

علوم زیستی ورزشی - زمستان ۱۳۹۷
دوره ۱۰، شماره ۴، ص: ۴۱۹ - ۴۰۷
تاریخ دریافت: ۹۳ / ۰۹ / ۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۴ / ۱۱ / ۰۶

تأثیر سابقه تمرینات استقامتی در جلوگیری از اثرات مضر استرس اکسیداتیو یک جلسه فعالیت وامانده‌ساز در موش‌های صحرایی

سحر دانشور زواجری^۱ - پریسا پورنعمتی^{۲*} - نیکو خسروی^۳

۱.دکتری فیزیولوژی ورزشی دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۲.استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۳.استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه الزهراء(س)، تهران، ایران

چکیده

نوع فعالیت بدنی انجام‌گرفته تأثیر بسزایی در میزان آسیب اکسایشی و پاسخ دفاعی بدن دارد. فعالیت بدنی منظم می‌تواند به‌عنوان یک واکنش عمل کند و سبب تنظیم مثبت سیستم‌های ضد اکسایشی بدن شود. در این تحقیق ۴۰ موش صحرایی نر نژاد ویستار به‌طور تصادفی به دو گروه تمرینی و کنترل تقسیم شدند که برای گروه تمرینی هشت هفته تمرین استقامتی با شدت ۷۵-۶۰٪ حداکثر اکسیژن مصرفی و ۵ روز در هفته در نظر گرفته شد. پس از پایان هشت هفته گروه تمرینی و گروه کنترل هر یک به دو گروه تقسیم شدند که یک گروه از هر کدام، یک جلسه تمرین تا حد واماندگی را اجرا کردند. فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز (CAT) گلبول‌های قرمز و میزان مالون دی‌آلدهید (MDA) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام سرم اندازه‌گیری شد. اطلاعات به‌دست‌آمده از طریق تجزیه‌وتحلیل واریانس ANOVA و آزمون تعقیبی LSD با سطح معناداری ۰/۰۵ تجزیه‌وتحلیل شدند. یافته‌های پژوهش نشان داد که میزان MDA تنها در گروه تمرین وامانده‌ساز افزایش معنادار داشته است ($P=0/007$). فعالیت کاتالاز در گروه تمرین استقامتی افزایش معناداری را نشان داد ($P=0/001$). تفاوت معناداری در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام گروه تمرین استقامتی + یک جلسه تمرین وامانده‌ساز و گروه کنترل + یک جلسه تمرین وامانده‌ساز وجود داشت ($P=0/04$). می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تمرین وامانده‌ساز میزان آسیب اکسایشی را افزایش داده، اما تمرین استقامتی توانسته است آثار مضر ناشی از تمرین وامانده‌ساز و استرس ناگهانی را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی

استرس اکسیداتیو، تمرین استقامتی، تمرین وامانده‌ساز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام، کاتالاز.

مقدمه

آسیب اکسایشی یا استرس اکسایشی حالتی است که موازنه هموستازی بین توانایی اکسیدانتهی و آنتی اکسیدانتهی موجود در سیستم‌های بیولوژیکی مختل شود و عدم تعادل بین میزان تولید اکسیدانها و میزان حذف آنها توسط آنتی اکسیدانها به وجود می‌آید. گونه‌های اکسیژن فعال که مهم‌ترین رادیکال‌های آزاد بیولوژیک هستند، می‌توانند در بدن سبب آسیب به پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک شوند و در نتیجه به سلول در بخش‌های مختلف آسیب برسانند. رادیکال‌های آزاد، اتم‌ها یا مولکول‌هایی هستند که به دلیل وجود الکترون جفت‌نشده در ساختمان آنها بسیار واکنش‌پذیرند و آسیب‌های زیادی را به ماکرومولکول‌های بدن جانداران از جمله DNA، پروتئین‌ها، لیپیدها و کربوهیدرات‌ها وارد می‌سازند.

در بدن سیستم‌های خاصی برای مقابله با آسیب‌های حاصل از رادیکال‌های آزاد وجود دارد که به سیستم دفاع آنتی اکسیدانی معروف‌اند. زمانی که میزان تولید رادیکال‌های آزاد بیشتر از توان سیستم دفاع آنتی اکسیدانی باشد، رادیکال‌های آزاد به ترکیبات سلولی آسیب وارد می‌کنند. برخی از اجزای سیستم دفاعی آنتی اکسیدان نظیر آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، گلوکاتایون پراکسیداز، کاتالاز، گلوکاتایون احیا و اسید اوریک در داخل بدن ساخته می‌شوند، ولی برخی دیگر نظیر ویتامین E، ویتامین C و بتاکاروتن باید از طریق رژیم غذایی تأمین شود. مجموع آنتی اکسیدان‌های غیرآنزیمی بدن (اسید اوریک، ویتامین E، اسیداسکوربیک، گلوکاتایون احیا، بیلی‌روبین و بتاکاروتن) که در مجموع قابل اندازه‌گیری هستند، ظرفیت آنتی اکسیدانی تام نامیده می‌شود (۱).

طی فعالیت بدنی مصرف اکسیژن افزایش می‌یابد. فعالیت ورزشی شدید می‌تواند مصرف اکسیژن را تا ۱۰۰ برابر افزایش دهد، در نتیجه تولید رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد و این افزایش مصرف اکسیژن و شرایط ایجادشده به هنگام ورزش می‌تواند سبب ایجاد آسیب اکسایشی شود و برخی نشانگرهای آسیب اکسایشی چون MAD^1 که نشانگر آسیب به لیپیدهاست، افزایش یابد. تولید رادیکال‌های آزاد هنگام فعالیت ورزشی در بروز آسیب‌های عضلانی و ایجاد و گسترش التهاب بعد از فعالیت نقش دارند و ممکن است در افزایش آسیب سلولی مؤثر باشند (۲). افزایش پراکسیداسیون لیپید بعد از تمرینات استقامتی شدید و وامانده‌ساز گزارش شده است (۳). از سوی دیگر مشاهده شده که

1. Malondialdehyde

فعالیت بدنی منظم می‌تواند موجب تنظیم مثبت سیستم‌های ضد اکسایشی بدن شود (۴). تحقیقات نشان داده است که تمرینات استقامتی از ظهور برخی علائم تولید رادیکال آزاد پیشگیری می‌کند و در مقابل، آسیب ناشی از رادیکال‌های آزاد سبب بهبود دفاع آنتی‌اکسیدانی بافت از طریق افزایش فعالیت مواد آنتی‌اکسیدانی همچون گلوکاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌شود (۵)، اگرچه تمام تحقیقات از این موضوع حمایت نمی‌کنند و پاسخ بافت‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. به نظر می‌رسد تولید رادیکال‌های آزاد در حد مشخصی سیستم ضد اکسایشی را تحریک می‌کند که می‌تواند به‌عنوان یک سازوکار دفاعی سلول مورد توجه قرار گیرد. اگر تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر خیلی زیاد باشد، می‌تواند سبب تضعیف دستگاه ضد اکسایشی بدن شود. تمرینات شدید هوازی بیشتر از سایر تمرینات باعث استرس اکسیداتیو می‌شوند (۶). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که میزان تأثیرپذیری سیستم آنتی‌اکسیدانی بدن به‌ویژه TAC^۱ بستگی به نوع، مدت و شدت ورزش دارد (۸، ۷). کاستل و همکاران (۲۰۰۷) عدم تأثیر ۴۰ دقیقه دویدن شدید را بر TAC سرم گزارش کردند (۹). اما لی لاروگراییل و همکاران (۲۰۰۵) کاهش میزان TAC را در پاسخ به تمرینات فزاینده در افراد ورزشکار و غیرورزشکار عنوان کردند (۱۰). همچنین افزایش میزان TAC در پاسخ به یک جلسه تمرین کوتاه‌مدت هوازی مشاهده شده است (۶).

تحقیقات قبلی در مورد تأثیر تمرین استقامتی و یک جلسه تمرین وامانده‌ساز نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند، به‌طوری‌که برخی تحقیقات افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و بهبود در سیستم آنتی‌اکسیدانی را در پی فعالیت منظم استقامتی عنوان کرده‌اند (۱۱) و همچنین نشان داده‌اند که تمرین استقامتی می‌تواند اثرات سوء تمرین شدید را کاهش دهد (۱۲) و برخی عدم تأثیر آن را در جلوگیری از آسیب اکسایشی بیان کرده‌اند (۱۳، ۲).

نتایج تحقیق اوزتاسان و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که موش‌های تمرین‌کرده استقامتی آسیب اکسایشی کمتری را در خون در نتیجه یک جلسه تمرین وامانده‌ساز تجربه می‌کنند (۱۲). در سال ۲۰۰۸ نیز تاپسی و همکاران عنوان کردند که موش‌های تمرین‌کرده استقامتی پس از یک جلسه تمرین وامانده‌ساز آسیب اکسایشی کمتری را در کبد نشان می‌دهند (۱۴).

1. Total antioxidant capacity

نتایج تحقیق حاضر می‌تواند پاسخگوی این پرسش باشد که آیا یک دوره تمرین استقامتی می‌تواند تأثیرات مضر یک جلسه تمرین وامانده‌ساز را بپوشاند یا نه؟ و بدین ترتیب امکان برنامه‌ریزی بهتر برای مقابله با آثار تخریبی رادیکال‌های آزاد به‌وجود می‌آید.

روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق از نوع تجربی بود. تعداد ۴۰ موش نر نژاد ویستار دوماهه با میانگین وزن 154 ± 2 گرم که در آزمایشگاه حیوانات دانشگاه تربیت مدرس نگهداری می‌شدند و از غذای استاندارد آزمایشگاهی استفاده می‌کردند، در این تحقیق مطالعه شدند. در دوره تمرین در هر قفس دو حیوان نگهداری می‌شدند. پس از معاینه دامپزشک و تأیید سلامت موش‌های صحرایی به‌صورت تصادفی به دو گروه بیست‌تایی تمرین استقامتی و کنترل تقسیم شدند که هر یک از این دو گروه در پایان دوره تمرین استقامتی به دو زیرگروه ده‌تایی تقسیم شدند.

برنامه تمرین استقامتی و تمرین وامانده‌ساز

پروتکل تمرین برای گروه تمرین استقامتی بر اساس مطالعات انجام‌گرفته در تحقیقات گذشته، به مدت هشت هفته و پنج روز در هفته بود که پس از آشنا شدن موش‌ها با نوار گردان، از ۱۰ دقیقه با سرعت هشت متر در دقیقه شروع و با افزایش تدریجی در زمان و سرعت به ۳۰ متر در دقیقه با زمان ۹۰ دقیقه در هفته هشتم رسید که معادل ۷۵-۶۰٪ حداکثر اکسیژن مصرفی بود (۱۲). در این پژوهش در صورت نزدیک شدن موش‌ها به انتهای نوار گردان از زدن ضربه به شیشه نوار گردان و ایجاد صدا جهت حرکت موش‌ها به جلو استفاده شد. سه موش که نمی‌توانستند خوب بدونند، از مطالعه حذف شدند. در پایان دوره تمرینی نصف موش‌های تمرینی و نصف موش‌های کنترل به‌طور تصادفی برای تمرین وامانده‌ساز انتخاب شدند. برای گروه تمرین وامانده‌ساز بدون تمرین استقامتی قبل از انجام پروتکل تمرین پنج روز به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۶ متر در دقیقه فعالیت در نظر گرفته شد تا اطمینان حاصل شود که موش‌ها توانایی تحمل تمرین وامانده‌ساز را داشته باشند. پروتکل تمرین وامانده‌ساز شامل دویدن با سرعت ۲۰ متر در دقیقه با شیب صفر در ۱۰ دقیقه اول و افزایش تدریجی سرعت تا ۳۵ متر در دقیقه و ادامه تا زمان خستگی بود تا اینکه موش‌ها وامانده شدند و دیگر قادر به ادامه کار نبودند (۱۲).

خون‌گیری و اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی

در پایان هفته هشتم از نمونه‌ها خون‌گیری به عمل آمد. در مورد گروه تمرین استقامتی پس از گذشت ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین خون‌گیری صورت گرفت و دوگروهی که تمرین وامانده‌ساز داشتند، پس از تمرین وامانده‌ساز از آنها خون‌گیری به عمل آمد. عملیات خون‌گیری بدین‌صورت بود که ابتدا حیوانات در دستگاه دسیکاتور که محتوی اتر بود، قرار گرفتند و پس از حدود پنج دقیقه بی‌هوش شدند. آنگاه با باز کردن قفسه سینه، خون‌گیری به‌طور مستقیم از بطن چپ حیوانات انجام گرفت. نمونه‌های خونی در لوله‌های حاوی EDTA و لوله‌های ساده که از قبل نشانه‌گذاری شده بودند، قرار گرفتند.

فعالیت کاتالاز اریتروسیت‌ها از طریق اندازه‌گیری سرعت تجزیه سوپسترای H_2O_2 و در طول موج 240 nm به‌وسیله اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. MDA با اندازه‌گیری TBARS و از طریق اسپکتروفتومتری سنجیده شد. به‌منظور تعیین TAC از روش FRAP استفاده شد که توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۳ نانومتر اندازه‌گیری شد (۱۵).

روش‌های آماری

ابتدا طبیعی بودن پراکندگی داده‌ها با استفاده از آزمون آماری کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در چهار گروه و مقایسه میانگین‌ها از روش تحلیل واریانس یکطرفه (ANOVA) و آزمون تعقیبی LSD استفاده شد.

نتایج

جدول ۱ شاخص‌های بیوشیمیایی چهار گروه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. شاخص‌های بیوشیمیایی چهار گروه

| انحراف استاندارد | میانگین | حداکثر | حداقل | شاخص آماری | |
|------------------|---------|--------|-------|---|-----------------|
| | | | | گروه | متغیر |
| ۰/۱۴۵۷ | ۱/۵۱۲۵ | ۱/۷۰ | ۱/۳۰ | گروه تمرین استقامتی | MDA (nmol/ml) |
| ۰/۲۵۰۰ | ۱/۳۷۵۰ | ۱/۷۰ | ۱/۱۰ | گروه تمرین استقامتی+یک جلسه تمرین وامانده‌ساز | |
| ۰/۱۲۵۸ | ۱/۷۲۵۰ | ۱/۹۰ | ۱/۶۰ | گروه یک جلسه تمرین وامانده‌ساز | |
| ۰/۲۳۸۶ | ۱/۳۶۲۵ | ۱/۷۰ | ۰/۹۰ | گروه بدون تمرین | |
| ۱۱/۷۴ | ۸۲/۱۲ | ۹۴ | ۵۷ | گروه تمرین استقامتی | کاتالاز (KG/Hg) |
| ۷/۱۸ | ۸۲/۷۵ | ۹۲ | ۷۵ | گروه تمرین استقامتی+یک جلسه تمرین وامانده‌ساز | |
| ۳/۳۰ | ۶۶/۲۵ | ۷۰ | ۶۳ | گروه یک جلسه تمرین وامانده‌ساز | |
| ۹/۸۴ | ۶۳/۸۷ | ۷۸ | ۴۷ | گروه بدون تمرین | |
| ۰/۱۲۵۶ | ۱/۱۸ | ۱/۳ | ۱/۰۲ | گروه تمرین استقامتی | TAC (mmol/l) |
| ۰/۲۳ | ۱/۱۶ | ۱/۷۰ | ۰/۵ | گروه تمرین استقامتی+یک جلسه تمرین وامانده‌ساز | |
| ۰/۱۰۲۲ | ۱/۲۴ | ۱/۹۰ | ۰/۶۰ | گروه یک جلسه تمرین وامانده‌ساز | |
| ۰/۲۲۳۸ | ۱/۰۲ | ۱/۸ | ۰/۰۴ | گروه بدون تمرین | |

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه در چهار گروه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج حاصل از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه در چهار گروه

| متغیر | منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F محاسبه شده | مقدار P |
|--------------------|--------------|-----------------|---------------|-------------------|-----------------|---------|
| کاتالاز (Kg/Hg) | بین گروه‌ها | ۱۸۸۸/۷۵۰ | ۳ | ۶۲۹/۵۸۳ | ۶/۸۷۶ | *.۰/۰۰۲ |
| | درون گروه‌ها | ۱۸۳۱/۲۵۰ | ۲۰ | ۹۱/۵۶۳ | | |
| | مجموع | ۳۷۲۰/۰۰۰ | ۲۳ | | | |
| MDA (nmol/ml) | بین گروه‌ها | ۰/۴۰۲ | ۳ | ۰/۱۳۴ | ۳/۴۲۹ | *.۰/۰۳۷ |
| | درون گروه‌ها | ۰/۷۸۳ | ۲۰ | ۰/۰۳۹ | | |
| | مجموع | ۱/۱۸۵ | ۲۳ | | | |
| TAC (mmol/l) | بین گروه‌ها | ۰/۵۰۲ | ۳ | ۰/۲۳۴ | ۳/۸۳۴ | *.۰/۰۴۷ |
| | درون گروه‌ها | ۰/۸۴۵ | ۲۰ | ۰/۱۳۵ | | |
| | مجموع | ۱/۳۴۷ | ۲۳ | | | |

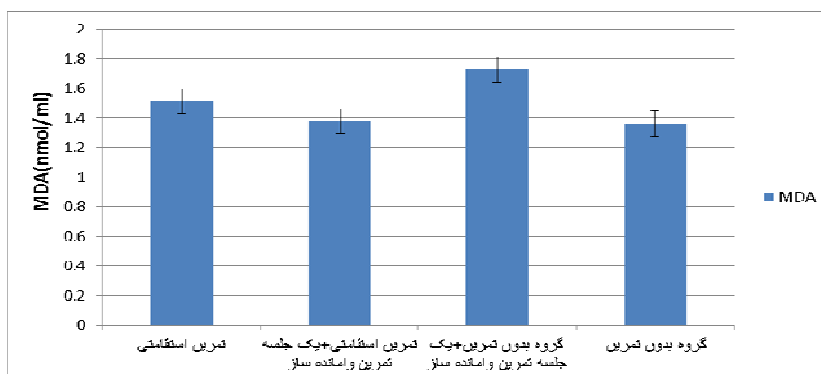
- تفاوت معناداری در فعالیت کاتالاز دو گروه تمرین استقامتی و گروه کنترل مشاهده شد (P=۰/۰۰۱).

- تفاوت معناداری در میزان فعالیت کاتالاز دو گروه تمرین استقامتی + یک جلسه تمرین وامانده‌ساز و گروه بدون تمرین با یک جلسه تمرین وامانده‌ساز مشاهده شد (P=۰/۰۲۴).

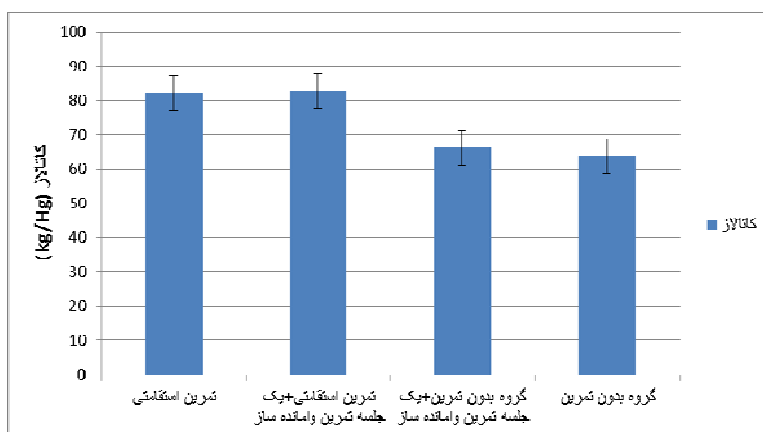
- تفاوت معناداری در میزان MDA دو گروه تمرین استقامتی و تمرین استقامتی + یک جلسه تمرین وامانده‌ساز مشاهده نشد (P=۰/۲۷۰).

- بین دو گروه تمرین وامانده‌ساز و گروه کنترل تفاوت معناداری در میزان آسیب اکسایشی یا نشانگر MDA مشاهده شد (P= ۰/۰۰۷).

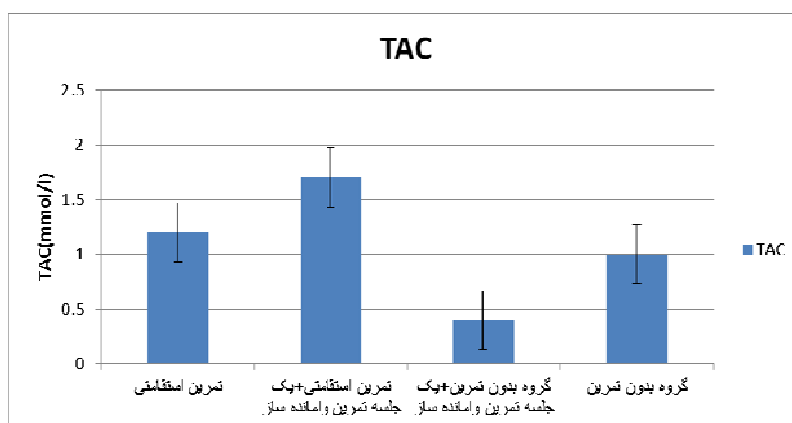
- تفاوت معناداری در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام گروه تمرین استقامتی + یک جلسه تمرین وامانده‌ساز و گروه بدون تمرین + یک جلسه تمرین وامانده‌ساز وجود داشت (P=۰/۰۴).



شکل ۱. نمودار مقایسه میانگین‌های MDA (بر حسب nmol/ml) در چهار گروه تحقیق



شکل ۲. نمودار مقایسه میانگین‌های فعالیت آنزیم کاتالاز (بر حسب Kg/Hg) در چهار گروه تحقیق



شکل ۳. نمودار مقایسه میانگین‌های ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام TAC (بر حسب mmol/l) در چهار گروه تحقیق

بحث

در این پژوهش مالون دی‌آلدئید که از مهم‌ترین نشانگرهای آسیب اکسایشی به چربی‌هاست، بررسی شد. پس از پایان یک دوره تمرین استقامتی تفاوت معناداری در میزان MDA بین گروه تمرین استقامتی و گروه کنترل مشاهده شد که این یافته همسو با نتایج تحقیق اوزتاسان و همکاران (۲۰۰۴) و سن تورک و همکاران (۲۰۰۱) است. مصطفی‌گول و همکاران (۲۰۰۲) پس از یک دوره تمرین استقامتی هشت‌هفته‌ای کاهش^۱ TBARS را در برخی بافت‌های موش‌های نر دیابتی گزارش کرده‌اند (۱۶)، بنابراین برنامه تمرینی استفاده‌شده در این پژوهش شدت مناسبی داشته است که علاوه بر افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میزان آسیب اکسایشی را تغییر نداده است. همان‌گونه که نتایج تحقیق نشان می‌دهد، میزان MDA در نتیجه تمرین وامانده‌ساز افزایش یافته است. اوزتاسان و همکاران (۲۰۰۴) که پروتکل تمرینی مشابهی با تحقیق حاضر داشتند نیز افزایش در میزان MDA را در اریتروسیت‌ها مشاهده کردند (۱۲). هرچند نتایج پژوهش‌ها گاهی ضدونقیض است، اغلب مطالعات نشان داده‌اند که یک جلسه تمرین وامانده‌ساز یا فعالیت ورزشی شدید سبب پراکسیداسیون لیپید در بافت‌های مختلف می‌شود. اکسیژن در تمرین وامانده‌ساز بسیار افزایش می‌یابد که این افزایش مصرف اکسیژن می‌تواند سبب افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال شود و این افزایش می‌تواند بر سیستم آنتی‌اکسیدانی غلبه کند و به افزایش آسیب بافتی بینجامد، در واقع می‌توان گفت که بین آسیب وارده به لیپیدها و سیستم آنتی‌اکسیدانی تعادل به‌وجود نیامده و میزان MDA پلاسما در این گروه تمرینی افزایش یافته است.

در این پژوهش مشاهده شد که سطح MDA پس از تمرین وامانده‌ساز در گروه تمرین استقامتی، بدون تغییر نسبت به حالت استراحت ماند که این یافته همسو با یافته اوزتاسان است، اما سن تورک و همکاران (۲۰۰۱) سطح افزایش‌یافته TBARS را که نشانگر آسیب به لیپیدهاست، در گروه تمرین استقامتی پس از تمرین وامانده‌ساز مشاهده کردند. یک دلیل احتمالی برای این نتیجه را می‌توان زمان کوتاه‌تر دوره تمرین استقامتی پژوهش سنتورک که چهار هفته بود، ذکر کرد (۱۳). شاید این دوره تمرینی نتوانسته سازگاری‌های لازم برای جلوگیری از آسیب اکسایشی را فراهم آورد. کرتزکرامر و همکاران اثر ورزش وامانده‌ساز را در دونده‌های خوب تمرین‌کرده بررسی و کاهش TBARS پلاسما را پس از این فعالیت در آنها مشاهده کردند.

1 . Thiobarbituric acid reactive substances

همان‌گونه‌که در این تحقیق و بسیاری از تحقیقات دیگر مشاهده شده، تمرین حاد و وامانده‌ساز سبب آسیب اکسایشی می‌شود، اما تمرین استقامتی می‌تواند با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و فعال کردن سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی اثر حفاظتی در مقابل این آسیب داشته باشد. کاتالاز از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است که در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال نقش دفاعی دارد. این آنزیم به‌عنوان یکی از آنزیم‌های ضد اکسایشی در از بین بردن پراکسید هیدروژن و تبدیل آن به آب و اکسیژن نقش دارد که سلول‌ها را از تأثیرات مضر و مخرب آسیب اکسایشی حفظ می‌کند. بررسی‌های مختلف نشان داده که فعالیت کاتالاز می‌تواند تحت تأثیر فعالیت بدنی و شدت آن قرار گیرد. براساس یافته‌های این پژوهش مشاهده شد که میانگین فعالیت کاتالاز در گروه تمرین استقامتی نسبت به میانگین آن در گروه کنترل افزایش داشته و این افزایش در فعالیت کاتالاز اریتروسیت‌های خون معنادار بوده است. این افزایش با نتایج برخی تحقیقات قبلی هماهنگی دارد (۱۱). اما میازاکی و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده کردند که یک دوره تمرین استقامتی تأثیری بر فعالیت کاتالاز نداشته است، اگرچه در سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی چون سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز افزایش فعالیت را پس از یک دوره تمرین استقامتی مشاهده کردند (۲). نتیجه این پژوهش مشخص می‌سازد که فعالیت کاتالاز تحت تأثیر تمرین استقامتی قرار می‌گیرد و افزایش می‌یابد و این افزایش فعالیت سازگاری بسیار مفیدی است که اثرات حفاظتی در مقابل افزایش تولید رادیکال‌های آزاد دارد. تمرین منظم استقامتی سبب استرس اکسایشی ضعیف و دائمی شده که بر سیستم آنتی‌اکسیدانی تأثیر گذاشته و موجب فراتنظیمی این سیستم شده است، این فعالیت منظم را می‌توان به واکنش ویژه‌ای تشبیه کرد که موجب تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدانی شده است. مکانیسم افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ناشناخته است، اما یک مکانیسم احتمالی برای این افزایش فعالیت می‌تواند افزایش میزان آدنوزین در نتیجه مصرف ATP باشد که به‌واسطه اثرات تنظیم‌کنندگی ممکن است موجب ایجاد سازگاری شود (۱۱). سازوکار احتمالی دیگر برای افزایش فعالیت کاتالاز تنظیم ژنی است، اگرچه در این زمینه اطلاعات بسیار محدودی وجود دارد. در پژوهشی مشاهده شد که افزودن پراکسید هیدروژن به سلول سبب افزایش mRNA کاتالاز در سلول می‌شود (۱۱). بنابراین چنین افزایشی در فعالیت یک آنزیم آنتی‌اکسیدانی ممکن است ناشی از تنظیم ژنی باشد.

یک جلسه تمرین وامانده‌ساز در این تحقیق تغییر معناداری در فعالیت کاتالاز به‌وجود نیاورده است که این یافته همسو با نتایج تحقیق میازاکی و همکاران (۲۰۰۱) است. تحقیق سومانی و همکاران

کاهش فعالیت کاتالاز را پس از تمرین وامانده‌ساز نشان داد که البته این کاهش نسبت به گروه کنترل معنادار نبود. پژوهشگران سطح افزایش‌یافته کاتالاز را نشان‌دهنده سازوکار دفاعی برای مقابله با آثار مضر H_2O_2 ذکر کرده‌اند. چنین تفاوت‌هایی در نتیجه را می‌توان به روش‌های مختلف تمرینی و نمونه‌های متفاوت و همچنین بافت‌های مختلف مورد بررسی نسبت داد.

همان‌گونه که در نتایج عنوان شد، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام بین دو گروه تمرین استقامتی + یک جلسه تمرین وامانده‌ساز و گروه کنترل + یک جلسه تمرین وامانده‌ساز تفاوت معناداری داشت. این نتیجه بیانگر تأثیرات متفاوت تمرین وامانده‌ساز در نمونه‌های با آمادگی‌های مختلف است. به‌عبارتی در نمونه‌های ورزیده استقامتی این استرس کوتاه‌مدت سبب افزایش در سطح آنتی‌اکسیدان‌های بدن شده است، در صورتی که در نمونه‌های غیرورزیده کاهش TAC مشاهده شده است. به‌نظر می‌رسد که استرس کوتاه‌مدت تمرینی می‌تواند در نمونه‌های غیرورزیده موجب افزایش استرس اکسیداتیو شود. افزایش معنادار MDA در این گروه نشان‌دهنده این موضوع است. نتایج متضاد پژوهش‌های مختلف در این زمینه نیز می‌تواند در نتیجه تفاوت در سطح آمادگی نمونه‌ها باشد. برخی تحقیقات عنوان کرده‌اند که TAC در نتیجه تمرین شدید کاهش می‌یابد (۱۰). همچنین عدم تغییر میزان TAC نیز با تمرینات هوازی شدید گزارش شده است (۹). در تحقیقی در سال ۱۳۸۶ که TAC را در اسکی‌بازان آلپاین مرد در پی شش هفته تمرین هوازی شدید بررسی کرد، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام را در آنها گزارش کرد (۱۷). در مورد سابقه تمرین استقامتی بر اثرات تمرین وامانده‌ساز تحقیقات اندکی انجام گرفته است، اما در پژوهشی عنوان شد که موش‌های تمرین‌کرده استقامتی آسیب اکسایشی کمتری را در خون در نتیجه یک جلسه تمرین وامانده‌ساز تجربه می‌کنند و سیستم آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری نسبت به موش‌های تمرین‌نکرده دارند (۱۲). این بهبود در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در بافت‌های مختلف دیده شده است. چنانکه در سال ۲۰۰۸ نیز نتایج پژوهشی نشان داد که در پی یک دوره تمرین استقامتی آسیب اکسایشی ناشی از یک جلسه تمرین وامانده‌ساز در هیپاتوسیت‌ها کمتر است (۱۴).

در مجموع نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمرین استقامتی هشت‌هفته‌ای، پنج روز در هفته، سبب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی شده و فعالیت کاتالاز را تا حد چشمگیری افزایش داده است. همچنین میزان آسیب اکسایشی در پی تمرین استقامتی افزایش نداشته که نشان‌دهنده مناسب بودن شدت پروتکل تمرینی استفاده‌شده در این پژوهش است؛ زیرا تمرین مناسب بدنی نباید میزان آسیب اکسایشی را افزایش دهد. در این پژوهش مشاهده شد که اجرای یک جلسه تمرین وامانده‌ساز میزان

آسیب اکسایشی را افزایش می‌دهد و نتیجه‌ای است که باید مورد توجه افرادی که به ورزش‌های ناگهانی و سنگین می‌پردازند، قرار گیرد، اگرچه تمرین استقامتی توانسته آثار مخرب تمرین وامانده‌ساز و میزان آسیب اکسایشی ناشی از یک جلسه تمرین وامانده‌ساز را کاهش دهد. در واقع تمرین استقامتی با تقویت و فراتنظیمی سیستم آنتی‌اکسیدانی تأثیرات مضر ناشی از استرس اکسایشی ناگهانی را کاهش داده است.

منابع و مآخذ

1. Honarmand M, Nakhaei A, Shad M. Comparison of Total Antioxidant Capacity of Serum in Type 2 Diabetic Patients and Healthy Individuals. *JSSU*. 2014;21(6):742-50.
2. Miyazaki H, Ohishi S, Ookawara T, Kizaki T, Toshinai K, Ha S, et al. Strenuous endurance training in humans reduces oxidative stress following exhausting exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2001;84(1-2):1-6.
3. de Castro M, Calvacanti, Neto F, Lima L, da Silva F, de Oliveira R, et al. Production of free radicals and catalase activity during acute exercise training in young men. *Biol Sport*. 2009;26:113-8.
4. Revan s, Erol A. Effects of endurance training on exhaustive exercise induced oxidative stress markers. *African journal of pharmacy and pharmacology*. 2011;5(3):437-41.
5. Modir M, Daryanoosh F, Tanideh N, Mohamadi M, Firouzmand H. The effects of short and middle times aerobic exercise with high intensities on ingredients antioxidant in female Sprague Dawley rats. *Medical Journal of Mashhad University of Medical* 2014;57(3):587-95.
6. Afzalpour M, M S, A Z, M J. Comparison of the effects of an acute resistance and aerobic exercise session on the antioxidant defense system and lipid peroxidation of healthy young men. *Journal of Sport in Biomotor Sciences*. 2012;6(2):39-50.
7. Margaritis I, Palazzetti S, Rousseau A, Richard M, A F. A antioxidant supplementation and tapering exercise improve exercise- induced antioxidant response. *J Am Coll Nutr*. 2003;22(2):147-56.
8. Show Y. Free radical scavenging capacity and antioxidant enzyme activity in deerberry (*vacciniumstamineum*l). *J Agricultural Food Chemistry*. 2006;58:233-41.
9. Castell L, Gough L, Johnston M, Armstrong K, J K, R G, editors. Antioxidant capacity of serum, saliva and urine before and after acute exercise: A pro-oxidant response. 12th Annual congress of the ECSS; 2007; Finland.
10. Leelarugrayubl N, Sutabhaha T, Pothongsunun P, Chanarat N. Exhaustive Exercise test and oxidative stress response in athletic and sedentary subjects. *CMU Journal*. 2005;4(2):182-5.

11. Somani S, Frank S, P R. Response of antioxidant system to acute and Trained exercise in rat heart subcellular fractions. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. 1995;51(4):627-34.
12. Oztasan N. Endurance training attenuates exercise – induced oxidative stress in erythrocytes in rat. *Eur JApplPhysiol*. 2004;91:622-7.
13. Sentürk U, Gündüz F, Kuru O, Aktekin M, Kipmen D, Yalçın O, et al. Exercise-induced oxidative stress affects erythrocytes in sedentary rats but not exercise-trained rats. *J Appl Physiol (1985)*. 2001;91(5):1999-2004
14. Taysi s, Oztasan n, Efe H, Polat M, Gumustekin K, Siktar E, et al. Endurance training attenuates the oxidative stress due to acute exhaustive exercise in rat liver. *Acta Physiol Hung*. 2008;95(4):337-47.
15. Ferrari G, Ferrari c. Exercise modulation of total antioxidant capacity (TAC): towards a molecular signature of healthy aging. *Frontiers in Life Science*. 2012;5(3):81-90.
16. Gul M, Laaksonen D, Atalay M, Vider L, Hänninen O. Effects of endurance training on tissue glutathione homeostasis and lipid peroxidation in streptozotocin-induced diabetic rats. *Scand J Med Sci Sports*. 2002;12(3):163-70.
17. Shemshaki A, Ghanbari Niaki A, Rajabi H, Hedayati M, Salami F. Intense Alpine Skiing Exercise on Anti Oxidant Status of Male Skiers. Shaheed Beheshti University of Medical Sciences & Health Services Endocrine & Metabolism Research Center. 1386;9(3):291-7.