiyar rad A. 1388. Nutritional value assessment and adequacy of dietary intake in type 2 diabetic patients. Iranian Oil Terminals Company, National Iranian Oil Company. 11(1):25-32. [Persian]

19- Tyler CJ, Sunderland C, Cheung SS. 2013. The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: a meta-analysis. British Journal of Sports Medicine. Bjsports. 2012-091739.

20- Arngrïmsson SÁ, Petitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, Cureton KJ. 2004. Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. Journal of Applied Physiology. 96(5):1867-74.

21- Booth J, Wilsmore 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):587-90.

22- Ross M, Abbiss C, Laursen P, Martin D, Burke L. 2013. Precooling methods and their effects on athletic performance. Sports Medicine. 43(3):207-25.

23- Riewald S, Rodeo S. 2015. Science of swimming faster. Human Kinetics.

24- Hall DM, Baumgardner KR, Oberley TD, Gisolfi CV. 1999. Splanchnic tissues undergo hypoxic stress during whole body hyperthermia. American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology. 276(5):G1195-G203.

25- Nakhostin-Roohi B, Babaei P, Rahmani-Nia F, Bohlooli S. 2008. Effect of vitamin C supplementation on lipid peroxidation, muscle damage and inflammation after 30-min exercise at 75% VO_{2max}. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 48(2):217.

26- Rötig A. 2010. News in ubiquinone biosynthesis. Chemistry & biology. 17(5):415-6.

27- Sen CK. 2001. Antioxidant and redox regulation of cellular signaling: introduction. Medicine and Science in Sports and Exercise. 33(3):368-70.

28- Svensson M, Malm C, Tonkonogi M, Ekblom B, Sjoedin B, Sahlin K. 1999. Effect of Q_{10} supplementation on tissue Q_{10} levels and adenine nucleotide catabolism during high-intensity exercise. International Journal of Sport Nutrition. 9:166-80.

29- Ernster L, Forsmark-Andree P. 1993. Ubiquinol: an endogenous antioxidant in aerobic organisms .The Clinical Investigator. 71(8):S60-S5.

30- Díaz-Castro J, Guisado R, Kajarabille N, García C, Guisado IM, de Teresa C, et al. 2012. Coenzyme Q_{10} supplementation ameliorates inflammatory signaling and oxidative stress associated with strenuous exercise. European Journal of Nutrition. 51(7):791-9.

31- Armanfar M, Jafari A, Dehghan GR. 2015. Effect of coenzyme Q_{10} Supplementation on Exercise-Induced Response of Oxidative Stress and Muscle Damage Indicators in Male Runners. Zahedan Journal of Research in Medical Sciences. 17(8).

32- 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 Q_{10}. British Journal of Nutrition. 100(04):903-9.

33- Okudan N, Revan S, Balci S, Belviranli M, Pepe H, Gökbel H. 2011. Effects of CoQ_{10} supplementation and swimming training on exhaustive exercise-induced oxidative stress in rat heart. Bratislavske Lekarske Listy. 113(7):393-9.

34- Laaksonen R, Fogelholm M, Himberg J-J, Laakso J, Salorinne Y. 1995. Ubiquinone supplementation and exercise capacity in trained young and older men. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 72(1-2):95-100.

35- Damian MS, Ellenberg D, Gildemeister R, Lauermann J, Simonis G, Sauter W, et al. 2004. Coenzyme Q10 Combined With Mild Hypothermia After Cardiac Arrest A Preliminary Study. Circulation. 110(19):3011-6.

36- Nybo L, Møller K, Volianitis S, Nielsen B, Secher NH. 2002. Effects of hyperthermia on cerebral blood flow and metabolism during prolonged exercise in humans. Journal of Applied Physiology. 93(1):58-64.

37- Echtay KS, Winkler E, Frischmuth K, Klingenberg M. 2001. Uncoupling proteins 2 and 3 are highly active H^+ transporters and highly nucleotide sensitive when activated by coenzyme Q (ubiquinone). Proceedings of the National Academy of Sciences. 98(4):1416-21.

38- Sawka MN, Leon LR, Montain SJ, Sonna LA. 2011. Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. Comprehensive Physiology.

39- Ückert S, Joch W. 2007. Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat. British Journal of Sports Medicine. 41(6):380-4.

40- Duffield R, Coutts A, McCall A, Burgess D. 2013. Pre-cooling for football training and competition in hot and humid conditions. European Journal of Sport Science. 13(1):58-67.

41- 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):155-165.

42- Maughan R, Shirreffs S, Ozgünen K, Kurdak S, Ersöz G, Binnet M, et al. 2010. Living, training and playing in the heat: challenges to the football player and strategies for coping with environmental extremes. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 20(s3):117-24.

43- Hue O, Monjo R, Lazzaro M, Baillot M, Hellard P, Marlin L, et al. 2013. The effect of time of day on cold water ingestion by high-level swimmers in a tropical climate. International Journal of Sports Physiology and Performance. 8(4):442-451.