پژوهش در تغذیه ورزشی
سال دوم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صص ۴۲-۳۳

مقاله پژوهشی

https://researchinexercisenutrition.com

https://doi.org/10.22034/ren.2024.140374.1048

اثر یک دوره تمرین کراس فیت همراه با مصرف مکمل اسپیرولینا بر برخی از شاخص های استرس اکسیداتیو در مردان جوان ورزشکار

امیررضا ابراهیمی[۱]، شادمهر میردار[۲]✉، خدیجه نصیری[۳]

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

چکیده

هدف: تمرینات ورزشی هدفمند با بهبود ظرفیت آنتی اکسیدانتی نقش اساسی در عملکرد قلبی تنفسی دارد. هدف مطالعه حاضر، بررسی اثر هشت هفته تمرینات کراس فیت همراه با مصرف مکمل اسپیرولینا بر سطوح سرمی مالون دی آلدئید، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در مردان جوان ورزشکار بود.

روش‌شناسی: در این پژوهش نیمه تجربی، تعداد ۲۰ ورزشکار با میانگین سنی ۱/۸۸±۲۲/۹۵ سال به طور تصادفی، در دو گروه دارونما (۱۰ نفر) و مکمل (۱۰ نفر) قرار گرفتند. گروه مکمل به طور همزمان با مصرف روزانه چهار عدد قرص (۵۰۰ میلی‌گرمی) اسپیرولینا در یک برنامه تمرینی کراس فیت هشت هفته‌ای، سه جلسه به مدت ۴۵ تا ۶۰ دقیقه شرکت کردند. نمونه‌گیری خونی ۲۴ ساعت قبل و ۴۸ ساعت بعد از دوره مداخله جهت اندازه‌گیری شاخص های فوق انجام شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون t زوجی و تحلیل کوواریانس سطح معنی داری $P\leq0.05$ انجام شد.

یافته‌ها: کاهش معنادار سطوح مالون دی‌آلدئید ($P=0.02$) و افزایش معنادار سطوح گلوتاتیون پرواکسیداز و سوپرا اکسید دیسموتاز در گروه مکمل مشاهده شد ($P=0.01$). آزمون تحلیل کوواریانس اختلاف معناداری را در سطوح مالون دی آلدئید ($P=0.01$)، سوپرا اکسید دیسموتاز ($P=0.02$) و گلوتاتیون پرواکسیداز($P=0.03$) نشان می دهد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد تمرینات کراس فیت به همراه مصرف مکمل اسپیرولینا، می‌تواند موجب بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب اکسایشی در ورزشکاران جوان شود.

واژگان کلیدی: کراس فیت، اسپیرولینا، مالون دی آلدهید، سوپرا اکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پرواکسیداز، استرس اکسایشی

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی دانشگاه بابلسر، مازندران، ایران.
۲- دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی دانشگاه بابلسر، مازندارن، ایران.
✉ **نویسنده مسئول:**
shdmeher.mirdar8@gmail.com
۳- دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی دانشگاه بابلسر، مازندارن، ایران.

ISSN:۲۹۸۰-۸۹۶۰

تمامی حقوق این مقاله برای نویسندگان محفوظ است.

ارجاع دهی:

Ebrahimi, A , Mirdar, Sh and Nasiri, KH. The effect of a crossfit training period with spirulina supplementation on some indicators of oxidative stress in young male**. Research in Exercise Nutrition**,.2023. 2(1): p.33-42-.Doi: https://doi.org/10.22034/ren.2024.140374.1048 .

Original Article

REN

https://doi.org/10.22034/ren.2024.140374.1048 Research in Exercise Nutrition 2023; 2(1): 33-42

The effect of a crossfit training period with spirulina supplementation on some indicators of oxidative stress in young male

Amirreza Ebrahimi[1], Shadmehr Mirdar[2]✉, Khadijeh Nasiri[3]

Received: 2023/12/23 **Accepted: 2024/02/02**

Abstract

Aims: Targeted exercise training improves antioxidant capacity and plays an essential role in cardiorespiratory function. This study aimed to investigate the effect of eight weeks of CrossFit training with spirulina supplementation on the serum levels of malondialdehyde, glutathione peroxidase, and superoxide dismutase in young male athletes.

Methods: In this semi-experimental study, 20 athletes with an average age of 22.95 ± 1.88 years were randomly assigned to two placebo (10 people) and supplement (10 people) groups. The supplement group participated in an eight-week CrossFit training program, three sessions for 45 to 60 minutes, at the same time, by consuming four tablets (500 mg) of spirulina daily. Blood sampling was done 24 hours before and 48 hours after the intervention period to measure the above indicators. Data analysis was done using paired t-test and analysis of covariance with a significance level of $P \geq 0.05$.

Results: A significant decrease in malondialdehyde levels ($P<0.02$) and a significant increase in glutathione peroxidase and superoxide dismutase levels were observed in the supplement group ($P<0.01$). The covariance analysis test shows a significant difference in the levels of malondialdehyde ($P<0.01$), Superoxide dismutases ($P<0.02$) and glutathione peroxidase ($P<0.03$). **Conclusion**: It seems that crossfit exercises along with spirulina supplementation can improve antioxidant status and reduce oxidative damage in young athletes.

Keywords: Cross-fit, Spirulina, Malondialdehyde, Superoxide dismutase, Glutathione peroxidase, Oxidative stress

[1] PhD student of sports physiology, Faculty of Physical Education, Babolsar University, Mazandaran, Iran

[2] Professor of Sports Physiology, Faculty of Physical Education, Babolsar University, Mazandaran, Iran.

✉ Corresponding author: shdmeher.mirdar8@gmail.com

[3] Associate Professor of Sports Physiology, Faculty of Physical Education, Babolsar University, Mazandaran, Iran.

ISSN:2980-8960

All rights of this article are reserved for authors.

Citation:

Ebrahimi, A , Mirdar, Sh and Nasiri, KH. The effect of a crossfit training period with spirulina supplementation on some indicators of oxidative stress in young male**. Research in Exercise Nutrition**,.2023. 2(1): p.33-42-.Doi: https://doi.org/10.22034/ren.2024.140374.1048 .

مقدمه

در سال‌های اخیر محبوبیت فزآینده‌ای در روش‌های تمرینی به وجود آمده است. طبق نظر کالج پزشکی ورزشی آمریکا[1] (ACSM) تمرینات با شدت بالا و تمرینات با وزنه، از بهترین روش‌های تناسب اندام هستند (۱). یکی از این روش‌های تمرینی تمرینات کراس فیت[2] است. کراس فیت یک برنامه کوتاه‌مدت با شدت بالا و شبیه تمرینات دایره‌ای است، با این تفاوت که دوره‌های استراحتی بین حرکات وجود ندارد و به شرکت‌کنندگان این امکان را می‌دهد که در معرض استرس ناشی از تمرین قرار گیرند (۲،۳). این تمرین یک سبک محبوب تمرینی چندحالته از تمرینات با شدت بالا و شامل طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های بدنی مانند دویدن، شنا، پارو زدن، وزنه‌برداری و ژیمناستیک است. از ویژگی‌های مهم این روش تمرینی، در مقایسه با سایر برنامه‌های تمرینی سنتی، حداقل زمان لازم برای رسیدن به سازگاری است (۳). مشاهده شده که کراس فیت می‌تواند با ایجاد استرس اکسیداتیو ناشی از تمرین، منجر به برهم خوردن حالت تعادل پرواکسیدانتی–آنتی اکسیدانی شود (۴). گزارش‌شده است که فعالیت بدنی بسته به میزان شدت و حجم، تغییراتی را در محیط داخلی بدن ایجاد می‌کند که می‌تواند مفید یا مضر باشد (۵). فعالیت بدنی شدید منجر به افزایش مصرف اکسیژن و افزایش متابولیسم می‌شود و تولید گونه‌های اکسیژن فعال را افزایش می‌دهد (۶). از جمله گونه‌های اکسیژن فعال، رادیکال‌های هیدروکسیل[3]، رادیکال‌های سوپر اکسید[4] و آلدئیدها[5] هستند که برای سلول‌ها سمی، جهش‌زا و سرطان‌زا می‌باشند (۷). ورزش طولانی‌مدت و شدید می‌تواند به آسیب اکسیداتیو به ترکیبات سلولی منجر شود(۸). ورزش باعث تولید اکسیژن واکنش‌پذیر و گونه‌های نیتروژن می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که گونه‌های اکسیژن فعال، خستگی در عضلات را تسهیل می‌کند (۹). افزایش غلظت رادیکال‌های آزاد می‌تواند از ظرفیت محافظتی سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی سلول فراتر رود (۱۰). بنابراین، عدم تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد و ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن که استرس اکسیداتیو نام دارد، به دنبال فعالیت بدنی ایجاد می‌شود (۱۱). طی این فرآیند، رادیکال‌های آزاد به اجزای سلولی به‌خصوص اسیدهای چرب غیراشباع در غشای سلولی حمله می‌کنند و باعث تولید رادیکال‌های آزاد بیشتری می‌شوند، به این ترتیب که اسیدهای چرب شکسته و گازهای هیدروکربنی را تشکیل می‌دهند و باعث آسیب عضلانی و التهاب می‌گردند (۱۲). یکی از راه‌های اندازه‌گیری نوسانات استرس محیطی داخل بدن، ارزیابی نشانگرهای زیستی استرس اکسیداتیو است. در بیشتر مطالعات آلدهیدها به خصوص مالون دی آلدهید[6] (MDA)، سوپراکسیددیسموتاز[7] (SOD) وگلوتاتیون پراکسیداز[8] (GPX) به‌عنوان شاخصی جهت ارزیابی استرس اکسیداتیو مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت مقابله با استرس اکسیداتیو تولید شده، سلول به خوبی به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان آنزیمی شامل SOD و GPX و کاتالاز سلولی که اولین سد دفاعی سلول در برابر انواع رادیکال‌های اکسیژن فعال شده می‌باشند، تجهیز شده است. به دنبال افزایش استرس اکسیداتیو، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی تحریک و فعال می‌شود. به‌طورکلی آسیب‌های اکسیداتیو اغلب با کاهش عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ارتباط هستند و تغییر عناصر کمیاب می‌تواند بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مؤثر باشد (۱۳). اکنون پذیرفته شده است که گرچه سطح بالایی از رادیکال‌های آزاد می‌توانند به اجزای سلولی آسیب برسانند، اما سطح پایین تا متوسط اکسیدان ها نقش نظارتی متعددی مانند کنترل بیان ژن، تنظیم مسیرهای سیگنالینگ سلول و تعدیل تولید نیروی عضلانی اسکلتی در سلول‌ها بر عهده دارند (۹). برای محافظت در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از ورزش، سلول‌ها حاوی مکانیزم دفاع سلولی درون‌زا برای کنترل سطح گونه‌های اکسیژن هستند. به علاوه، آنتی‌اکسیدان‌های غذایی برون‌زا با آنتی‌اکسیدان‌های درون‌زا ارتباط برقرار می‌کنند و شبکه‌ای از آنتی‌اکسیدان‌های سلولی را تشکیل می‌دهند (۱۴). مطالعات نشان داده است که با اتخاذ راهبردهای گوناگون در جهت مهار و کاهش استرس اکسیداتیو می‌توان از افت عملکرد ورزشی جلوگیری کرد و حتی در جهت بهتر شدن آن و افزایش تحمل تمرین گام برداشت. عامل تغذیه، در فرایند تولید رادیکال آزاد نقش دارد .یکی از این مکمل‌های گیاهی که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است و امروزه از آن برای مقاصد درمانی استفاده می‌شود، مکمل اسپیرولینا[9] است. اسپیرولینا جلبک سبز آبی تک‌سلولی است که از ابتدایی‌ترین اشکال حیات بر روی کره زمین به شمار می‌رود (۱۱)، و دارای فعالیت بیولوژیک است و برای تولید مکمل‌های غذایی به طور گسترده کشت می‌شود. این گیاه سرشار از اسیدهای آمینه ضروری و اسیدهای چرب ، ویتامین C، ویتامین E و سلنیوم است (۱۰) که با توجه به توانایی آنتی‌اکسیدانی

1. American College of Sports Medicine
2. CrossFit
3. Hydroxyl radical
4. Superoxide radical
5. Aldehyde
6. Malondialdehyde
7. Superoxide dismutase
8. Glutathione Peroxidase

اسپیرولینا مورد توجه قرارگرفته است. در واقع، بسیاری از اجزای شیمیایی این گیاه، مانند ترکیبات فنولی[1]، توکوفرول‌ها[2]، بتاکاروتن‌ها[3] خواص آنتی‌اکسیدانی دارند (۹). به عنوان مثال، گزارش‌شده است که مکمل اسپیرولینا باعث کاهش پراکسیداسیون لیپید و افزایش سطح گلوتاتیون، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز در کلیه موش‌ها می‌شود (۱۴). انجام تمرینات با شدت بالا به علت بالا بردن متابولیسم بدن، سبب تولید رادیکال های آزاد بیشتری در فرد می‌شود. با این و جود از آنجایی که آسیب اکسایشی در ابتدا به طور عمده در غشا میتوکندریایی و در دیگر غشاهای سلولی ایجاد می‌گردد، به نظر می‌رسد مکمل سازی با مواد ضد اکسایشی محلول در چربی ، تا حدودی بتواند از آسیب سلولی ناشی از فشار اکسایشی این نوع استرس جلوگیری نماید. در همین راستا پژوهشگران کاهش فشار اکسایشی و تقویت دفاع آنتی‌اکسیدانی را پس از شش هفته تمرین عملکردی با شدت ۷۰ تا ۸۵ درصد به همراه مصرف مکمل اسپیرولینا در مردان فعال را نشان دادند(۱۵). اما یک مطالعه عدم تغییر شاخص‌های استرس اکسیداتیو پس از چهار هفته تمرین با شدت ۶۰ تا ۸۰ درصد به همراه مصرف مکمل اسپیرولینا در مردان جوان فعال مشاهده شد(۱۶). اگرچه مطالعات زیادی در زمینه تاثیر تمرینات با شدت بالا و مصرف مکمل بر آنتی‌اکسیدان‌ها و رادیکال های آزاد صورت گرفته است، اما تا کنون تاثیر مصرف اسپیرولینا طی تمرینات کراس فیت مطالعه نشده است. با توجه به خاصیت آنتی‌اکسیدانی اسپیرولینا و تاثیر تمرینات با شدت بالا مانند کراس فیت بر وضعیت آنتی‌اکسیدانی و از طرفی نظر به مطالعات محدود و متناقض انجام‌گرفته در زمینه مکمل سازی اسپیرولینا، این پرسش مطرح است که آیا مصرف مکمل اسپیرولینا می‌تواند با از بروز آسیب‌های سلولی و اکسایشی ناشی از تمرینات کراس فیت بکاهد و موجب کاهش تأثیرات نامطلوب فشار اکسایشی و شاخص‌های استرس اکسیداتیو پس از یک دوره تمرینات کراس فیت شود؟ از این رو هدف پژوهش حاضر بررسی تاثیر هشت هفته تمرینات کراس فیت همراه با مصرف مکمل اسپیرولینا بر شاخص‌های استرس اکسیداتیو (MDA، GPX، SOD) در مردان جوان ورزشکار بود.

روش‌شناسی

تحقیق حاضر از نظر هدف از نوع تحقیقات کاربردی و از نظر روش‌شناسی نیمه تجربی بود که به صورت دوسوکور اجرا شد. پس از اعلام فراخوان در جامعه مورد نظر (ورزشکاران رشته‌های تیمی با سابقه ۳ سال ورزش حرفه‌ای)، ۲۰ ورزشکار (شامل ۱۰ بازیکن فوتسال و ۱۰ بازیکن هندبال که سابقه سه سال سابقه فعالیت منظم داشتند و از لحاظ آمادگی در شرایط مسابقه قرار داشتند) با دامنه سنی ۱۸ تا ۲۴ سال و شاخص توده بدن ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم بر متر مربع، که شرایط ورود به مطالعه را داشتند همگن‌شده و به صورت تصادفی در دو گروه دارونما (۱۰نفر) و گروه مکمل اسپیرولینا (۱۰ نفر) قرار گرفتند. این افراد با تکمیل رضایت‌نامه در این پژوهش شرکت کردند و قبل از مراحل پژوهش، کلیه شرایط آزمون به طور دقیق در یک جلسه توجیهی برای آن‌ها توضیح داده شد و فرم رضایت‌نامه و پرسشنامه اطلاعات فردی (مشتمل بر سابقه ورزشی، نوع ورزش، سابقه آسیب و بیماری خاص) تکمیل گردید. معیارهای ورود به مطالعه شامل: سن ۱۸ تا ۲۴ سال، شاخص توده بدنی بین ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم بر متر مربع، عدم ابتلا به هر گونه بیماری قلبی – عروقی، دیابت و مفصلی بود. معیارهای خروج از مطالعه شامل: مصرف ماده نیروزا و مکمل‌ها مانند ویتامین‌ها، مکمل‌های غذایی و گیاهان دارویی، کاهش و یا افزایش وزن و انجام هرگونه فعالیت ورزشی خارج از پروتکل پژوهش بود. شرکت‌کنندگان پرسشنامه آمادگی برای شروع فعالیت بدنی[4] (PARQ) را تکمیل کردند و با نحوه انجام فعالیت بدنی آشنا شدند. در این مطالعه، افراد تحت آزمون به طور تصادفی به دو گروه و مکمل و دارونما تقسیم شدند. آزمایش در دو مرحله انجام شد: در مرحله نخست افراد به صورت ناشتا به آزمایشگاه مراجعه کرده و خون‌گیری از آن‌ها انجام شد. سپس به طور تصادفی به هر فرد بسته‌ای تحویل داده شده که حاوی دارونما یا اسپیرولینا بوده است. برای تأمین دو سوکور بودن مطالعه، فردی خارج از گروه تحقیق بسته‌های دارونما و اسپیرولینا را شماره‌گذاری کرده و مجری طرح تنها به تحویل بسته‌ها به ورزشکاران و ثبت شماره ی بسته تحویلی به هر یک از آنان مبادرت کرده است. پس از اجرای طرح و برای انجام آنالیز آماری الگوی شماره گذاری، بسته‌ها برای آنالیز کردن داده‌ها، از همکار خارج از طرح تحویل گرفته‌شده است. سپس از ورزشکاران خواسته شد تا بسته های خالی ترکیبات مصرفی را که تا مرحله پایانی همراه داشته به محققان تحویل دهند تا به این روش، تا حدی دریافت ترکیبات توسط آنان کنترل گردد. سپس ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی خونگیری انجام شد. کلیه آزمون‌ها و اندازه‌گیری‌ها در باشگاه اکسیژن مجموعه ورزشی انقلاب تهران انجام شد.

1. Spirulina
2. Phenolic compounds
3.Tocopherol
4. beta-Carotene

4. Physical Activity Readiness Questionnaire

پروتکل کراس فیت

در پژوهش حاضر، قبل از اجرای تمرینات کراسفیت آزمودنی‌ها ۵ الی ۱۵ دقیقه گرم کردند. تمرینات به مدت هشت هفته و سه روز در هفته به مدت ۴۵دقیقه در چهارهفته اول و ۶۰ دقیقه در چهار هفته دوم بین ساعات ۲ الی ۴ عصر در دو گروه اجرا شد. هر جلسه تمرینی شامل گرم کردن بدن به مدت ۱۰ دقیقه بود. شرکت‌کنندگان در چهار هفته اول تمرینات کراس فیت، مدل سیندی۱ را به مدت ۲۰ دقیقه دنبال کردند. مدل تمرینات سیندی مشتمل بر اجرای ترکیبی از ۵ بارفیکس، ۱۰ حرکت شنا سوئدی و ۱۵ حرکت اسکوات با وزن بدن می‌باشد. در این مدل از تمرین ورزشکار بدون وقفه و استراحت به انجام هر تعداد دور ممکن از حرکات در مدت‌زمان ذکرشده می‌پردازد (۱۷). در چهار هفته بعدی، مدل چلسی۲ که همان محتوای مدل سیندی را دارد، به مدت ۳۰ دقیقه اعمال شد. این مدل از تمرینات شامل اجرای حرکات مدل سیندی با همان تعداد است و تفاوت آن در شیوه اجرا و تعداد دورها است. در این مدل از مجموع فعالیت و استراحت در یک دقیقه استفاده می‌شود، به طوری که ورزشکار اگر یک دور از حرکات را در کمتر از یک دقیقه اجرا کند، می‌تواند تا پایان یک دقیقه استراحت کند در غیر اینصورت ورزشکار باید بلافاصله دور بعد را شروع کند. (۱۸). در پایان، برای بازگرداندن بدن به حالت اولیه و سرد کردن بدن، ۱۰ الی ۱۵ دقیقه پیاده‌روی و کشش‌های عضلانی آرام در حالت نشسته در نظر گرفته شد.

محاسبه کراس فیت کل

در کراس فیت کل، به شرکت‌کنندگان ۹۰ دقیقه فرصت داده شد تا تحت نظارت مربی کراس فیت، یک تکرار بیشینه (1RM)خود را برای حرکت اسکات، پرس و ددلیفت پیدا کنند. پس از گرم کردن، سه تلاش برای شرکت‌کنندگان در رسیدن به 1RM مجاز بود و سه تا پنج دقیقه استراحت بین هر تلاش در نظر گرفته شد. در طول کار شرکت‌کنندگان تشویق هم شدند. بارهای 1RM فردی برای تعیین امتیاز کلی جمع‌بندی گردید (۱۹).

مصرف مکمل و دارونما

در این مطالعه از مکمل اسپیرولینا ساخت شرکت ریحان نقش‌جهان استفاده شد. آزمودنی‌های گروه مکمل دو گرم اسپیرولینا (هر وعده دو عدد قرص ۵۰۰ میلی‌گرمی). در دو وعده غذایی شام و نهار به مدت هشت هفته دریافت کردند.گروه دارونما نیز روزانه چهار عدد کپسول دارونما (قرص حاوی نشاسته گندم) مشابه مکمل دریافت کردند (۲۰).

رژیم غذایی

رژیم غذایی آزمودنی‌ها تحت نظر یک کارشناس تغذیه از طریق فرم یادآمد خوراکی یک هفته قبل از شروع برنامه تمرینی و در طول مطالعه کنترل شد.

روش‌های اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری قد از قدسنج SECA ساخت آلمان با دقت ۰/۱ سانتی‌متر استفاده شد. سن آزمودنی‌ها بر اساس سن شناسنامه‌ای و گزارش خود افراد به سال ثبت شد. برای اندازه‌گیری وزن بدن، شاخص توده بدنی و درصد چربی بدن آزمودنی‌ها از دستگاه ترکیب بدن مدل OMRON BF500 ساخت کشور آلمان استفاده گردید. ۲۴ ساعت قبل از شروع تمرین و برای به حداقل رساندن تأثیر غذای مصرفی، زمان روز و ریتم شبانه‌روزی؛ خون‌گیری همه نمونه‌ها بین ساعت هشت تا نه صبح و پس از حداقل هشت ساعت خواب و ۱۲ ساعت ناشتایی شبانه انجام گرفت. آزمودنی در وضعیت نشسته قرارگرفته و مقدار پنج سی‌سی خون از سیاهرگ ناحیه ساعد (ورید آنت کوبیتان) گرفته شد. ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین نیز خون‌گیری مجدداً انجام شد و برای جلوگیری از لخته شدن در لوله‌های CBC محتوای ماده ضد انعقاد ریخته شد. نمونه‌های خون پس از سانتریفوژ به مدت ده دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه، در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و جداسازی سرم، برای اندازه‌گیری‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل و در دمای۷۰ – درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. همه اندازه‌گیری‌ها، در شرایط یکسان انجام شدند در این مطالعه، سطوح سرمی MDA، GPX و SOD توسط کیت‌های شرکت فن‌آور طب پژوهان رازی با حساسیت ۰/۰۵ نانوگرم و به روش اسپکتروفتومتری۳ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری ساخت کشور ژاپن اندازه‌گیری شد.

روش‌های آماری

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، وضعیت توزیع طبیعی داده‌ها با آزمون کلموگروف– اسمیرنوف[۴] استفاده شد. برای مقایسه تغییرات درون‌گروهی از آزمون تی زوجی و برای بررسی بین گروهی آزمون تحلیل کوواریانس[۵] مورد استفاده قرار گرفت.

1. Cindy"
2. Chelsea

1. Spectrometer
2. Kolmogorov–Smirnov test
3. Analysis of covariance

تحلیل‌های آماری در سطح معنی‌داری$P<0.05$ با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS (نسخه‌ی ۲۴) صورت گرفت.

یافته‌ها

در مجموع ۲۰ آزمودنی در تحلیل نهایی وارد شدند. جدول ۱ ویژگی‌های فردی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها قبل و بعد از مداخلات را نشان می‌دهد. میانگین سنی کل آزمودنی‌ها مطالعه ۲۳/۹۶ سال بود. تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های مطالعه در تمام اندازه‌گیری‌های پایه شامل سن، وزن، قد، شاخص توده بدن وجود نداشت، ($p >0.05$) (جدول ۱)

آزمون کوواریانس نشان داد بین گروه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج نشان داد که میزان MDA ($P=0.01$) در گروه مکمل کاهش معنادار و میزان SOD ($P=0.02$) و GPX ($P=0.03$) در گروه مکمل نسبت به دارونما افزایش معنادار داشته است(جدول۲). علاوه براین یافته‌ها حاکی از اندازه اثر قوی متغیرهای گروه اسپیرولینا نسبت به گروه دارونما بود.

جدول ۱: ویژگی‌های فردی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها

	گروه	تعداد	انحراف معیار ± میانگین		P
			پیش‌آزمون	پس‌آزمون	
سن (سال)	دارونما	۱۰	۲۳/۴ ± ۲/۲۷	---------	---------
	مکمل	۱۰	۲۴/۵۱ ۹±/۹۴	---------	---------
قد (سانتی‌متر)	دارونما	۱۰	۱۶۴/۷ ۹±/۳۵	---------	---------
	مکمل	۱۰	۱۶۴/۳۰ ± ۸/۴۰	---------	---------
وزن (کیلوگرم)	دارونما	۱۰	۶۳/۱۰ ۹±/۵۶	۶۳/۹۰ ۱۱±/۷۸	۰/۱۳
	مکمل	۱۰	۶۳/۹۰ ± ۲/۲۶	۶۲/۲۷ ± ۹/۳۵	۰/۰۷
شاخص توده‌ی بدنی(کیلوگرم بر متر مربع)	دارونما	۱۰	۲۳/۲۶ ± ۱/۴۸	۲۳/۴۶ ± ۱/۹۰	۰/۱۲
	مکمل	۱۰	۲۳/۴ ± ۲/۲۷	۲۲/۹۶ ± ۱/۷۴	۰/۱۱

*تفاوت معنادار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در سطح $P \leq 0.05$.

جدول ۲ : نتایج آزمون تحلیل واریانس و t زوجی به منظور بررسی اثرات درون‌گروهی و بین گروهی

متغیر	گروه‌ها	انحراف معیار ± میانگین		تغییر درون‌گروهی			تغییر بین گروهی	
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون	t	P	٪Δ	F	P *
مالون دی آلذئید (nmol/ml)	دارونما	۱۹/۷۰ ± ۴/۶۱	۲۰/۹۲ ± ۱۰/۳	۰/۴۲۹	۰/۶۵	۸/۵۷	۵/۴۵	۰.۰۱†
	مکمل	۲۰/۱۲ ± ۲/۹۷	۱۶۰۳ ± ۴/۰۴	۴/۴۲	۰.۰۰۳*	-۲۲.۶۳		
گلوتاتیون پرواکسیداز ((u/ml	دارونما	۶/۳۵ ۱±/۱۰	۶/۱۰ ± ۰/۸۹	-۰/۹۳	۰/۴۹	-۴/۰۲	۲۱/۱۶	۰.۰۲†
	مکمل	۶/۳۱ ± ۱/۱۷	۱۱/۲۴ ± ۱/۵۲	۱۲/۳۴	۰.۰۰۱*	۵۶/۱۸		
سوپر اکسید دیسموتاز (u/ml)	دارونما	۶/۸۵ ۲±/۶۵	۷/۱۵ ۲±/۹۷	-۲.۲۲	۰.۶۸	۴/۲۹	۳۱/۱۶	۰.۰۳†
	مکمل	۶/۱۰ ± ۳/۱۵	۹/۵۵ ± ۲/۲۵	۸.۰۲	۰.۰۱*	-۸.۳۵		

*مقدار P را بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان می‌دهد.(آزمون تی زوجی $p < ۰.۰۵$ اختلاف معنادار)

†مقدار P را بین گروه‌ها نشان می‌دهد. (آزمون تحلیل کوواریانس $p < ۰.۰۵$ اختلاف معنادار)

Δ٪ اختلاف درصد بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه اولین تحقیق برای ارزیابی اثرات مکمل اسپیرولینا در میان‌مدت و تمرینات کراسفیت بر شاخص‌های استرس اکسیداتیو در مردان جوان ورزشکار بود. مطالعه حاضر نشان داد که بعد از هشت‌هفته تمرینات کراسفیت و مصرف مکمل اسپیرولینا مقادیر مالون دی آلدئید کاهش معنادار و مقادیر SOD و GPX افزایش معنادار را داشتند. مصرف مکمل اسپیرولینا در کنار تمرینات کراسفیت با کاهش ۲۲/۶۳ درصدی در غلظت MDA و با افزایش

۷۸/۱ درصدی مقادیر GPX و ۵۶/۵ درصدی SOD در گروه مکمل همراه بود. به‌طورکلی می‌توان گفت نتایج این مطالعه با نتایج برخی از مطالعات همسو است (۱۲،۲۱،۲۲). در ریبرو و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که تمرینات فزاینده‌ای وامانده ساز به‌طور معناداری موجب افزایش میزان MDA، SOD و GPX آزمودنی‌ها می‌شود و مصرف مکمل اسپیرولینا سبب کاهش معنادار این شاخص‌ها بعد از تمرین می‌شود (۲۱). تفاوت این پژوهش با مطالعه حاضر در نوع تمرینات و مدت تمرینات است (۱۲). کومار و همکاران (۲۰۱۳) که غلظت پلاسمایی MDA طی یک تمرین شدید همراه با مصرف مکمل اسپیرولینا به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین فعالیت SOD و GPX پس از مصرف مکمل اسپیرولینا به طور قابل‌توجهی افزایش یافت (۲۲). در تحقیقات مشابه بر روی آنتی اکسیدان های گیاهی، قربانیان و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند تمرین استقامتی تناوبی فزاینده به‌صورت طناب زنی به همراه مصرف مکمل خرفه می‌تواند موجب بهبود وضعیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش استرس اکسیداتیو شود (۲۳). نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق الویرا و همکاران (۲۰۱۰) مغایرت داشت. در این مطالعه پژوهشگران نشان دادند، تمرینات مقاومتی و ترکیبی تأثیری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ندارد (۲۴،۲۵). از دلایل ناهمسویی میتوان به شدت، مدت، نوع آزمودنی‌ها اشاره کرد. علاوه بر متغیرهای ذکرشده یکی از عوامل مهم متفاوت بودن نتایج مطالعات زمان ریکاوری ناکافی در برخی از پروتکل‌های تمرینی است؛ تمرینات کراس فیت و همچنین تمرینات عملکردی با شدت بالا به دلیل ماهیت تمرینی، استراحتی بین حرکات اجرایی نداشته و فقط از زمان استراحت اندکی در بعضی از پروتکل‌ها برخوردار هستند، به همین دلیل تولید گونه های اکسیژن ناشی از این تمرینات با شدت بالا از ظرفیت بالقوه دفاع ضد اکسایشی بدن بالاتر رفته و باعث افزایش استرس اکسیداتیو می‌شود (۲۶). به احتمال دیگر دلیل توجیهی ناهمسو نبودن مطالعات می‌توان به فعالیت نیتریک اکساید اشاره کرد. مطالعات نشان داده‌اند که نیتریک اکساید به‌طور مستقیم می‌تواند موجب غیرفعال سازی GPX شود. در نتیجه پراکسید سلولی افزایش می‌یابد و می‌تواند به آسیب سلولی منجر شود (۲۷). با توجه به نتایج تحقیقات مختلفی که در مورد استرس اکسیداتیو و شاخص‌های آن و آنتی‌اکسیدان‌های بدن صورت گرفته است، داشتن آمادگی جسمانی و سابقه تمرینات قبلی آزمودنی‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر پاسخ شاخص‌های استرس اکسیداتیو می‌باشد (۲۸،۲۹). تمرینات ورزشی بر تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن و نیتروژن تأثیر می‌گذارد و احتمالاً به حالت، شدت، طول زمان فعالیت ورزشی و انرژی موردنیاز فعالیت ورزشی، مقادیر اکسیژن مصرفی و فشار مکانیکی تحمیل‌شده بر بافت بستگی دارد (۵). اگرچه فعالیت ورزشی شدید استرس اکسیداتیو را افزایش می‌دهد، نشان داده شده تمرین‌های ورزشی منظم، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی را تقویت می‌کند (۸،۳۰). همچنین نتایج نشان داد که تمرینات کراسفیت به تنهایی غلظت مقادیر MDA، SOD و GPX را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. از طرف دیگر، در مطالعه حاضر مکمل اسپیرولینا افزایش آنزیم‌های SOD و GPX و کاهش مالون دی آلدئید در گروه مکمل را در پی داشت. احتمالاً کاهش MDA ناشی از مصرف اسپیرولینا به این دلیل است که این مکمل به‌عنوان یک مادهٔ ضد اکسایشی محلول در چربی غشاهای بافتی می‌تواند در جهت جلوگیری از اثرات رادیکال‌های آزاد استراتژی بااهمیتی قلمداد شود که با تأثیر مستقیم بر فرایندهای زنجیرهای تشکیل رادیکال‌های آزاد از پر اکسیداسیون لیپیدی جلوگیری می‌کند (۲۳). همچنین افزایش SOD و GPX طی مصرف اسپیرولینا احتمالاً بر اثر مهارکنندگی اسپیرولینا بر پر اکسیداسیون لیپیدها از طریق افزایش این آنزیم‌هاست که محصولات حاصل از پدیدهٔ اکسیداسیون را کاهش می‌دهند (۳۱). بخش‌های مختلف این گیاه حاوی مواد آنتی‌اکسیدانی و عناصر معدنی متعددی است. در پژوهش حاضر مصرف این مکمل به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی توانست سبب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی درون‌زای بدن شود و از پر اکسیداسیون چربی و آسیب‌پذیری غشا به‌طور معناداری جلوگیری کند. به عبارتی، می‌توان گفت یکی از دلیل کاهش شاخص MDA پس از مصرف اسپیرولینا، می‌تواند ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد کمتر در زنجیرهٔ انتقال الکترون باشد که متناسب با افزایش مصرف اکسیژن است (۲۲). همچنین احتمالاً سازوکار تأثیرگذاری اسپیرولینا در کاهش MDA به این صورت است که به دلیل داشتن ترکیبات توکوفرول، پلی فنول ها، فیتواسترول خاصیت آنتی‌اکسیدان بالایی دارد و فواید سالمت توکوفرول به‌عنوان یک جزء فعال به‌خوبی شناخته‌شده است (۳۲). سازگاری حاصل از تمرینات صحیح و اصولی به نحو قابل قبولی بر کاهش شاخص‌های استرس اکسیداتیو موثر می‌باشد (۳۳). همچنین در طی سازگاری تمرینات با شدت بالا، می‌توان با استفاده از مکمل‌هایی با مواد ضد اکسایشی محلول در چربی مانند مکمل اسپیرولینا، تا حدودی از آسیب سلولی ناشی از فشار اکسایشی جلوگیری کرده و باعث بهبود در شاخص‌های استرس اکسیداتیو شد (۱۵). این موضوع با نتایج مطالعه حاضر مبنی بر پایین‌تر بودن شاخص استرس اکسیداتیو MDA افراد ورزشکار با تمرینات منظم کراس فیت همراه با مکمل یاری اسپیرولینا نسبت به افراد ورزشکار با تمرینات منظم کراس فیت بدون

مصرف مکمل اسپیرولینا همخوانی دارد (۳۴). به اعتقاد این محققین، ورزشکار بودن یا نبودن ملاک نیست. بلکه نوع سازگاری کسب شده در پی تمرینات قبلی است، که اهمیت دارد؛ چرا که برخی از ورزشکاران با وجود ظاهری سالم و قوی در اثر تمرینات زیاد دچار بیش تمرینی شده و منجر به وارد آمدن فشارهای اضافی به دستگاه آنتی‌اکسیدانی می‌شوند و به این ترتیب در برابر عوامل استرس‌زای ناشی از تمرین در مقایسه با افراد عادی آسیب‌پذیرتر می‌شوند. از سوی دیگر بی تمرینی و عدم استفاده از ریزمغذی و یا مکمل‌ها با خواص آنتی‌اکسیدانی نیز با سازوکارهای تقریباً مشابه همین نتایج را در پی دارد (۸،۳۰). ورزش منظم ممکن است اثرات مفیدی بر روی کل آنتی‌اکسیدان پلاسما بگذارد و نقش مهمی در محافظت از غشاها در برابر استرس اکسیداتیو داشته باشد (۱۰). ازجمله محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به حجم نمونه، نداشتن گروه کنترل، عدم اندازه‌گیری شاخص‌های آسیب عضلانی و رادیکال‌های آزاد اشاره کرد؛ لذا در تعمیم‌یافته‌های تحقیق حاضر باید احتیاط لازم را در نظر داشت. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود تمرینات کراسفیت همراه با مصرف مکمل اسپیرولینا در اندازه نمونه بزرگ‌تر و با کنترل شرایط روانی نیز مورد بررسی قرار گیرد.

بر مبنای نتایج حاضر می‌توان گفت که مصرف مکمل اسپیرولینا در ورزش‌های فزاینده سبب کاهش شاخص‌های اکسیدان و افزایش شاخص‌های استرس اکسیداتیو می‌شود؛ در نتیجه استفاده از این مکمل به ورزشکاران پیشنهاد می‌گردد تا بتوانند در جهت بهبود ریکاوری و جلوگیری از آسیب‌های اکسیدان از آن استفاده نمایند. همچنین، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شاخص پراکسیداسیون و اکسیداسیون، نیاز به انجام مطالعات بیشتر در این زمینه با استفاده از پروتکل‌های مختلف تمرینی، استفاده از دوزهای مختلف مکمل اسپیرولینا و مقایسه بین رشته‌های مختلف ورزشی احساس می‌شود. به نظر می‌رسد تمرینات کراسفیت به همراه مصرف مکمل اسپیرولینا می‌تواند موجب بهبود وضعیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش استرس اکسیداتیو شود.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه مازندران مورد بررسی و با شناسه IR.UMZ.REC.1401.097 مورد تائید قرار گرفت.

تشکر و قدردانی

محققین این پژوهش، از کلیه آزمودنی‌هایی که در این پژوهش شرکت نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند. از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه مازندران که در این تحقیق ما را همراهی نمودند، سپاسگزاریم.

تعارض منافع: در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع

[1] Thompson WR. Worldwide survey of fitness trends for 2015: what's driving the market. ACSM's Health & Fitness Journal. 2014 Nov 1;18(6):8-17.

[2] Bergeron MF, Nindl BC, Deuster PA, Baumgartner N, Kane SF, Kraemer WJ, Sexauer LR, Thompson WR, O'Connor FG. Consortium for Health and Military Performance and American College of Sports Medicine consensus paper on extreme conditioning programs in military personnel. Current sports medicine reports. 2011 Nov 1;10(6):383-9.

[3] da Costa TS, Louzada CT, Miyashita GK, da Silva PH, Sungaila HY, Lara PH, Pochini AD, Ejnisman B, Cohen M, Arliani GG. CrossFit®: Injury prevalence and main risk factors. Clinics. 2019 Nov 25;74.

[4] Kliszczewicz B, John QC, Daniel BL, Gretchen OD, Michael ER, Kyle TJ. Acute exercise and oxidative stress: CrossFit™ vs. treadmill bout. Journal of human kinetics. 2015 Oct 14;47(1):81-90.

[5] Powers SK, Deminice R, Ozdemir M, Yoshihara T, Bomkamp MP, Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe?. Journal of sport and health science. 2020 Sep 1;9(5):415-25.

[6] Pingitore A, Lima GP, Mastorci F, Quinones A, Iervasi G, Vassalle C. Exercise and oxidative stress: Potential effects of antioxidant dietary strategies in sports. Nutrition. 2015 Jul 1;31(7-8):916-22..

[7] Baker LB, Rollo I, Stein KW, Jeukendrup AE. Acute effects of carbohydrate supplementation on intermittent sports performance. Nutrients. 2015 Jul 14;7(7):5733-63.8.

[8] Amirsasan R, Khodaei O, Vakili J. Effect of High Intensity Interval Training (HIIT) and aerobic continuous training on lipid profile, physiological indicators and aerobic and anaerobic performance in sedentary male. Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology. 2017 Mar 21;4(1):28-36.(Persian)

[9] Murphy MP. How mitochondria produce reactive oxygen species. Biochemical journal. 2009 Jan 1;417(1):1-3.
[10] Fisher-Wellman K, Bloomer RJ. Acute exercise and oxidative stress: a 30 year history. Dynamic medicine. 2009 Dec;8(1):1-25.
[11] Tripathi P, Pandey S. L-arginine attenuates oxidative stress condition during cardiomyopathy.
[12] Soleimani S, TOFIGHI A, BABAEI S. Effect of six weeks aerobic training accompanied by dietary supplementation of spirulina on Oxidative stress index in obese inactive men followed by one session exhaustive exercise.(Persian)
[13] Deaton CM, Marlin DJ. Exercise-associated oxidative stress. Clinical Techniques in Equine Practice. 2003 Sep 1;2(3):278-91.
[14] Sandhu J, Dheera B, Shweta S. Efficacy of spirulina supplementation on isometric strength and isometric endurance of quadriceps in trained and untrained individuals–a comparative study. Ibnosina Journal of Medicine and Biomedical Sciences. 2010 Apr;2(02):79-86.
[15] Babaei M, Abdi A. A. Abbassi Daloii1, Javad Mehrabani, Effect of Spirulina Supplementation and Aerobic Training on Oxidative Stress in Overweight Elderly Men. Res Sport Sci Med Plants. 2021; 2 (5): 8-17.
[16] Lu HK, Hsieh CC, Hsu JJ, Yang YK, Chou HN. Preventive effects of Spirulina platensis on skeletal muscle damage under exercise-induced oxidative stress. European journal of applied physiology. 2006 Sep;98:220-6.
[17] Butcher SJ, Neyedly TJ, Horvey KJ, Benko CR. Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance?. Open access journal of sports medicine. 2015 Jul 31:241-7.
[18] Yüksel O, Gündüz B, Kayhan M. Effect of Crossfit Training on Jump and Strength. Journal of Education and Training Studies. 2019 Jan;7(1):121-4.
[19] Dexheimer JD, Schroeder ET, Sawyer BJ, Pettitt RW, Aguinaldo AL, Torrence WA. Physiological performance measures as indicators of crossfit® performance. Sports. 2019 Apr 22;7(4):93.
[20] Aliniya N, Elmieh A, Fadaei Chafy MR. Interaction effect of combined exercise and supplementation with portulaca oleracea on liver enzymes in obese postmenopausal women with non-alcoholic fatty liver disease. Complementary Medicine Journal. 2020 Jun 10;10(1):68-79.(Persian)
[21] Ribeiro AS, Schoenfeld BJ, Fleck SJ, Pina FL, Nascimento MA, Cyrino ES. Effects of traditional and pyramidal resistance training systems on muscular strength, muscle mass, and hormonal responses in older women: A randomized crossover trial. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2017 Jul 1;31(7):1888-96.
[22] Kumar P, Yadav B, Yadav S. Effect of zinc and selenium supplementation on antioxidative status of seminal plasma and testosterone, T4 and T3 level in goat blood serum. Journal of applied animal research. 2013 Dec 1;41(4):382-6.
[23] Ghorbanian B, Yousef S. The Effect of Incremental Interval Endurance Training with Portulaca Supplementation on the Antioxidant Biological Indices and Oxidative Stress in Non-active Girls. Journal of Sport Biosciences. 2019 Aug 23;11(2):131-46.(Persian)
[24] Karimiasl A, Ghasemikalateh F, Rahmani A, Norouzi HR. The Effect of High Intensity Interval Training and Endurance Training Along With Jujube Supplement Consumption on the State of Oxidative Stress and Antioxidant Capacities of Testicular Tissue of Immature Male Wistar Rats. Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology. 2023 Mar 21;10(1):67-82.(Persian)
[25] Oliveira MA, Fagundes RL, Moreira EA, Trindade EB, Carvalho TD. Relation between anthropometric indicators and risk factors for cardiovascular disease. Arquivos brasileiros de cardiologia. 2010;94:478-85.
[26] Liu H, Sun Y, Zhao J, Dong W, Yang G. Effect of zinc supplementation on semen quality, sperm antioxidant ability, and seminal and blood plasma mineral profiles in cashmere goats. Biological trace element research. 2020 Aug;196:438-45.
[27] de Dios Alché J. A concise appraisal of lipid oxidation and lipoxidation in higher plants. Redox biology. 2019 May 1;23:101136.
[28] Kawamura T, Muraoka I. Exercise-induced oxidative stress and the effects of antioxidant intake from a physiological viewpoint. Antioxidants. 2018 Sep 5;7(9):119.
[29] He F, Li J, Liu Z, Chuang CC, Yang W, Zuo L. Redox mechanism of reactive oxygen species in exercise. Frontiers in physiology. 2016 Nov 7;7:486.
[30] Shanmugam KR, Mallikarjuna K, Kesireddy N, Reddy KS. Neuroprotective effect of ginger on anti-oxidant enzymes in streptozotocin-induced diabetic rats. Food

[33] Dong J, Chen P, Wang R, Yu D, Zhang Y, Xiao W. NADPH oxidase: a target for the modulation of the excessive oxidase damage induced by overtraining in rat neutrophils. International journal of biological sciences. 2011;7(6):881.

[34] Antonioni A, Fantini C, Dimauro I, Caporossi D. Redox homeostasis in sport: do athletes really need antioxidant support?. Research in sports medicine. 2019 Apr 3;27(2):147-65.

and chemical toxicology. 2011 Apr 1;49(4):893-7.

[31] Rehman SU, Shah SA, Ali T, Chung JI, Kim MO. Anthocyanins reversed D-galactose-induced oxidative stress and neuroinflammation mediated cognitive impairment in adult rats. Molecular neurobiology. 2017 Jan;54:255-71.

[32] Solinas G, Becattini B. JNK at the crossroad of obesity, insulin resistance, and cell stress response. Molecular metabolism. 2017 Feb 1;6(2):174-84.