

Original Article



The Effect of the Order of Combined Interval and Endurance Swimming Training on Inflammatory and Antioxidant Serum Markers in Aged Rats

Ali Moradi¹ , Hesam Parsa^{2*} , Narges Torkzaban³ , Hamidreza Choobdari⁴ 

¹ MSc. Student in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

² Assistant Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

³ MSc. Student in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

⁴ Ph.D. in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Article history:

Received: February 07, 2026

Revised: June 22, 2026

Accepted: June 28, 2026

ePublished: July 16, 2026



***Corresponding author:** Hesam Parsa,
Department of Exercise Physiology,
Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina
University, Hamedan, Iran

E-mail: h.parsa@basu.ac.ir

Abstract

Background and Aim: Given the importance of systemic modulation of inflammation and oxidative stress in aging, this study investigated the effect of the order of combined swimming exercises on the blood levels of inflammatory and antioxidant markers in aged rats.

Materials and Methods: In this study, 15 aged male Wistar rats (18-20 months old) were randomly divided into three groups: control (CONT), combined interval-endurance exercise (EX1), and combined endurance-interval exercise (EX2). Both training protocols were performed for 10 weeks (5 sessions per week) in an aquatic environment. Subsequently, 48 hours after the last training session, blood samples were collected, and protein levels of inflammatory and antioxidant markers were measured by ELISA. Data normality was checked using the Shapiro-Wilk test, and group means were compared using one-way analysis of variance, followed by Tukey's post hoc test. A level of $P < 0.05$ was considered statistically significant.

Results: The inflammatory marker IL-1 β showed a significant decrease in both training groups, compared to the control group ($P < 0.05$). In the case of the anti-inflammatory cytokine IL-10, both groups had a significant increase, compared to the control group ($P < 0.05$). Analysis of the antioxidant enzyme SOD activity also showed a significant increase in both training groups, compared to the control group ($P < 0.05$).

Conclusion: In general, combined swimming training, regardless of the order, reduced inflammation and increased systemic antioxidant capacity; however, EX1 showed a greater effect on blood inflammatory and antioxidant indices, compared to EX2. These findings emphasize the importance of the order of combined training in training planning for the elderly population.

Keywords: Aged Rats, Concurrent Training, Inflammation, Oxidative Stress, Swimming

Please cite this article as follows: Moradi A, Parsa H, Torkzaban N, Choobdari H. The Effect of the Order of Combined Interval and Endurance Swimming Training on Inflammatory and Antioxidant Serum Markers in Aged Rats. SJKUMS. 2026; 31(2):142-149. DOI:10.22034/31.2.142.

مقاله پژوهشی

تأثیر ترتیب اجرای تمرینات ترکیبی تناوبی و استقامتی شنا بر شاخص‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی سرم رت‌های سالمند

علی مرادی^۱، حسام پارسا^{۲*}، نرگس ترک‌زبان^۳، حمیدرضا چوبداری^۴

۱. دانشجوی ارشد فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. استادیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. دانشجوی ارشد فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۴. دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

تاریخچه مقاله:

زمینه و هدف: با توجه به اهمیت تعدیل سیستمیک التهاب و استرس اکسیداتیو در دوران سالمندی، این مطالعه به بررسی تأثیر ترتیب اجرای تمرینات ترکیبی شنا در سطوح خونی شاخص‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی در رت‌های سالمند پرداخته است.

دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

ویرایش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۷

انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۲۵

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، ۱۵ سر رت نر مسن نژاد ویستار (۱۸ تا ۲۰ ماهه) به صورت تصادفی به سه گروه تقسیم شدند: کنترل (CONT)، تمرین ترکیبی اینتروال-استقامتی (EX1) و تمرین ترکیبی استقامتی-اینتروال (EX2). هر دو پروتکل تمرینی به مدت ده هفته (پنج جلسه در هفته) و در محیط آبی اجرا شدند. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، خون‌گیری از نمونه‌ها انجام شد و سطوح پروتئینی شاخص‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش الایزا اندازه‌گیری شد. نرمال‌بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک و مقایسه میانگین گروه‌ها با آنالیز واریانس یک‌طرفه و در ادامه، آزمون تعقیبی توکی انجام شد. سطح معنی‌داری ($p < 0.05$) در نظر گرفته شد.

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی کردستان محفوظ است.

* نویسنده مسئول: حسام پارسا، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی، همدان، ایران

ایمیل: h.parsa@basu.ac.ir

یافته‌ها: شاخص التهابی IL-1 β در هر دو گروه تمرینی کاهش معنی‌داری را در مقایسه با گروه کنترل نشان داد ($p < 0.05$). درخصوص سیتوکاین ضدالتهابی IL-10، هر دو گروه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل، افزایش معنی‌داری داشتند ($p < 0.05$). آنالیز فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی SOD نیز در هر دو گروه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل، افزایش معنی‌داری را نشان دادند ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، تمرین ترکیبی شنا، بدون در نظر گرفتن ترتیب، باعث کاهش التهاب و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سیستمیک شد، اما تمرین (EX1) در مقایسه با تمرین (EX2)، تأثیرگذاری بیشتری در شاخص‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی خون نشان داد. این یافته‌ها بر اهمیت ترتیب اجرای تمرینات ترکیبی در برنامه‌ریزی تمرینی برای جمعیت سالمند تأکید می‌کند.

واژگان کلیدی: تمرین هم‌زمان (ترکیبی)، رت‌های سالمند، شنا، استرس اکسیداتیو، التهاب

استناد: مرادی، علی؛ پارسا، حسام؛ ترک‌زبان، نرگس؛ چوبداری، حمیدرضا. تأثیر ترتیب اجرای تمرینات ترکیبی تناوبی و استقامتی شنا بر شاخص‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی سرم رت‌های سالمند. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، خرداد و تیر ۱۴۰۵، ۳۱(۲): ۱۴۲-۱۴۹.

مقدمه

شناخته می‌شود و می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های عفونی و التهابی را افزایش دهد [۲]. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که افزایش سطح سیتوکاین‌های پیش‌التهابی مانند IL-1 β در خون افراد سالمند، با پیشرفت بیماری‌های مرتبط با افزایش سن مانند سارکوپنیا (Sarcopenia) ارتباط مستقیم دارد [۳]. سارکوپنیا،

افزایش سن با تغییرات فیزیولوژیک متعددی همراه است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به افزایش سطح التهاب سیستمیک (Systemic inflammation) و کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد [۱]. افزایش سن با کاهش عملکرد سیستم ایمنی همراه است. این پدیده به‌عنوان ایمنوسنس (Immunosenescence)

به عنوان یکی از مهم ترین پیامدهای افزایش سن، با ازدست دادن توده و قدرت عضلانی همراه است و با افزایش سطح التهاب سیستمیک ارتباط مستقیم دارد [۴]. از سوی دیگر، کاهش سطح سیتوکاین های ضدالتهابی مانند IL-10 و کاهش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD) نیز از ویژگی های بارز سالمندی محسوب می شوند [۵].

تمرینات ورزشی به عنوان مداخله غیردارویی مؤثر برای تعدیل التهاب و استرس اکسیداتیو در دوران سالمندی شناخته شده اند [۶]. ورزش منظم به افزایش سطح سیتوکاین های ضدالتهابی مانند IL-10، کاهش سیتوکاین های پیش التهابی مانند IL-1 β و افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، که نقش مهمی در کاهش آسیب های ناشی از استرس اکسیداتیو در سالمندان دارد، منجر می شود. این موضوع به بهبود سلامت عمومی سالمندان کمک می کند [۴،۵].

در این میان، تمرینات ترکیبی (Concurrent training)، که ترکیبی از تمرینات مقاومتی و استقامتی هستند، توجه محققان را به خود جلب کرده اند. تمرینات ترکیبی، به دلیل تأثیرات هم افزایی، گزینه ای مؤثر برای بهبود سلامت سالمندان محسوب می شوند [۷]. تمرینات ترکیبی با افزایش هم زمان قدرت عضلانی و تناسب قلبی - عروقی، به طور مؤثری از پیشرفت سارکوپنی و کاهش عملکرد فیزیکی در سالمندان جلوگیری می کند [۶]. مطالعات نشان می دهند که ترتیب اجرای تمرینات (اینتروال - استقامتی در مقابل استقامتی - اینتروال) می تواند تأثیرات متفاوتی در سازگاری های مولکولی مانند فعال سازی مسیرهای AMPK/SIRT1 و Nrf2 داشته باشد [۸].

تمرین در آب به عنوان یک جزء ضروری، با ایجاد بی وزنی نسبی، استرس مکانیکی وارده بر مفاصل رت های مسن را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. این موضوع امکان اجرای حجم و شدت بالاتر تمرین را بدون خطر آسیب های اسکلتی - عضلانی فراهم می کند.

علاوه بر این، فشار هیدرواستاتیک آب و افزایش اتلاف حرارت سبب بهبود بازگشت ویریدی و توزیع خون می شود که می تواند پاسخ های التهابی و استرس اکسیداتیو را به شکل متفاوتی تحت تأثیر قرار دهد و سبب دفع بهتر متابولیت های التهابی و توزیع کارآمدتر میوکاین های مفید مانند IL-10 در سراسر بدن شود. این موضوع حتی گزینه ای ایدئال برای بهبود عملکرد فیزیکی و کاهش درد در سالمندان محسوب است [۹،۱۰].

باوجود شواهد موجود درباره آثار تمرینات ترکیبی و تمرین در خشکی، اطلاعات محدودی درباره تأثیر ترتیب اجرای تمرینات تناوبی و استقامتی شنا در شاخص های التهابی و آنتی اکسیدانی در سالمندی وجود دارد. همچنین، بیشتر مطالعات پیشین بر پاسخ های عملکردی یا بافتی متمرکز بوده اند و بررسی هم زمان

شاخص های سرمی التهابی و آنتی اکسیدانی کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۱۱،۱۲]. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر ترتیب اجرای تمرینات ترکیبی تناوبی و استقامتی شنا در شاخص های التهابی و آنتی اکسیدانی سرم رت های سالمند انجام شد.

روش کار

این پژوهش به صورت تجربی روی ۱۵ رت مسن نژاد ویستار انجام شد. حیوانات به طور تصادفی در سه گروه کنترل (بدون تمرین)، گروه تمرین ترکیبی ((اینتروال - استقامتی) (EX1) و گروه تمرین ترکیبی با تقدم استقامتی ((استقامتی - اینتروال) (EX2)) قرار گرفتند. رت های نر سالمند (۱۸ تا ۲۰ ماهه) با وزن اولیه ۳۸۰ تا ۴۲۰ گرم در شرایط استاندارد آزمایشگاهی شامل دمای 22 ± 2 درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی 55 ± 5 درصد و چرخه نوری دوازده ساعت روشنایی و دوازده ساعت تاریکی نگهداری شدند؛ به طوری که دوره روشنایی از ساعت ۰۸:۰۰ تا ۲۰:۰۰ و دوره تاریکی از ساعت ۲۰:۰۰ تا ۰۸:۰۰ برقرار بود. تمامی جلسات تمرینی نیز در دوره روشنایی و در فاصله زمانی ۱۵:۰۰ تا ۱۸:۰۰ انجام شد. همگنی اولیه وزن رت ها بین گروه ها با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه بررسی و تأیید شد. حجم نمونه ($n=5$) در هر گروه) براساس مطالعات پیشین مشابه در زمینه تمرینات ورزشی در مدل های حیوانی سالمند و با در نظر گرفتن محدودیت های اخلاقی و اجرایی تعیین شد [۱۳].

پروتکل تمرینی براساس طرح نخی و همکاران (۲۰۱۹) طراحی و برای رت های مسن تعدیل شد [۱۴]. در ابتدا، ۵ رت بصورت تصادفی به عنوان گروه کنترل جدا شدند و ۱۰ رت دیگر به مدت یک هفته با شنا در آب ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتی گراد بدون بار اضافی و با زمان های ۱۰ تا ۲۰ دقیقه در یک استخر پلی اتیلنی با ظرفیت ۴۰۰ لیتری سازگار شدند و دمای آب در طول تمامی جلسات تمرین با استفاده از دماسنج جیوه ای ساده و رایج در آزمایشگاه ها، به طور مداوم بررسی می شد. سپس مداخله اصلی به مدت ده هفته (پنج جلسه) به صورت دو پروتکل تمرین ترکیبی شنا (EX1-EX2) اجرا شد. در طول جلسات تمرینی، حجم و شدت تمرین در هر دو گروه EX1 و EX2 کاملاً یکسان بود و تنها تفاوت بین دو پروتکل، ترتیب اجرای تمرینات استقامتی و اینتروال بود. دوره استراحت بین دو تمرین در هر دو پروتکل سی دقیقه تعیین شد و شدت تمرین از طریق اتصال وزنه های سربی به دم حیوانات اعمال می شد. همانطور که در جدول مشخص است، بار تمرینی به صورت پیش رونده و در دو بعد مدت زمان تمرین (از ۲۵ به ۴۵ دقیقه در استقامتی) و درصد وزنه (از ۰ به ۳ درصد در استقامتی و از ۴ به ۱۲ درصد در تناوبی) در طول ده هفته افزایش یافت (جدول ۱).

جدول ۱. میزان تغییرات وزنه‌ها و مدت زمان اجرا و استراحت در هفته‌های مختلف

هفته	مدت زمان تمرین استقامتی (دقیقه)	وزنه مقاومتی (درصد وزن بدن)	تعداد ست‌های تمرین تناوبی	مدت زمان تمرین (ثانیه)	مدت زمان استراحت (ثانیه)	وزنه مقاومتی (درصد وزن بدن)
۱	۲۵	۰	۴	۴۵	۶۰	۴
۲	۳۰	۰	۴	۴۵	۶۰	۵
۳	۳۰	۱	۴	۴۵	۶۰	۶
۴	۳۵	۱	۵	۴۰	۵۰	۷
۵	۳۵	۲	۶	۳۵	۴۵	۸
۶	۴۰	۲	۶	۳۵	۴۵	۹
۷	۴۰	۲.۵	۶	۳۰	۴۵	۱۰
۸	۴۰	۳	۶	۳۰	۴۵	۱۰
۹	۴۵	۳	۶	۳۰	۴۵	۱۱
۱۰	۴۵	۳	۶	۳۰	۴۵	۱۲

و بین‌آزمایشی کمتر از ۸ تا ۱۰ درصد بود. حد تشخیص نیز براساس پایین‌ترین استاندارد (حدود ۰/۱ تا ۰/۲ پیکوگرم بر میلی‌لیتر) در برگه‌های اطلاعات کیت ذکر شده است. در هر پلاک، منحنی استاندارد و کنترل‌های داخلی کیفی (QC) قرار داده شد.

فعالیت SOD با کیت Nasdox™ Superoxide Dismutase (Navand Salamat) و مطابق دستورالعمل کیت اندازه‌گیری شد. پس از آماده‌سازی معرف‌ها و استفاده از سوپرناتانت بافتی، واکنش‌ها در پلیت ۹۶ خانه‌ای راه‌اندازی و در دمای اتاق و دور از نور انکوبه شدند، سپس جذب نوری در طول موج ۴۰۵ نانومتر خوانده شد. فعالیت SOD طبق فرمول کیت محاسبه شد:

فعالیت SOD (واحد بر میلی‌لیتر یا واحد بر میلی‌گرم پروتئین) = (جذب نمونه/جذب کنترل) $\times 200$ تمام نمونه‌ها در دو تکرار سنجیده شدند و توصیه‌های کیت (استفاده نکردن از EDTA و پرهیز از فریز - دفرست مکرر) و اصول کنترل کیفی رعایت شد. خوانش جذب نوری در دستگاه الایزایدر در طول موج ۴۵۰ نانومتر انجام شد و محاسبات براساس منحنی استاندارد و فرمول‌های مربوطه صورت گرفت.

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GraphPad Prism انجام شد. باوجود محدودیت حجم نمونه در مطالعات حیوانی، بررسی فروض آماری با آزمون‌های شاپیرو - ویلک و لون انجام شد ($p < 0.05$) و نتایج استفاده از آزمون‌های پارامتریک را تأیید کردند. برای مقایسه بین گروه‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و در ادامه از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. سطح معنی‌داری در تمامی آزمون‌ها ($p < 0.05$) در نظر گرفته شد. داده‌ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شدند.

نتایج

نتایج حاصل از تحلیل داده‌های سرمی نشان داد که اجرای تمرینات ترکیبی شنا موجب تغییرات معنادار در شاخص‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی سیستمیک در رت‌های سالمند شد. نتایج

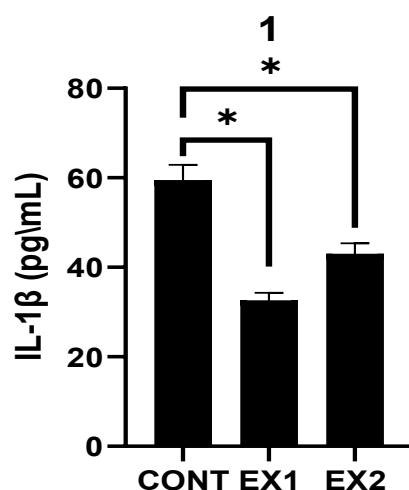
۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، حیوانات با تزریق داخل صفاقی کتامین-زیلاژین تحت بیهوشی قرار گرفتند و بعد از تأیید بیهوشی رت‌ها، نمونه‌های خون از رگ اجوف تحتانی یا IVC (Inferior Vena Cava) گرفته شد و پس از سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه، پلاسما جدا و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در این مطالعه، سطوح پروتئینی مارکرهای التهابی IL-10 و IL-1 β با استفاده از آزمون الایزا (ELISA) اندازه‌گیری شد. برای IL-1 β از کیت تجاری KPG RIL10 (شرکت کارمانیا پارس ژن، ایران) استفاده شد. فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز (SOD) نیز با استفاده از روش مهار احیای نیتروبلاتوترازولیوم (NBT) سنجیده شد [۱۵].

برای آماده‌سازی نمونه‌های بافتی، ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت در ۵۰۰ میکرولیتر بافر لیزکننده رقیق‌شده ۱:۱۰ طبق دستور کیت (Nasdox™ SOD) روی یخ و با همزنایزر شیشه - تفلون هوموژنه شد. سپس نمونه‌ها در ۴ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و سوپرناتانت برای آزمون‌های بیوشیمیایی جمع‌آوری شد. غلظت کل پروتئین سوپرناتانت‌ها با استفاده از کیت پروتئین سنجی Nadford (Navand Salamat) تعیین شد و نتایج سطوح سایتوکاین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها برحسب مقدار پروتئین (به صورت پیکوگرم یا واحد آنزیمی در هر میلی‌لیتر پروتئین) نرمال‌سازی و گزارش شد. نمونه‌ها برای جلوگیری از دفعات متعدد فریز و دفرست، در aliquot های جداگانه در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

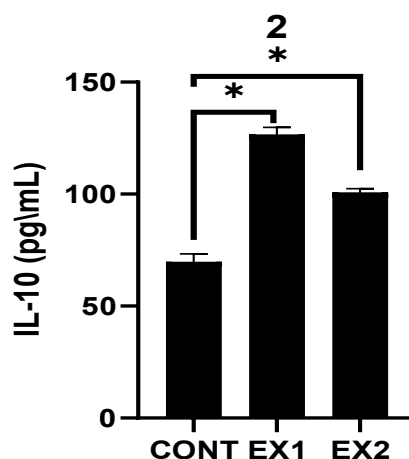
تمام مراحل جداسازی بافت، انجام آزمون‌های بیوشیمیایی و تحلیل داده‌ها به صورت کور (Blinded) نسبت به گروه‌های آزمایشی انجام شد و کدگذاری نمونه‌ها تا پایان تحلیل آماری حفظ شد. سنجش IL-10 و IL-1 β طبق دستورالعمل کیت‌های ELISA انجام شد و نمونه‌ها و استانداردها به صورت دو تکرار (duplicate) اندازه‌گیری شدند. عملکرد آزمون، طبق اطلاعات سازنده، شامل ضریب تغییرات درون‌آزمایشی کمتر از ۳ تا ۴ درصد

نظر آماری معنی دار نبود ($p < 0.05$) (نمودار ۱). در مقابل، سطوح اینترلوکین-۱۰ ($IL-10$)، به عنوان میانجی ضدالتهابی قوی، در هر دو گروه تمرینی افزایش قابل توجهی را نشان داد. گروه EX1 با میانگین $126/71 \pm 3/08$ پیکوگرم بر میلی لیتر به عنوان بالاترین مقدار مشاهده شد که در مقایسه با گروه کنترل (با میانگین $69/08 \pm 3/49$ پیکوگرم بر میلی لیتر) افزایشی معادل ۸۱ درصد را نشان می داد. در گروه EX2 نیز این شاخص به $100/75 \pm 1/67$ پیکوگرم بر میلی لیتر (افزایش ۴۴ درصدی) رسید. این مشاهدات نشان می دهد که آغاز جلسه تمرین با بخش اینتروال (گروه EX1) در القای پاسخ ضدالتهابی مؤثرتر عمل کرده است. نتایج نشان داد میانگین نمره در گروه EX1 برابر با $47/12$ و در گروه EX2 برابر با $37/10$ بود. اگرچه میانگین گروه EX2 بالاتر از گروه EX1 بود، این اختلاف از نظر آماری معنی دار نبود (نمودار ۲).

بیوشیمیایی در این مطالعه نشان داد که غلظت پلاسمایی اینترلوکین-۱۰ ($IL-10$) در هر دو گروه تحت مداخله تمرینی کاهش آماری معناداری را در مقایسه با گروه کنترل نشان می دهد ($p < 0.05$). میانگین سطح $IL-10$ در گروه کنترل برابر با $59/3 \pm 53/43$ پیکوگرم بر میلی لیتر بود. این شاخص در گروه EX2 (تمرین ترکیبی با تقدم استقامتی) به $43/06 \pm 2/28$ پیکوگرم بر میلی لیتر (کاهش ۲۸ درصدی) و در گروه EX1 (تمرین ترکیبی با تقدم اینتروال) به $32/1 \pm 62/71$ پیکوگرم بر میلی لیتر (کاهش ۴۵ درصدی) رسید. اگرچه هر دو پروتکل تمرینی تأثیر بازدارنده معناداری در بیان این سیتوکین پیش التهابی داشتند، کاهش مشاهده شده در گروه EX1، که جلسه تمرین را با فاز اینتروال آغاز کرده بود، از نظر آماری چشمگیرتر بود. نتایج نشان داد میانگین در گروه EX1 برابر با $12/73$ و در گروه EX2 برابر با $14/85$ بود. اگرچه میانگین گروه EX2 بالاتر از گروه EX1 بود، این اختلاف از



نمودار ۱. پاسخ های التهابی ($IL-1\beta$) سرم در پی اجرای ترتیب های مختلف شنا در رت های سالمند داده ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شده است. میزان تغییرات فاکتور ($IL-1\beta$) در گروه کنترل (CONT)، گروه تمرین ترکیبی (اینتروال - استقامتی، EX1) و گروه تمرین ترکیبی (استقامتی - اینتروال، EX2). * نشانه اختلاف معنی دار بین تمام گروه ها با گروه کنترل است (سطح معنی داری $p < 0.05$ در نظر گرفته شده است).

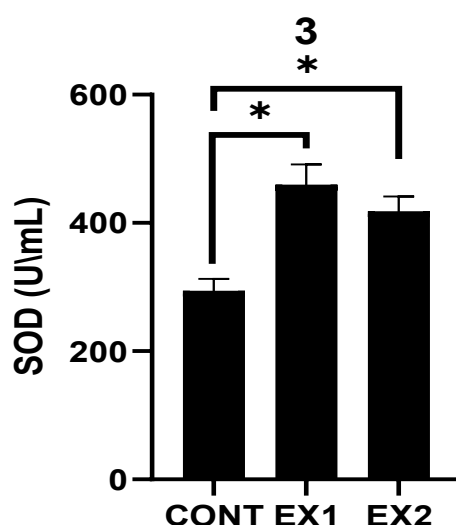


نمودار ۲. پاسخ التهابی ($IL-10$) سرم در پی اجرای ترتیب های مختلف شنا در رت های سالمند داده ها به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شده است. میزان تغییرات فاکتور ($IL-10$) در گروه کنترل (CONT)، گروه تمرین ترکیبی (اینتروال - استقامتی، EX1) و گروه تمرین ترکیبی (استقامتی - اینتروال، EX2). * نشانه اختلاف معنی دار بین تمام گروه ها با گروه کنترل است (سطح معنی داری $p < 0.05$ در نظر گرفته شده است).

($p < 0.05$ در نظر گرفته شده است).

واحد بر میلی‌لیتر (افزایش ۴۲ درصدی) رسید. این یافته‌ها به‌طور کلی حاکی از آن است که تمرین ترکیبی، به‌ویژه زمانی که با فاز اینتروال آغاز شود (گروه EX1)، می‌تواند سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی را به‌طور قابل توجهی تقویت کند. نتایج نشان داد میانگین نمره در گروه EX1 برابر با ۲۶۳/۱۸ و در گروه EX2 برابر با ۲۳۲/۲۸ بود. اگرچه میانگین گروه EX2 بالاتر از گروه EX1 بود، این اختلاف از نظر آماری معنی دار نبود (نمودار ۳).

ارزیابی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به‌عنوان شاخص اصلی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، حاکی از افزایش معنادار این شاخص در پاسخ به مداخله تمرینی بود ($p < 0.05$). گروه EX1 با میانگین $459/80 \pm 31/21$ واحد بر میلی‌لیتر بیشترین افزایش را به خود اختصاص داد که در مقایسه با گروه کنترل (با میانگین $294/18 \pm 38/28$ واحد بر میلی‌لیتر) معادل ۵۶ درصد بهبود را نشان داد. در گروه EX2 نیز فعالیت SOD به $418/27 \pm 22/75$



نمودار ۳. پاسخ آنتی‌اکسیدانی (SOD) سرم در پی اجرای ترتیب‌های مختلف شنا در رت‌های سالمند

داده‌ها به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شده است. میزان تغییرات فاکتور (SOD) در گروه کنترل (CONT)، گروه تمرین ترکیبی (اینتروال - استقامتی، EX1) و گروه تمرین ترکیبی (استقامتی - اینتروال، EX2). * نشانه اختلاف معنی‌دار بین تمام گروه‌ها با گروه کنترل است (سطح معنی‌داری $p < 0.05$ در نظر گرفته شده است).

است که نشان داده‌اند تمرینات تناوبی و ترکیبی قادرند التهاب سیستمیک مرتبط با سالمندی را کاهش دهند. Chen و همکاران گزارش کردند که تمرینات ورزشی منظم در سالمندان موجب کاهش سایتوکاین‌های پیش‌التهابی از جمله $\text{TNF-}\alpha$ و $\text{IL-1}\beta$ می‌شود [۱۷]. همچنین، Gomes Neto و همکاران در یک متا آنالیز نشان دادند تمرینات تناوبی شدید در مقایسه با تمرینات مداوم با شدت متوسط، اثر قوی‌تری در کاهش التهاب سیستمیک دارند [۱۸]. در مطالعه حاضر نیز احتمالاً شروع جلسه تمرینی با فعالیت تناوبی باعث ایجاد تحریک متابولیکی بیشتر و فعال‌سازی قوی‌تر مسیرهای ضدالتهابی شده است.

از سوی دیگر، برخی مطالعات تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های التهابی پس از تمرین گزارش نکرده‌اند. برای مثال، Morais و همکاران مشاهده کردند که دوره‌های کوتاه‌مدت تمرین هوازی در سالمندان تغییر محسوسی در $\text{IL-1}\beta$ ایجاد نمی‌کند [۱۹]. این تفاوت می‌تواند ناشی از اختلاف در مدت تمرین، شدت فعالیت، سن آزمودنی‌ها، نوع تمرین و وضعیت فیزیولوژیک نمونه‌ها باشد. در مطالعه حاضر، استفاده از تمرین

آزمون تعقیبی توکی مشخص کرد که در تمامی شاخص‌های مورد بررسی، گروه EX1 در مقایسه با گروه EX2 عملکرد بهتری داشت که این موضوع نشان می‌دهد ترتیب اجرای بخش‌های مختلف تمرین ترکیبی در محیط آبی تأثیر معنادارتری در پاسخ‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی دارد.

بحث

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که تمرین ترکیبی شنا موجب بهبود شاخص‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی در رت‌های سالمند شد و این تغییرات تحت تأثیر ترتیب اجرای اجزای تمرین قرار داشت. به‌طور مشخص، اجرای تمرین تناوبی پیش از تمرین استقامتی در گروه EX1 با کاهش بیشتر $\text{IL-1}\beta$ و افزایش معنی‌دار IL-10 و SOD همراه بود. این یافته نشان می‌دهد که علاوه بر نوع و حجم تمرین، ترتیب اجرای اجزای تمرین ترکیبی نیز می‌تواند در شدت سازگاری‌های فیزیولوژیک و ضدالتهابی نقش مؤثری داشته باشد [۱۱، ۱۶].

کاهش $\text{IL-1}\beta$ در گروه EX1 با یافته‌های مطالعات قبلی همسو

ترکیبی همراه با بخش تناوبی احتمالاً محرک کافی برای ایجاد سازگاری ضدالتهابی فراهم کرده است.

افزایش IL-10 در گروه EX1 نیز نشان‌دهنده تقویت پاسخ‌های ضدالتهابی ناشی از تمرین است. IL-10 از مهم‌ترین سایتوکاین‌های ضدالتهابی محسوب می‌شود که می‌تواند فعالیت سایتوکاین‌های پیش‌التهابی را مهار کند [20]. Wang و همکاران گزارش کردند که تمرینات با شدت بالا از طریق افزایش ترشح میوکاین‌ها و تعدیل عملکرد سلول‌های ایمنی باعث افزایش IL-10 می‌شوند [21]. همچنین، Fischer بیان کرد که انقباضات عضلانی ناشی از ورزش می‌تواند پاسخ ضدالتهابی سیستمیک ایجاد کند و سطح سایتوکاین‌های ضدالتهابی را افزایش دهد [22]. بنابراین، احتمال دارد اجرای تمرین تناوبی در ابتدای جلسه تمرین، باعث فعال‌سازی بیشتر این پاسخ‌ها شده باشد.

مطالعه حاضر همچنین نشان داد فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی SOD در گروه EX1 به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این یافته با مطالعاتی که اثر تمرین در تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی را گزارش کرده‌اند هم‌خوانی دارد. Kim و Lee گزارش کردند که تمرینات منظم می‌توانند با فعال‌سازی مسیر Nrf2، موجب افزایش بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند SOD شوند [23]. همچنین Su و همکاران نشان دادند تمرینات تناوبی شدید از طریق ایجاد پاسخ هورمسیس (Hormesis) و افزایش کنترل‌شده ROS، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سلول را ارتقا می‌دهند [24]. در مطالعه حاضر نیز احتمالاً تمرین تناوبی اولیه باعث تحریک بیشتر مسیر Nrf2/ARE و افزایش ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی شده است.

یکی از یافته‌های مهم پژوهش حاضر، تفاوت پاسخ‌های فیزیولوژیک بین دو ترتیب متفاوت تمرین ترکیبی بود. اگرچه هر دو گروه تمرینی به کنترل روند بهبود را نشان دادند، گروه EX1 پاسخ ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی معنادارتری داشت. مطالعات اخیر نیز نشان داده‌اند که ترتیب اجرای تمرینات می‌تواند در پاسخ‌های متابولیکی، هورمونی و مولکولی اثرگذار باشد [16]. Gao و همکاران گزارش کردند که آغاز جلسه تمرین با فعالیت شدیدتر می‌تواند موجب فعال‌سازی بیشتر مسیرهای سازگاری سلولی شود [12]. بنابراین، نتایج مطالعه حاضر احتمالاً بیانگر آن است که ترتیب اجرای اجزای تمرین ترکیبی در سالمندی اهمیت فیزیولوژیک بیشتری دارد.

از نظر مکانیزمی، احتمال می‌رود کاهش التهاب و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده‌شده در این مطالعه از طریق تعامل میان مسیرهای NF-κB و Nrf2 ایجاد شده باشد [25]. فعال‌سازی Nrf2 می‌تواند بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد و هم‌زمان، فعالیت NF-κB و تولید سایتوکاین‌های التهابی را مهار کند [25, 26]. همچنین، فعال‌سازی AMPK/SIRT1 در پاسخ به تمرینات تناوبی ممکن است در

بهبود عملکرد میتوکندری و کاهش استرس اکسیداتیو نقش داشته باشد [17]. این سازوکارها می‌توانند توجیه‌کننده افزایش SOD و بهبود پروفایل التهابی در گروه EX1 باشند.

مطالعه حاضر محدودیت‌هایی نیز داشت. استفاده از حجم نمونه محدود، بررسی تنها رت‌های نر سالمند و اندازه‌گیری نکردن مستقیم مسیرهای مولکولی مانند NF-κB، Nrf2 و AMPK از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر محسوب می‌شود. همچنین، تنها چند شاخص التهابی و آنتی‌اکسیدانی ارزیابی شد و دیگر مارکرهای مرتبط بررسی نشدند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، علاوه بر استفاده از حجم نمونه بیشتر و هر دو جنس، مسیرهای مولکولی مرتبط با التهاب و استرس اکسیداتیو نیز به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری شوند، تا درک دقیق‌تری از اثر ترتیب تمرینات ترکیبی حاصل شود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که توالی اجزای تمرین در یک پروتکل تمرینی ترکیبی در محیط آبی، پاسخ‌های التهابی و آنتی‌اکسیدانی را در رت‌های مسن به‌طور قابل توجهی تعدیل می‌کند. پروتکل اینتروال-استقامتی (EX1) به‌طور مداوم سازگاری‌های برتری را در تمامی بیومارکرهای اندازه‌گیری‌شده در مقایسه با پروتکل استقامتی-اینتروال (EX2) ایجاد کرد. این یافته‌ها حاکی از آن است که تقدم فعالیت‌های اینتروالی بر استقامتی ممکن است شرایط متابولیکی و هورمونی مساعدتری برای القای پاسخ‌های ضدالتهابی در گردش خون ایجاد کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان صمیمانه از تمام همکاران و مراکزی که در انجام این پژوهش مشارکت داشتند، تشکر و قدردانی می‌کنند. این مطالعه برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیولوژی ورزشی دانشگاه بوعلی‌سینا بود که در سال ۱۴۰۴ تصویب و اجرا شد. مراحل اجرای پژوهش و انجام آزمون‌های آزمایشگاهی در آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه بوعلی‌سینا انجام گرفت.

تضاد منافع

نویسندگان این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافی در انتشار آن ندارند.

ملاحظات اخلاقی

کمیته اخلاق دانشگاه بوعلی‌سینا تمام روش‌های آزمایشی را با کد اخلاق IR.BASU.REC.1404.025 تأیید کرد و آزمایش‌ها مطابق با دستورالعمل‌های مؤسسات ملی سلامت (NIH) برای مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی انجام شد.

REFERENCES

- Franceschi C, Garagnani P, Parini P. Inflammaging: a new immune-metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nat Rev Endocrinol*. 2018;14(10):576-90. [DOI: [10.1038/s41574-018-0059-4](https://doi.org/10.1038/s41574-018-0059-4)]
- Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol*. 2018;596(1):1-12. [DOI: [10.1113/jphysiol.2011.224725](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725)]
- Salminen A, Kaarniranta K, Kauppinen A. Inflammaging: disturbed interplay between autophagy and inflammasomes. *Aging (Albany NY)*. 2019;11(9):2564-79. [DOI: [10.18632/aging.100444](https://doi.org/10.18632/aging.100444)]
- Pedersen BK. Anti-inflammatory effects of exercise: role in diabetes and cardiovascular disease. *Eur J Clin Invest*. 2017;47(8):600-11. [DOI: [10.1111/eci.12781](https://doi.org/10.1111/eci.12781)]
- Meng S, Yu L. Oxidative stress, molecular inflammation and sarcopenia. *Int J Mol Sci*. 2020;21(10):3676. [DOI: [10.3390/ijms11041509](https://doi.org/10.3390/ijms11041509)]
- Bocalini DS, Serra AJ, dos Santos L. Water- versus land-based exercise effects on physical fitness in older women. *Geriatr Gerontol Int*. 2018;18(1):29-34. [DOI: [10.1111/j.1447-0594.2008.00485.x](https://doi.org/10.1111/j.1447-0594.2008.00485.x)]
- Peake JM, Neubauer O, Della Gatta PA, Nosaka K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J Appl Physiol*. 2021;122(3):559-70. [DOI: [10.1152/jappphysiol.00971.2016](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00971.2016)]
- Lancaster GI, Khan Q, Drysdale PR. The physiological regulation of toll-like receptor expression and function in humans. *J Physiol*. 2022;600(5):1219-33. [DOI: [10.1113/jphysiol.2004.081224](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.081224)]
- Feng W, Wang Y, Gu X, Yu D, Liu Z. Exercise as a modulator of systemic inflammation and oxidative stress biomarkers across clinical and healthy populations: an umbrella meta-analysis. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2025;17(1):360. [DOI: [10.1186/s13102-025-01327-8](https://doi.org/10.1186/s13102-025-01327-8)]
- Sanford JA, Nogiec CD, Lindholm ME. Molecular Transducers of Physical Activity Consortium (MoTrPAC): mapping the dynamic responses to exercise. *Cell*. 2021;185(6):1504-18. [Link]
- Wang H, Chen X, Li Y. The effect of exercise order on systemic inflammation and oxidative stress markers in elderly humans: a systematic review. *J Aging Phys Act*. 2023;31(2):280-95. [Link]
- Gao Z, Li Y, Wang Y, Xu Y. The impact of exercise order on inflammatory responses and muscle adaptations in elderly rats. *J Exerc Sci Fit*. 2022;20(1):1-8. [Link]
- Estedlal A, Jeddi M, Heydari ST, Jahromi MG, Dabbaghmanesh MH. Impacts of diabetes mellitus on clinical and para-clinical parameters among COVID-19 patients. *J Diabetes Metab Disord*. 2021;20(2):1211-9. [DOI: [10.1007/s40200-021-00844-w](https://doi.org/10.1007/s40200-021-00844-w)]
- Nakhaei H, Mogharnasi M, Fanaei H. Effect of swimming training on levels of asprosin, lipid profile, glucose and insulin resistance in rats with polycystic ovary syndrome. *Gynecol Endocrinol*. 2019;35(3):206-11. [DOI: [10.1016/j.obmed.2019.100111](https://doi.org/10.1016/j.obmed.2019.100111)]
- Hassanzadeh A, Shahvaisy K, Hassanzadeh K, Izaadpanah E, Amini A, Moloudi MR. Effects of rebamipide and encapsulating rebamipide with chitosan capsule on inflammatory mediators in rat experimental colitis. *SJKU*. 2015;20(3):94-104. [Link]
- Liu C, Zheng L, Zhou D, Jia H. The effect of different exercise intensities on inflammatory and oxidative stress markers in elderly individuals: a meta-analysis. *Front Physiol*. 2023;14:1187654. [DOI: [10.3389/fphys.2023.1193223](https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1193223)]
- Chen YW, Huang CY, Wu CH, Chang CK. Effects of exercise training on inflammatory markers in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2020;63:101151. [DOI: [10.1007/s40279-020-01370-0](https://doi.org/10.1007/s40279-020-01370-0)]
- Gomes Neto M, Durães AR, Conceição LSR. High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on inflammatory markers in older adults: systematic review and meta-analysis. *Exp Gerontol*. 2021;145:111224. [DOI: [10.1016/j.ijcard.2018.02.076](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.02.076)]
- Morais JA, Jacob KW, Chevalier S. Effects of aerobic exercise on systemic inflammatory markers in older adults: a controlled trial. *Gerontology*. 2020;66(4):341-9. [DOI: [10.1016/j.exger.2018.04.025](https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.04.025)]
- Bao H, Jiang H, Liu Y. Interleukin-10: a key regulator in immune response and its therapeutic potential. *Int Immunopharmacol*. 2024;126:110865. [DOI: [10.1016/j.autrev.2025.103885](https://doi.org/10.1016/j.autrev.2025.103885)]
- Wang X, Liu Y, Zhang H, Li J. Exercise-induced myokines and their impact on inflammation and metabolism. *Front Physiol*. 2021;12:669009. [DOI: [10.3389/fphys.2022.981577](https://doi.org/10.3389/fphys.2022.981577)]
- Fischer CP. Interleukin-6 in acute exercise and training: what is the biological relevance? *Exerc Immunol Rev*. 2020;26:6-33. [Link]
- Powers SK, Deminice R, Ozdemir M, Yoshihara T, Bomkamp MP, Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe? *J Sport Health Sci*. 2020;9(5):415-425. [DOI: [10.1016/j.jshs.2020.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001)]
- Gomes EC, Silva AN, Lima MR. Exercise-induced oxidative stress: dysregulation of adaptation by antioxidant supplementation. *Free Radical Biology and Medicine*. 2012;52(1):191-204. [DOI: [10.1016/j.freeradbiomed.2011.10.444](https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2011.10.444)]
- Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. Integrative biology of exercise. *Cell*. 2014;159(4):738-749. [DOI: [10.1016/j.cell.2014.10.029](https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.10.029)]
- Gleeson M, Bishop NC, Stensel DJ, Lindley MR, Mastana SS, Nimmo MA. The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease. *Nat Rev Immunol*. 2011;11(9):607-615. [DOI: [10.1038/nri3041](https://doi.org/10.1038/nri3041)]