

بررسی سطوح برخی شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی و التهابی متعاقب مکمل‌سازی کوآنزیم Q10 پس از وهله‌های حاد فعالیت هوازی وامانده‌ساز در جودوکاران مرد

شادی گلپسندی^۱، مبینا خسروی^۲، هادی گلپسندی^۳✉

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳

چکیده

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده حرکت شناسی و مدیریت ورزشی، دانشگاه A&M، نگراس، آمریکا.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

۳- پژوهشگر پسادکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

✉ نویسنده مسئول:

hadi.golpasandi@uok.ac.ir

هدف: این مطالعه با هدف بررسی اثرات مکمل‌سازی کوتاه‌مدت با کوآنزیم Q10 (CoQ10) بر نشانگرهای استرس اکسیداتیو و التهاب، به‌ویژه سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، مالون دی‌آلدئید (MDA) و اینترلوکین-۶ (IL-6)، به دنبال ورزش هوازی وامانده‌ساز در ورزشکاران جودو انجام شد.

روش‌شناسی: ۱۶ ورزشکار جودوی مرد در یک مطالعه تصادفی، دوسوکور، متقاطع در قالب دو شرایط مکمل Co-Q10 و دارونما شرکت کردند. شرکت‌کنندگان بعد از انجام وهله اول فعالیت هوازی وامانده‌ساز به مدت ۳۰ روز مکمل CoQ10 را مصرف کردند سپس وهله دوم فعالیت وامانده ساز را انجام دادند. نمونه‌های خون قبل از ورزش، بلافاصله و ۲۴ ساعت پس از ورزش در طول دو وهله فعالیت جهت سنجش سطوح SOD، MDA و IL-6 جمع‌آوری شد. این نشانگرها با استفاده از روش ایمنوسوربت متصل به آنزیم (ELISA) و تکنیک‌های اسپکتروفتومتری آنالیز شدند.

یافته‌ها: مکمل‌سازی با CoQ10 به طور قابل توجهی سطوح SOD را پس از ۳۰ روز مکمل‌سازی در مقایسه با گروه دارونما افزایش داد ($p < 0.05$). سطوح MDA و IL-6 به طور قابل توجهی در طول دوره ریکاوری پس از مکمل CoQ10 کاهش یافت ($p < 0.05$). این یافته‌ها نشان می‌دهد که CoQ10 به طور موثر دفاع آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و پراکسیداسیون لیپیدی و التهاب ناشی از تمرین هوازی وامانده را کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری: مکمل‌سازی CoQ10 استرس اکسیداتیو و پاسخ‌های التهابی را در ورزشکاران جودو پس از فعالیت هوازی وامانده‌ساز بهبود می‌بخشد. CoQ10 ممکن است یک استراتژی تغذیه‌ای موثر برای افزایش ریکاوری و کاهش آسیب سلولی ناشی از ورزش در ورزش‌های با شدت بالا باشد.

واژگان کلیدی: کوآنزیم Q10، استرس اکسیداتیو، فعالیت هوازی وامانده‌ساز، جودو.

ISSN: ۲۹۸۰-۸۹۶۰

تمامی حقوق این مقاله برای نویسندگان محفوظ است.

ارجاع دهی:

Golpasandi SH, Khosravi M, Golpasandi H. Investigation of the Levels of Some Antioxidant and Inflammatory Markers Following Supplementation of Coenzyme Q10 after Acute Bouts of Exhausting Aerobic Exercise in Male Judo Athletes. *Research in Exercise Nutrition* 2025;2(4):61-68, Doi: <https://doi.org/10.22034/ren.2024.142662.1067>.



Investigation of the Levels of Some Antioxidant and Inflammatory Markers Following Supplementation of CoenzymeQ10 after Bouts of Exhausting Aerobic Exercise in Male Judo Athletes

Shadi Golpasandi¹, Mobina Khosravi², Hadi Golpasandi³✉

Received: 2024/12/03

Accepted: 2024/12/23

Abstract

Aims: This study aimed to investigate the effects of short-term supplementation with coenzyme Q10 (CoQ10) on markers of oxidative stress and inflammation, specifically superoxide dismutase (SOD), malondialdehyde (MDA), and interleukin-6 (IL-6), following exhaustive aerobic exercise in judo athletes.

Methods: Sixteen male judo athletes participated in a randomized, double-blind, crossover study in which they received CoQ10 or placebo. Participants received CoQ10 supplementation for 30 days after completing a first bout of exhaustive aerobic exercise, then completed a second bout of exhaustive exercise. Blood samples were collected before exercise, immediately, and 24 hours after exercise during the two bouts to measure levels of SOD, MDA, and IL-6. These markers were analyzed using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) and spectrophotometric techniques.

Results: CoQ10 supplementation significantly increased SOD levels after 30 days of supplementation compared to the placebo group ($p < 0.05$). MDA and IL-6 levels were significantly reduced during the recovery period after CoQ10 supplementation ($p < 0.05$). These findings suggest that CoQ10 effectively enhances antioxidant defences and reduces lipid peroxidation and inflammation induced by exhaustive aerobic exercise.

Conclusion: CoQ10 supplementation improves oxidative stress and inflammatory responses in judo athletes after exhaustive aerobic exercise. CoQ10 may be an effective nutritional strategy to enhance recovery and reduce exercise-induced cellular damage in high-intensity sports.

Key words: Coenzyme Q10, oxidative stress, exhausting aerobic exercise, judo.

¹. PhD student in Exercise Physiology, School of Kinesiology and Sport Management, Texas A&M University, USA.

². Msc of Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

³. Postdoctoral Researcher in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

✉ **Corresponding author:**
hadi.golpasasandi@uok.ac.ir

ISSN:2980-8960

All rights of this article are reserved for authors.

Citation:

Golpasandi SH, Khosravi M, Golpasandi H. Investigation of the Levels of Some Antioxidant and Inflammatory Markers Following Supplementation of CoenzymeQ10 after Acute Bouts of Exhausting Aerobic Exercise in Male Judo Athletes. *Research in Exercise Nutrition* 2025;2(4):61-68, Doi: <https://doi.org/10.22034/ren.2024.142662.1067>.

مقدمه

کوآنزیم Q10 (CoQ10) یک آنتی اکسیدان طبیعی است که در میتوکندری سلول‌ها یافت می‌شود و نقش مهمی در تولید انرژی سلولی و از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند. مکمل آن به دلیل مزایای بالقوه آن در افزایش عملکرد بدنی و کاهش استرس اکسیداتیو ناشی از ورزش، به ویژه در ورزشکارانی که در ورزش‌های با شدت بالا مانند جودو شرکت می‌کنند، مورد توجه قرار گرفته است (۱). جودو یک ورزش با سطح فعالیت شدید جسمانی است که می‌تواند منجر به استرس فیزیولوژیکی قابل توجهی گردد (۲). این استرس اغلب منجر به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که می‌تواند دفاع آنتی اکسیدانی بدن را تحت تأثیر قرار دهد و باعث آسیب اکسیداتیو گردد. نشانگرهای مانند مالون دی آلدئید (MDA)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و اینترلوکین-۶ (IL-6) معمولاً برای اندازه‌گیری سطح استرس اکسیداتیو و التهاب در ورزشکاران استفاده شده‌اند (۳).

MDA نشانگر پراکسیداسیون لیپیدی است، فرآیندی که رادیکال‌های آزاد به لیپیدهای غشای سلولی حمله می‌کنند و منجر به آسیب سلولی می‌شود (۴). از سوی دیگر SOD یک آنزیم آنتی اکسیدانی مهم است که رادیکال‌های سوپراکسید را خنثی می‌کند و توانایی بدن برای مبارزه با استرس اکسیداتیو را منعکس می‌کند (۵).

IL-6 نیز یک سیتوکین است که در التهاب و پاسخ ایمنی نقش دارد و سطح آن اغلب در پاسخ به فعالیت بدنی شدید افزایش می‌یابد (۶). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که مکمل CoQ10 می‌تواند سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی را تقویت کند، سطح نشانگرهای اکسیداتیو مانند MDA را کاهش دهد و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی از جمله SOD را افزایش دهد (۷، ۸). علاوه بر این، نشان داده شده است که CoQ10 پاسخ‌های التهابی را تنظیم می‌کند و به طور بالقوه سطوح IL-6 را پس از ورزش کاهش می‌دهد (۹). این اثرات نشان می‌دهد که CoQ10 می‌تواند نقش مهمی در محافظت از ورزشکاران در برابر آسیب اکسیداتیو و التهاب ناشی از ورزش داشته باشد و در نتیجه بهبودی و عملکرد را بهبود بخشد (۱۰). اخیراً در یک تحقیق نشان داده شد که مکمل CoQ10 ممکن است افزایش مونوسیت‌های بیان‌کننده TLR-4 را در پاسخ به تمرینات ورزشی شدید مداوم در ورزشکاران رشته کندو کاهش دهد (۱۱). در تحقیق دیگری نشان داده شد که مصرف مکمل کوآنزیم Q10 در زمان مسابقات پی در پی می‌تواند نوتروفیل سرم را کاهش دهد، بنابراین می‌تواند تأثیر مفیدی بر سیستم ایمنی بازیکنان داشته باشد. پیشنهاد می‌شود که

بازیکنان فوتسال از مکمل کوآنزیم Q10 در طول مسابقات متوالی استفاده کنند (۱۲).

با وجود این، تحقیقات محدودی در مورد اثرات حاد مکمل CoQ10 بر سطوح آنتی‌اکسیدانی و التهابی، بخصوص در ورزشکاران حرفه‌ای مانند رزمی‌کاران که مکرراً تحت فشارهای بدنی شدید قرار می‌گیرند، وجود دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات حاد مکمل CoQ10 بر سطوح سرمی MDA، SOD و IL-6 در جودوکاران مرد تحت آزمایش شبیه سازی شده جودو انجام شد. این تحقیق بینش‌هایی را در مورد مزایای بالقوه مکمل CoQ10 در کاهش استرس اکسیداتیو و التهاب، کمک به عملکرد ورزشی و بهبودی بهتر ارائه می‌دهد. با درک این مکانیسم‌ها، این مطالعه امیدوار است که توصیه‌های مبتنی بر شواهد را برای استراتژی‌های تغذیه‌ای ارائه دهد که می‌تواند سلامت و عملکرد ورزشکاران را در ورزش‌های پر شدت افزایش دهد. پژوهش حاضر، زمینه را برای یک بررسی جامع در مورد نقش مکمل CoQ10 در کاهش اثرات نامطلوب استرس اکسیداتیو و التهاب در ورزشکاران جودو فراهم می‌کند و به طور بالقوه استراتژی‌های جدیدی را برای بهبود عملکرد ورزشی و ریکاوری ارائه می‌دهد.

روش‌شناسی

طرح پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی و یک کارآزمایی تصادفی دوسوکور کنترل شده با دارونما بود. جامعه پژوهش حاضر را جودوکاران بزرگسال مرد شهرستان سقز تشکیل می‌داد که پس از فراخوانی در هیئت جودوی شهرستان سقز، از داوطلبان دعوت بعمل آمد که در یک جلسه آشناسازی با فرایند اجرایی پژوهش شرکت نمایند. پس از بررسی معیارهای ورود به پژوهش حاضر شامل عدم سابقه بیماری خاص متابولیکی، قلبی-عروقی، عدم مصرف مکمل‌های حاوی آنتی‌اکسیدانی در ۶ ماه گذشته و عدم استعمال دخانیات بود که در نهایت ۱۶ نفر به عنوان نمونه آماری با دامنه سن ۳۵-۲۵ سال انتخاب شدند. در جلسه بعدی پس از تقسیم‌بندی آزمودنی‌ها بصورت تصادفی به دو گروه مکمل (۸ نفر) و دارونما (۸ نفر)، از آزمودنی‌ها خواسته شد که جهت تکمیل پرسشنامه‌های سابقه سلامتی، پرسشنامه شرکت داوطلبانه در پژوهش حاضر و اندازه‌گیری شاخص‌های دموگرافیکی شامل قد، وزن، شاخص توده بدنی، درصد چربی به سالن ورزشی مراجعه کنند سپس در جلسه بعدی وهله فعالیت ورزشی هوازی و امانده‌ساز را انجام دادند. پروتکل فعالیت ورزشی هوازی و امانده‌ساز از طریق رکاب زدن بوسیله دوچرخه مونارک هوازی (مدل Monark Ergomedic 828E، ساخت کشور سوئد) انجام شد. آزمودنی‌ها پس از گرم کردن ۳ دقیقه‌ای با سرعت ۶۰ rpm

یافته‌ها

ویژگی‌های توصیفی و آنترپومتریکی آزمودنی‌های دو گروه مکمل و دارونما بصورت میانگین و انحراف استاندارد در جدول ۱ ارائه شده است.

گروه	سن (سال)	BMI (kg/m ²)	قد (cm)	وزن (kg)	درصد چربی (%)
مکمل CoQ10	۲۶/۵۲ ± ۴/۰۸	۲۲/۰۲ ± ۱/۴۹	۱۷۰ ± ۱۷/۲۷	۷۴/۹۰ ± ۸/۷۳	۲۳/۷۲ ± ۴/۱۲
پلاسیبو	۲۵/۱۹ ± ۳/۲۹	۲۴/۲۵ ± ۱/۴۹	۱۷۸/۱۸ ± ۱۲/۱۱	۷۶/۶۵ ± ۶/۱۳	۲۵/۲۹ ± ۳/۸۶

اثر مکمل‌سازی حاد CoQ10 بر شاخص MDA در جودوکاران مرد

نتایج نشان داد که اثر گروه ($p < ۰/۰۰۲$)، اثر زمان ($p < ۰/۰۰۱$) و اثر تعامل گروه در زمان ($p < ۰/۰۰۱$) در سطوح سرمی MDA معنادار می‌باشد. در هر دو گروه مکمل و پلاسیبو، افزایش معنادار پس از وهله‌های فعالیت ورزشی حاد اول (۳۸/۲۳، ۳۷/۵۱ درصد) و دوم (بترتیب؛ ۳۳/۳۱ و ۲۰/۹۰ درصد) نسبت به پیش از وهله-های اول و دوم فعالیت مشاهده گردید ($p < ۰/۰۰۱$) و کاهش معنادار در وهله‌های ۲۴ ساعت پس از فعالیت ورزشی حاد اول (بترتیب؛ ۱۸/۸۷ و ۱۶/۱۰ درصد) و دوم (بترتیب؛ ۸/۵۴ و ۲/۰۵ درصد) نسبت به وهله‌های پیش از فعالیت اول و دوم مشاهده گردید ($p < ۰/۰۰۴$ و $p < ۰/۰۰۴$). نتایج همچنین کاهش معنادار (۲۰/۳۴ درصدی) در پیش از فعالیت وهله دوم نسبت به پیش از فعالیت وهله اول و کاهش ۳۵/۰۳ درصدی در ۲۴ ساعت وهله دوم فعالیت نسبت به ۲۴ ساعت وهله اول فعالیت در گروه مکمل مشاهده گردید ($p < ۰/۰۰۱$)، (شکل ۲، A).

اثر مکمل‌سازی حاد CoQ10 بر شاخص SOD در جودوکاران مرد

نتایج نشان داد که اثر گروه ($p < ۰/۰۲۰$)، اثر زمان ($p < ۰/۰۰۱$) و اثر تعامل گروه در زمان ($p < ۰/۰۰۱$) در سطوح سرمی SOD معنادار می‌باشد. در هر دو گروه مکمل و پلاسیبو، کاهش معنادار پس از وهله‌های فعالیت ورزشی حاد اول (۱۷/۸۶، ۱۶/۳۹ درصد) و دوم (بترتیب؛ ۱۵/۳۹ و ۸/۵۵ درصد) نسبت به پیش از وهله-های اول و دوم فعالیت مشاهده گردید ($p < ۰/۰۰۱$) و افزایش معنادار در وهله‌های ۲۴ ساعت پس از فعالیت ورزشی حاد اول (بترتیب؛ ۲۷/۶۳ و ۲۲/۸۷ درصد) و دوم (بترتیب؛ ۱۶/۶۳ و ۷/۳۹ درصد) نسبت به وهله‌های پیش از فعالیت اول و دوم مشاهده گردید ($p < ۰/۰۰۱$). نتایج همچنین افزایش معنادار (۱۲/۵۷ درصدی) در پیش از فعالیت وهله دوم نسبت به پیش از فعالیت وهله اول مشاهده شد. در حالیکه تفاوت معناداری بین ۲۴

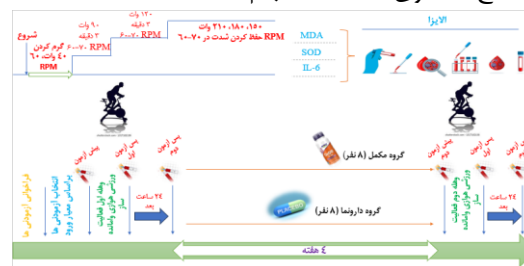
بدون بار، پروتکل اصلی را با شدت ۹۰ وات شروع کردند و به ازای هر سه دقیقه، ۳۰ وات به مقدار بار افزوده شد. سپس از آزمودنی‌ها خواسته شد تا سرعت رکاب زدن را در ۶۰ تا ۷۰ دور در دقیقه حفظ کنند، در صورتیکه آنها نمی‌توانستند که میزان بار را در این سرعت حفظ کنند و یا نتواند پروتکل را ادامه دهند، به عنوان نقطه خستگی ارادی آزمودنی‌ها در نظر گرفته شد (۱۳). در این نقطه، مدت زمان فعالیت برحسب ثانیه/ دقیقه محاسبه گردید.

پس از اجرای فعالیت وامانده‌ساز، گروه مکمل CoQ10 یک کپسول ژلاتینی با دوز ۲۰۰ میلی‌گرم/ روز بصورت ناشتا همراه با یک لیوان آب با ترکیبات روغن کانولا، یوبیکوینول(فرم فعال CoQ10) و دی گلیسرول مونولئات (ساخت شرکت Carlyle، کشور آمریکا) به مدت ۴ هفته مصرف نمودند و همزمان گروه دارونما نیز یک کپسول (همسان از لحاظ اندازه، شکل و رنگ) با همان محتویات گروه مکمل بدون یوبیکوینول را مصرف نمودند (۱۴). وضعیت تغذیه‌ای آزمودنی‌ها با استفاده از پرسشنامه تغذیه‌ای در طول دوره اجرای پژوهش حاضر مورد ارزیابی قرار گرفت.

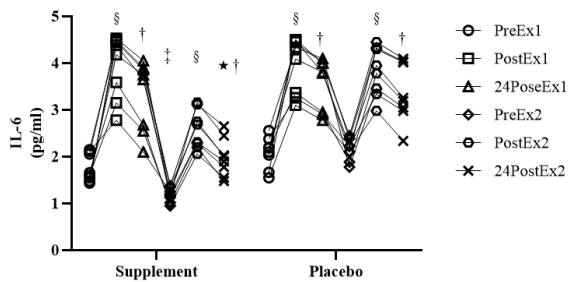
فرآیند خونگیری جهت ارزیابی سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی MDA، SOD و التهابی شامل IL-6 در ۶ مرحله شامل: قبل از وهله‌های فعالیت هوازی وامانده‌ساز (مراحل اول و دوم)، بلافاصله و ۲۴ ساعت بعد از وهله‌های فعالیت هوازی وامانده‌ساز (مراحل دوم و سوم) به میزان ۵ سی‌سی از ورید بازویی انجام شد.

روش آماری

در بخش ارائه نتایج و تجزیه و تحلیل آماری در پژوهش حاضر از هر دو نوع آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. در بخش آمار توصیفی از شاخص‌های میانگین، انحراف استاندارد استفاده شد. در بخش آمار استنباطی از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (۲*۶) جهت بررسی فرضیات پژوهش استفاده شد و جهت بررسی مقایسه بین گروهی از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. تمامی تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار گراف پد پریزم نسخه ۹ با سطح معناداری $P < ۰/۰۵$ انجام شد.



شکل ۱. فرآیند اجرایی پژوهش حاضر.



شکل ۲؛ نمودار سطوح سرمی شاخص های SOD، MDA، IL-6 و IL-6؛ (†)؛ معنی داری نسبت به پیش از فعالیت (‡)؛ معنی داری نسبت به بلافاصله پس از فعالیت (‡)؛ معنی داری نسبت به پیش از فعالیت و هله اول (*); معنی داری نسبت به ۲۴ ساعت پس از فعالیت و هله اول. تعداد هر گروه = ۸ نفر، $p < 0.001$.

بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی سطوح برخی شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی و التهابی متعاقب مکمل‌سازی حاد CoQ10 پس از و هله‌های حاد فعالیت هوازی و آمانده‌ساز در جودوکاران مرد در قالب یک مطالعه تصادفی کنترل شده با دارونما انجام شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مکمل‌سازی حاد CoQ10 باعث کاهش معنادار سطوح SOD و IL-6 و افزایش سطوح SOD سرمی در جودوکاران مرد پس از و هله‌های فعالیت حاد هوازی و آمانده‌ساز گردید.

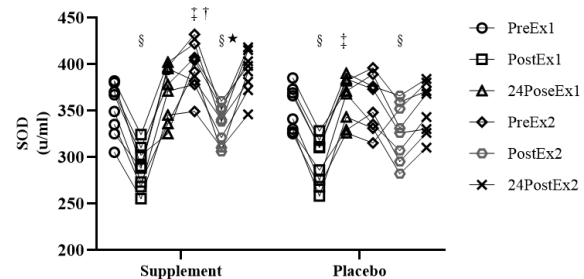
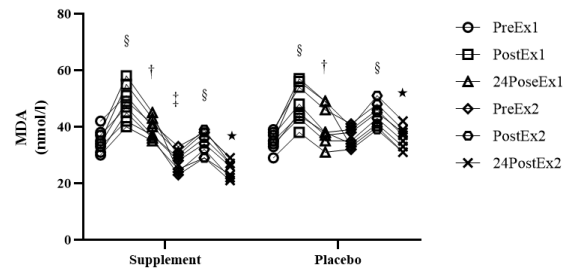
نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های فخاری و همکاران (۱۵) و فیضی و همکاران (۱۶)، آرمافر و همکاران (۱۷) و چیس و همکاران (۱۸) همسو بود. آنها در تحقیق خود نشان دادند که مکمل‌سازی CoQ10 باعث بهبود پروفایل التهاب و آنتی‌اکسیدانی در دونده‌های نخبه و دانشجویان غیرفعال دختر گردید. هر چند که در تحقیق فیضی پروتکل تمرینی از نوع مقاومتی بود. اخیرا در یک مطالعه فراتحلیل گزارش شد که مکمل‌سازی CoQ10 اثر معناداری بر سطوح IL-6 و SOD ندارد (۱۹)، البته باید در نظر داشت که فراتحلیل مذکور بر بیماران مبتلا به سرطان سینه مورد بررسی قرار گرفته بود که این می‌تواند یکی از دلایل ناهمسو بودن با نتایج پژوهش حاضر باشد.

CoQ10 یک آنتی‌اکسیدان قوی و یک جزء کلیدی از زنجیره انتقال الکترون میتوکندری است که در آن نقش مهمی در تولید ATP ایفا می‌کند (۲۰). فعالیت ورزشی هوازی و آمانده‌ساز استرس اکسیداتیو و التهاب قابل توجهی را از طریق افزایش سطح MDA، نشانگر پراکسیداسیون لیپیدی و IL-6 ایجاد می‌کند (۲۱، ۲۲). علاوه بر این، مکمل‌سازی حاد CoQ10 ممکن است پاسخ‌های فیزیولوژیکی از جمله تنظیم مثبت خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی آن، را بهبود بخشد.

ساعت و هله دوم فعالیت نسبت به ۲۴ ساعت و هله اول فعالیت در گروه مکمل مشاهده نگردید ($p > 0.001$)، (شکل ۲، B).

اثر مکمل‌سازی حاد CoQ10 بر شاخص IL-6 در جودوکاران مرد

نتایج نشان داد که اثر گروه ($p < 0.001$)، اثر زمان ($p < 0.001$) و اثر تعامل گروه در زمان ($p < 0.001$) در سطوح سرمی IL-6 معنادار می‌باشد. در هر دو گروه مکمل و پلاسبو، افزایش معنادار پس از و هله‌های فعالیت ورزشی حاد اول (۱۳۳/۱۴، ۸۹/۹۰ درصد) و دوم (بترتیب؛ ۹۷/۶۹ و ۷۸/۵۰ درصد) نسبت به پیش از و هله-های اول و دوم فعالیت مشاهده گردید ($p < 0.001$) و کاهش معنادار در و هله‌های ۲۴ ساعت پس از فعالیت ورزشی حاد اول (بترتیب؛ ۱۵/۹۹ و ۷/۳۳ درصد) در هر دو گروه مکمل و دارونما گردید در حالیکه در ۲۴ ساعت پس از فعالیت ورزشی و هله دوم تنها در گروه مکمل کاهش معنادار مشاهده شد ($p < 0.040$). (۲۲/۹۶ درصد). نتایج همچنین، کاهش معنادار (۲۳/۰۸- درصدی) در پیش از فعالیت و هله دوم نسبت به پیش از فعالیت و هله اول را در گروه مکمل نشان شد ($p < 0.046$). همچنین تفاوت معناداری بین ۲۴ ساعت و هله دوم فعالیت نسبت به ۲۴ ساعت و هله اول فعالیت در گروه مکمل مشاهده گردید ($p > 0.001$)، (شکل ۲، C).



اکسیداتیو، CoQ_{10} به طور غیرمستقیم فعال سازی NF- KB را کاهش می‌دهد و منجر به کاهش ترشح IL-6 و پاسخ التهابی کنترل شده تر می‌شود.

کاهش سطح IL-6 پس از مصرف مکمل CoQ_{10} نقش آن را در تنظیم التهاب ناشی از ورزش نشان می‌دهد. IL-6 که در طی ورزش شدید تولید می‌شود، به عنوان نشانگر التهاب حاد و سیگنال‌های متابولیک عمل می‌کند. در حالی که IL-6 نقش مفیدی در تنظیم انرژی و پاسخ‌های ایمنی دارد، افزایش طولانی مدت یا بیش از حد آن می‌تواند به التهاب سیستمیک و تاخیر در بهبودی کمک کند. توانایی CoQ_{10} در تنظیم سطح IL-6 نشان می‌دهد که ممکن است مسیرهای پیش-التهابی مانند سیگنال دهی NF- KB را با کاهش استرس اکسیداتیو سرکوب کند. این اثر ضد التهابی می‌تواند باعث بهبودی سریع‌تر شود و خطر التهاب مزمن یا سندرم تمرین بیش از حد را کاهش دهد (۳۱).

ورزش شدید به دلیل افزایش تقاضای انرژی و تولید ROS، عملکرد میتوکندری را به چالش می‌کشد. نقش CoQ_{10} به عنوان یک حامل الکترون در زنجیره انتقال الکترون میتوکندری، تولید موثر ATP را تضمین می‌کند و در عین حال نشت الکترون و تولید ROS بعدی را به حداقل می‌رساند. بهبود کارایی میتوکندری، استرس اکسیداتیو را در منبع آن کاهش می‌دهد، محیطی با التهاب کمتر ایجاد می‌کند و باعث بهبود سریع تر هموستاز سلولی می‌شود (۳۲).

ترکیبی از دفاع آنتی‌اکسیدانی تقویت شده، کاهش آسیب اکسیداتیو و التهاب کنترل شده، یک محیط بهینه برای بهبودی ایجاد می‌کند. مکمل CoQ_{10} احتمالاً به حفظ یکپارچگی ساختاری و عملکردی اجزای سلولی از جمله غشاهای پروتئین‌ها و DNA کمک می‌کند، که در غیر این صورت در مقابل استرس اکسیداتیو ناشی از ورزش آسیب‌پذیر هستند. CoQ_{10} با کاهش اثرات مضر ROS و سیتوکین‌ها مانند IL-6، از فرآیندهای ترمیم و سازگاری عضلات ضروری برای عملکرد ورزشی پشتیبانی می‌کند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه بر نقش دوگانه CoQ_{10} در کاهش استرس اکسیداتیو و تنظیم التهاب پس از تمرین هوازی وامانده ساز در ورزشکاران جودو تاکید می‌کند. افزایش سطح SOD، همراه با کاهش MDA و IL-6، به اثربخشی آن در افزایش ریکاوری و محافظت در برابر آسیب سلولی ناشی از ورزش اشاره دارد. این مکانیسم‌های فیزیولوژیکی CoQ_{10} را به یک مکمل ارزشمند برای ورزشکارانی تبدیل می‌کند که در ورزش‌های با شدت بالا

در پژوهش حاضر، مکمل سازی CoQ_{10} به طور قابل توجهی سطوح SOD را افزایش داد، که نشان دهنده تنظیم مثبت سیستم های آنتی‌اکسیدانی درون زاست. SOD آنزیم اولیه‌ای است که مسئول تغییر شکل رادیکال‌های سوپراکسید به پراکسید هیدروژن است که گونه‌ای کمتر واکنش پذیر است (۲۳). افزایش مشاهده شده در فعالیت SOD ممکن است به نقش CoQ_{10} در حفظ تعادل ردوکس سلولی نسبت داده شود. CoQ_{10} با از بین بردن مستقیم رادیکال‌های آزاد و کاهش بار سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی، به SOD و سایر آنتی‌اکسیدان‌ها اجازه می‌دهد کارآمدتر عمل کنند (۲۴). علاوه بر این، CoQ_{10} می‌تواند به بازسازی سایر آنتی‌اکسیدان‌ها مانند ویتامین E کمک می‌کند و به اثر محافظتی آن بیافزاید (۲۵). افزایش مشاهده شده در سطوح SOD نشان می‌دهد که مکمل CoQ_{10} سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی درون زاست را افزایش می‌دهد. این یافته قابل توجه است زیرا فعالیت ورزشی وامانده ساز هوازی، مقدار زیادی از ROS تولید می‌کند که بر دفاع طبیعی بدن غالب می‌شود. با افزایش فعالیت SOD، مکمل CoQ_{10} احتمالاً به خنثی کردن ROS کمک می‌کند و از اجزای سلولی در برابر آسیب محافظت می‌کند. این افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ممکن است به ویژه برای ورزشکارانی که در معرض وهله‌های مکرر تمرینات شدید قرار دارند مفید باشد.

MDA محصول جانبی پراکسیداسیون لیپیدی است، فرآیندی که توسط واکنش رادیکال‌های آزاد با لیپیدهای غشایی آغاز می‌شود (۲۶). ورزش با شدت بالا تولید ROS را افزایش می‌دهد، سطح MDA را افزایش می‌دهد و یکپارچگی سلولی را به خطر می‌اندازد. خواص آنتی‌اکسیدانی CoQ_{10} احتمالاً این آسیب اکسیداتیو را با خنثی کردن ROS قبل از شروع پراکسیداسیون لیپیدی کاهش می‌دهد (۲۷). این مکانیسم حفاظتی ثبات غشاء را حفظ می‌کند و از آسیب اکسیداتیو ثانویه جلوگیری می‌کند و بهبودی سریع تر از ورزش وامانده ساز را تسهیل می‌کند (۲۸).

کاهش سطح IL-6 مشاهده شده پس از مصرف مکمل CoQ_{10} نقش بالقوه آن را در کاهش التهاب ناشی از ورزش برجسته می‌کند. IL-6 توسط سلول‌های عضلانی در حین ورزش به عنوان بخشی از پاسخ التهابی حاد تولید می‌شود و به عنوان یک سیتوکین پیش التهابی و ضد التهابی عمل می‌کند (۲۹). در حالی که IL-6 به تنظیم متابولیک در طول ورزش کمک می‌کند، افزایش طولانی مدت آن می‌تواند التهاب سیستمیک را تشدید کند (۲۹). CoQ_{10} ممکن است تولید IL-6 را با تنظیم مسیرهای سیگنال دهی فاکتور هسته ای کاپا (NF- KB) که محرک‌های کلیدی بیان سیتوکین هستند، تنظیم کند (۳۰). با کاهش استرس

- [8] Sangsefidi ZS, Yaghoubi F, Hajiahmadi S, Hosseinzadeh M. The effect of coenzyme Q10 supplementation on oxidative stress: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Food science & nutrition*. 2020;8(4):1766-76.
- [9] Hou S, Tian Z, Zhao D, Liang Y, Dai S, Ji Q, et al. Efficacy and Optimal Dose of Coenzyme Q10 Supplementation on Inflammation-Related Biomarkers: A GRADE-Assessed Systematic Review and Updated Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2023;67(13):2200800.
- [10] Gutierrez-Mariscal FM, Arenas-de Larriva AP, Limia-Perez L, Romero-Cabrera JL, Yubero-Serrano EM, López-Miranda J. Coenzyme Q10 supplementation for the reduction of oxidative stress: Clinical implications in the treatment of chronic diseases. *International journal of molecular sciences*. 2020;21(21):7870.
- [11] Shimizu K, Kon M, Tanimura Y, Hanaoka Y, Kimura F, Akama T, Kono I. Coenzyme Q10 supplementation downregulates the increase of monocytes expressing toll-like receptor 4 in response to 6-day intensive training in kendo athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2015;40(6):575-81.
- [12] Nikbakht H, Shokouhyar S, Ghazalian F. The effects of coenzyme Q10 supplementation on futsal competition-induced changes in immune system in male players. *Eur J Exp Biol*. 2013;3(3):370-5.
- [13] Yavuz HU, Turnagol H, Demirel AH. Pre-exercise arginine supplementation increases time to exhaustion in elite male wrestlers. *Biology of sport*. 2014;31(3):187-91.
- [14] Moreno-Fernandez J, Puche-Juarez M, Toledano JM, Chiroso I, Chiroso LJ, Pulido-Moran M, et al. Ubiquinol Short-Term Supplementation Prior to Strenuous Exercise Improves Physical Performance and Diminishes Muscle Damage. *Antioxidants*. 2023;12(6):1193.
- [15] Fakhari Langroodi M, Gholami M, Shakeri N. The effect of eight weeks of Q10 supplementation combined with aerobic exercise on serum MDA, SOD and maximal oxygen consumption in women. *Quarterly Journal of Breathing*. 2020;5.(۱)
- [16] Feizi Y, Afzalpour M, Abtahi Avery S. The effect of short-term supplementation of coenzyme Q10 on malondialdehyde and serum catalase enzyme activity following moderate acute resistance exercise in inactive female students. *Third International*

شرکت می‌کنند، که به طور بالقوه عملکرد را بهبود می‌بخشد و خطر عوارض ناشی از تمرین بیش از حد را کاهش می‌دهد. تحقیقات آینده بهتر است اثرات درازمدت CoQ10 بر ریکاوری و بهبود عملکرد ورزشی در جمعیت‌های مختلف ورزشی را بررسی کنند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از تمام افرادی که در مطالعه حاضر شرکت و همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع نویسندگان این مقاله اظهار می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

منابع

- [1] Arenas-Jal M, Suñé-Negre J, García-Montoya E. Coenzyme Q10 supplementation: Efficacy, safety, and formulation challenges. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2020;19(2):574-94.
- [2] Rossi C, Roklicer R, Tubic T, Bianco A, Gentile A, Manojlovic M, et al. The role of psychological factors in judo: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*. 2022;19(4):2093.
- [3] Laskowski R, Ziemann E, Olek R, Zembron-Lacny A. The effect of three days of judo training sessions on the inflammatory response and oxidative stress markers. *Journal of Human Kinetics*. 2011;30(2011):65-73.
- [4] Gawel S, Wardas M, Niedworok E, Wardas P. Malondialdehyde (MDA) as a lipid peroxidation marker. *Wiadomosci lekarskie (Warsaw, Poland: 1960)*. 2004;57(9-10):453-5.
- [5] Stephenie S, Chang YP, Gnanasekaran A, Esa NM, Gnanaraj C. An insight on superoxide dismutase (SOD) from plants for mammalian health enhancement. *Journal of Functional Foods*. 2020;68:103917.
- [6] Huang B, Lang X, Li X. The role of IL-6/JAK2/STAT3 signaling pathway in cancers. *Frontiers in oncology*. 2022;12:1023177.
- [7] Sifuentes-Franco S, Sánchez-Macías DC, Carrillo-Ibarra S, Rivera-Valdés JJ, Zuñiga LY, Sánchez-López VA, editors. Antioxidant and anti-inflammatory effects of coenzyme Q10 supplementation on infectious diseases. *Healthcare*; 2022: MDPI.

- [25] Zor KR, Yılmaz U, Bozkurt SB. Coenzyme Q10 and Vitamin E Regulate the Bioactivity of Human Corneal Fibroblast Cells. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics*. 2024;40(8):494-503.
- [26] Singh Z, Karthigesu IP, Singh P, Rupinder K. Use of malondialdehyde as a biomarker for assessing oxidative stress in different disease pathologies: a review. *Iranian Journal of Public Health*. 2014;43(Supple 3):7-16.
- [27] Asgary S, Karimi R, Pour PM, Heydarpour F, Mostafaei S, Farzaei MH, et al. Is consumption of pomegranate supplementation effective on oxidative stress biomarkers including MDA, ox-LDL, POX 1, GPX, TAC, and TBRAS? A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Current problems in cardiology*. 2023;48(8):101198.
- [28] Yang M-T, Lee X-X, Huang B-H, Chien L-H, Wang C-C, Chan K-H. Effects of two-week betaine supplementation on apoptosis, oxidative stress, and aerobic capacity after exhaustive endurance exercise. *Antioxidants*. 2020;9(12):1189.
- [29] Kendra J, Golpasandi SH, Naman A, Othman M, Kim J, Rauth R, et al., editors. Micronized Biocompatible Ceramic Promotes Muscle Derived IL-6 Release in Disuse. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*; 2024.
- [30] Biabani N, Taherpour K, Ghasemi HA, Akbari Gharaei M, Hafizi M, Nazaran MH. Advanced chelate technology-based trace minerals reduce inflammation and oxidative stress in Eimeria-infected broilers by modulating NF-kB and Nrf2 pathways. *Scientific Reports*. 2024;14(1):24227.
- [31] Nash D. The IL-6 signalling pathway: potential biomarkers for training load, performance, and health status in endurance runners? : Cardiff Metropolitan University; 2024.
- [32] Drobnic F, Lizarraga MA, Caballero-García A, Cordova A. Coenzyme Q10 supplementation and its impact on exercise and sport performance in humans: a recovery or a performance-enhancing molecule? *Nutrients*. 2022;14(9):1811.
- Conference on Applied Research in Physical Education, Sport Sciences and Championship 2018.
- [17] Armanfar M, Jafari A, Dehghan GR. Effect of coenzyme Q10 supplementation on exercise-induced response of oxidative stress and muscle damage indicators in male runners. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*. 2015;17.(^)
- [18] Chis BA, Chis AF, Muresan A, Fodor D. Q10 coenzyme supplementation can improve oxidative stress response to exercise in metabolic syndrome in rats. *International journal for vitamin and nutrition research*. 2019.
- [19] Alimohammadi M, Rahimi A, Faramarzi F, Golpour M, Jafari-Shakib R, Alizadeh-Navaei R, Rafiei A. Effects of coenzyme Q10 supplementation on inflammation, angiogenesis, and oxidative stress in breast cancer patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled-trials. *Inflammopharmacology*. 2021;29(3):579-93.
- [20] Shen Q, Pierce JD, editors. Supplementation of coenzyme Q10 among patients with type 2 diabetes mellitus. *Healthcare*; 2015: MDPI.
- [21] Golpasasndi SH, Abdollahpour S, Golpasandi H. High-intensity interval training combined with saffron supplementation modulates stress-inflammatory markers in obese women with type 2 diabetes. *Research in Exercise Nutrition* 2022;1(1):55-61.
- [22] Suzuki K, Tominaga T, Ruhee RT, Ma S. Characterization and modulation of systemic inflammatory response to exhaustive exercise in relation to oxidative stress. *Antioxidants*. 2020;9(5):401.
- [23] Ighodaro O, Akinloye O. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria journal of medicine*. 2018;54(4):287-93.
- [24] Surai PF. Antioxidant systems in poultry biology: superoxide dismutase. *Journal of Animal Research and Nutrition*. 2016;1(1):8.