

Comparison of the effects of eight weeks of aerobic and polarized training on pulmonary function, inflammatory markers, and vascular endothelial growth factor in active young girls

Bahar Saljoughi Beranji¹, Marefat Siahkouhian^{2*}, Elnaz Rezayi¹

1-M.Sc. Student in Exercise Physiology, , Faculty of Education and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Professor at Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Education and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Address: University of Mohaghegh Ardabili, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Department of Physical Education and Sports Sciences, University Street, Ardabil, Iran

Abstract

Background and Aims: Physical activity is known to enhance physiological functions, including pulmonary capacity and inflammatory regulation. This study aimed to examine and compare the effects of eight weeks of aerobic and polarized training on pulmonary function, inflammation, muscle damage, and vascular endothelial growth factor (VEGF) levels in physically active girls. **Materials and Methods:** In this quasi-experimental study with a pre-test–post-test design, 30 active female participants were randomly assigned to three groups: aerobic training, polarized training, and control. The intervention completed three sessions per week over eight weeks. Pulmonary function variables—Forced Vital Capacity (FVC) and Forced Expiratory Volume in one second (FEV₁) were measured via spirometry. Serum levels of C-reactive protein (CRP), creatine phosphokinase (CPK), and Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) were assessed using the ELISA method following standard protocols. Data were analyzed using one-way ANOVA for initial group homogeneity, paired *t*-tests for within-group comparisons, and ANCOVA for post-intervention between-group analysis. Bonferroni post-hoc tests were used where significant differences were observed. The level of significance was set at $p < 0.05$. **Results:** Both aerobic and polarized training resulted in significant improvements in FEV₁ and FVC compared to the control group ($p < 0.05$). CRP levels decreased significantly in both training groups, while CPK changes were not statistically significant. VEGF levels increased significantly in both experimental groups relative to control ($p < 0.05$). Effect size analysis showed that polarized training had the greatest impact on FVC (1.31), while aerobic training most effectively improved FEV₁ (1.06). CRP reductions reflected strong anti-inflammatory effects, with effect sizes of -1.32 and -1.09 in the aerobic and polarized groups, respectively. **Conclusion:** Aerobic and polarized training are both effective in enhancing pulmonary function and modulating inflammatory responses in physically active individuals, offering valuable non-pharmacological strategies for improving respiratory and vascular health



Keywords: Polarized training, Aerobic training, Pulmonary function, Inflammatory markers, Vascular endothelial growth factor.

مقایسه تاثیر هشت هفته تمرین هوازی و پلاریزه بر شاخص های عملکرد ریوی، شاخص های التهابی

و عامل رشد اندوتلیال عروقی در دختران جوان فعال

بهار سلجوقی برنجی^۱، معرفت سیاه کوهیان^{۲*}، الناز رضایی^۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

آدرس نویسنده مسئول: اردبیل، خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی

چکیده

زمینه و هدف: فعالیت بدنی نقش مهمی در بهبود عملکرد فیزیولوژیکی ایفا می کند. این مطالعه با هدف بررسی و مقایسه تأثیر هشت هفته تمرین هوازی و پلاریزه بر عملکرد ریوی، شاخص التهابی، شاخص آسیب عصلانی و فاکتور رشد اندوتلیال عروقی در دختران فعال انجام شد. **روش تحقیق:** در یک طرح نیمه تجربی با الگوی پیش آزمون- پس آزمون، ۳۰ دختر فعال به صورت تصادفی در سه گروه تمرین هوازی، تمرین پلاریزه و کنترل تقسیم شدند. مداخلات شامل سه جلسه تمرین در هفته به مدت هشت هفته بود. متغیرهای مورد بررسی شامل ظرفیت حیاتی (FVC) و حجم بازدمی اجباری در یک ثانیه (FEV1) با استفاده از روش اسپرومتری، و همچنین سطوح سرمی پروتئین واکنشی C (CRP)، کراتین فسفوکیناز (CPK) و فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) بودند که با استفاده از روش الایزا و مطابق با پروتکل های استاندارد اندازه گیری شدند. برای تحلیل داده ها از آزمون ANOVA یک سویه جهت بررسی همگنی اولیه گروه ها، از آزمون t زوجی برای مقایسه درون گروهی پیش و پس آزمون، و از تحلیل کوواریانس (ANCOVA) برای مقایسه بین گروهی پس از مداخله استفاده شد؛ در صورت مشاهده تفاوت معنی دار، آزمون تعقیبی بونفرونی به کار رفت. سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. **یافته ها:** نتایج نشان داد هر دو نوع تمرین باعث بهبود معنی دار FEV1 و FVC نسبت به گروه کنترل شدند ($p < 0.05$). سطح CRP در گروه های تمرینی کاهش معنی داری یافت، اما تغییرات CPK معنی دار نبود. همچنین، افزایش VEGF در هر دو گروه تمرینی نسبت به کنترل مشاهده شد ($p < 0.05$). اندازه اثر نشان داد تمرین پلاریزه بیشترین تأثیر را بر FVC (1.31) و تمرین هوازی بر FEV1 (1.06) داشت. همچنین، کاهش CRP با اندازه اثر ۱/۳۲- و گروه پلاریزه با اندازه اثر ۱/۰۹-،

بیانگر اثر ضدالتهابی این رویکردها بود. نتیجه‌گیری: تمرینات هوازی و پلاریزه می‌توانند به‌عنوان رویکردی مکمل در بهبود عملکرد ریوی و تعدیل پاسخ‌های التهابی در جمعیت فعال مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تمرین پلاریزه، تمرین هوازی، عملکرد ریوی، شاخص‌های التهابی، فاکتور رشد اندوتلیال عروق.

مقدمه

تمرینات ورزشی به‌عنوان یکی از مؤثرترین راهکارها برای بهبود سلامت عمومی و افزایش عملکرد فیزیولوژیکی بدن شناخته می‌شوند. در این میان، تمرینات هوازی^۱ و پلاریزه^۲ دو رویکرد متفاوت در برنامه‌های تمرینی هستند که هر یک می‌توانند تأثیرات خاص خود را بر شاخص‌های فیزیولوژیکی مختلف بر جای بگذارند. تمرینات هوازی شامل فعالیت‌های تداومی و طولانی‌مدت با شدت متوسط هستند که تأثیر مثبتی بر عملکرد قلبی-عروقی، ظرفیت تنفسی و سلامت متابولیک دارند (۱). این نوع تمرینات با افزایش توانایی بدن در استفاده از اکسیژن، بهبود استقامت عضلانی و افزایش ظرفیت حمل اکسیژن در خون همراه هستند. نمونه‌هایی از تمرینات هوازی شامل دویدن، دوچرخه‌سواری، شنا و پیاده‌روی سریع است که تأثیر قابل توجهی بر کاهش ریسک بیماری‌های قلبی-عروقی، کنترل وزن و بهبود سلامت عمومی دارند. در مقابل، تمرینات پلاریزه شامل ترکیبی از فعالیت‌های با شدت بالا و پایین هستند که هدف آن افزایش کارایی تمرین، بهبود عملکرد ورزشی و کاهش استرس فیزیولوژیکی ناشی از تمرینات شدید است (۲). این روش تمرینی به‌طور عمده شامل ۸۰ درصد تمرینات کم‌شدت و ۲۰ درصد تمرینات پرفشار می‌شود. تمرینات پلاریزه می‌توانند موجب افزایش قدرت و استقامت هم‌زمان شوند و درعین‌حال خطر فرسودگی ناشی از تمرینات بسیار شدید را کاهش دهند. این مدل تمرینی بیشتر در بین ورزشکاران استقامتی مانند دوندگان، دوچرخه‌سواران و شناگران حرفه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌طور خاص باعث افزایش سازگاری‌های متابولیکی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در عضلات می‌شود. عملکرد ریوی یکی از عوامل کلیدی در تعیین ظرفیت فعالیت بدنی و استقامت ورزشی محسوب می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که تمرینات هوازی از طریق افزایش حجم ضربه‌ای قلب، تقویت عضلات تنفسی و بهبود تبادل گازی در ریه‌ها، می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر عملکرد ریوی داشته باشند (۳). همچنین این تمرینات می‌توانند ظرفیت حیاتی، حجم جاری و تهویه را افزایش داده و باعث کاهش مقاومت راه‌های هوایی شوند. از سوی دیگر، تمرینات پلاریزه نیز از طریق بهینه‌سازی ترکیب شدت تمرین، موجب افزایش توانایی استفاده از اکسیژن در بافت‌ها، تقویت عضلات تنفسی و افزایش کارایی تبادل گازی می‌شوند. مطالعاتی که به مقایسه این دو نوع تمرین پرداخته‌اند نشان داده‌اند که تمرینات

¹ Aerobic training

² Polarized training



پلاریزه می‌توانند به افزایش سازگاری‌های تنفسی در ورزشکاران حرفه‌ای کمک کنند و باعث بهبود استقامت ریوی در مقایسه با تمرینات هوازی سنتی شوند هرچند میزان تأثیرگذاری آن‌ها ممکن است در شرایط مختلف متفاوت باشد (۴). یکی از مسائل مهم در بررسی تأثیرات تمرینات ورزشی، میزان تغییرات در شاخص‌های التهابی بدن است. التهاب یک واکنش طبیعی بدن به استرس‌های فیزیولوژیکی است و می‌تواند در صورت افزایش بیش از حد، به مشکلات متابولیکی و عملکردی منجر شود. تمرینات هوازی به‌طور کلی باعث کاهش سطح نشانگرهای التهابی مانند پروتئین واکنشی C¹ (CRP) می‌شوند که نشان‌دهنده کاهش التهاب سیستمیک و بهبود وضعیت ایمنی بدن است. مکانیسم این اثر به افزایش ترشح میوکاین‌ها از عضلات اسکلتی در هنگام فعالیت هوازی بازمی‌گردد که منجر به تنظیم پاسخ‌های ایمنی و کاهش تولید سیتوکین‌های پیش‌التهابی می‌شود. علاوه بر این، تمرینات هوازی از طریق افزایش جریان خون و بهبود عملکرد اندوتلیالی، به کاهش التهاب مزمن و بهبود عملکرد عروقی کمک می‌کنند (۵). در مقابل، تمرینات پلاریزه با تنظیم شدت تمرین و ایجاد تعادل بین استرس و بازیابی، می‌توانند تأثیرات مشابهی داشته باشند، اما برخی مطالعات نشان داده‌اند که در برخی شرایط، ممکن است موجب افزایش موقت شاخص‌های التهابی شوند. مکانیسم احتمالی این اثر به افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی بدن و تنظیم پاسخ‌های ایمنی گزارش شده است که به کنترل التهاب کمک می‌کند. با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که در برخی شرایط، ممکن است موجب افزایش موقت شاخص‌های التهابی شوند (۶). آسیب عضلانی از جمله مسائل دیگری است که احتمال ایجاد آن در طی انجام تمرینات ورزشی وجود دارد. آنزیم کراتین فسفوکیناز^۲ (CPK) به‌عنوان یکی از نشانگرهای زیستی آسیب عضلانی شناخته می‌شود که معمولاً در پاسخ به تمرینات شدید افزایش می‌یابد، اما تمرینات منظم می‌توانند باعث کاهش پاسخ التهابی و پایداری سطح آن شوند (۷). مطلب دیگری که در این زمینه اهمیت دارد فاکتور رشد اندوتلیال عروقی^۳ است. این فاکتور یکی از مهم‌ترین پروتئین‌هایی است که در فرآیند آنژیوژنز^۴ و بهبود عملکرد عروقی نقش دارد. تمرینات ورزشی با افزایش نیاز به اکسیژن و متابولیسم عضلانی، تولید فاکتور رشد اندوتلیال عروقی را تحریک می‌کنند که این امر به افزایش مویرگ‌زایی و بهبود خون‌رسانی به عضلات منجر می‌شود. مطالعات متعددی این ارتباط را تأیید کرده‌اند. به عنوان مثال پژوهشی با عنوان تأثیر هشت هفته تمرین هوازی بر عامل رگ‌زایی و ترکیب بدن در زنان دارای اضافه وزن نشان داد که پس از هشت هفته تمرین هوازی، میزان عامل رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) در گروه تجربی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این مطالعه همچنین

¹ C-Reactive Protein

² Creatine Phosphokinase

³ VEGF

⁴ Angiogenesis

بهبود در اکسیژن مصرفی بیشینه و کاهش در شاخص توده بدن^۱ و توده چربی را گزارش کرد (۸). تحقیقات نشان داده‌اند که تمرینات هوازی به دلیل افزایش حجم تمرین و مدت‌زمان فعالیت، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش VEGF دارند. از سوی دیگر، تمرینات پلاریزه به دلیل ترکیب شدت‌های متفاوت، ممکن است الگوهای متفاوتی از تغییرات VEGF را ایجاد کنند که بررسی آن‌ها نیازمند مطالعات بیشتری است (۹).

هدف اصلی این مطالعه بررسی و مقایسه تأثیر هشت هفته تمرین هوازی و تمرین پلاریزه بر عملکرد ریوی، شاخص‌های التهابی، آسیب عضلانی و VEGF در دختران جوان فعال بود. با توجه به اهمیت عملکرد ریوی در بهبود ظرفیت استقامتی و تأثیر شاخص‌های التهابی بر سلامت عمومی، این پژوهش تلاش دارد تا مشخص کند که کدام یک از این دو نوع تمرین می‌تواند تأثیرات بیشتری بر بهبود سیستم تنفسی، کاهش التهاب و تقویت فاکتورهای رشد عروقی داشته باشد. علاوه بر این، مطالعه حاضر به بررسی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر تغییرات این شاخص‌ها در پاسخ به تمرینات مختلف می‌پردازد. نتایج این پژوهش می‌تواند به مربیان، ورزشکاران و متخصصان علوم ورزشی در طراحی برنامه‌های تمرینی بهینه برای بهبود عملکرد تنفسی، تنظیم پاسخ‌های التهابی و افزایش ظرفیت عروقی کمک کند. همچنین، یافته‌های این مطالعه می‌تواند در ارتقای سطح آمادگی جسمانی و پیشگیری از مشکلات متابولیکی در ورزشکاران جوان مؤثر باشند.

روش تحقیق

این پژوهش به صورت نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون انجام شد و هدف از آن بررسی و مقایسه تأثیر دو روش تمرینی پلاریزه و هوازی بر شاخص‌های التهابی و عملکرد ریوی شرکت‌کنندگان بود.

جمعیت مورد مطالعه و معیارهای ورود و خروج: جامعه آماری این مطالعه را ۱۶۰ دانشجوی دختر فعال در رشته علوم ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی، در بازه سنی ۱۹ تا ۲۴ سال، تشکیل می‌دادند. نمونه‌گیری به روش هدفمند و از طریق فراخوان عمومی، با در نظر گرفتن معیارهای ورود و خروج، انجام شد. معیارهای ورود شامل برخورداری از سلامت عمومی، نداشتن بیماری‌های مزمن قلبی-عروقی و تنفسی، عدم مصرف داروهای مؤثر بر این سیستم‌ها، و سابقه تمرین منظم در شش ماه گذشته بود. پیش از آغاز پژوهش، کلیه شرکت‌کنندگان فرم رضایت‌نامه آگاهانه را تکمیل و امضا نمودند. پس از غربال‌گری، ۳۰ نفر به‌صورت تصادفی انتخاب و در دو گروه شامل دو گروه تجربی (تمرین پلاریزه و تمرین هوازی، هر کدام ۱۰ نفر) و یک گروه کنترل (۱۰ نفر) تقسیم شدند. به‌منظور کنترل اثر متغیرهای مخدوش‌کننده، همگن‌سازی متغیرهای پایه‌ای بین گروه‌ها صورت گرفت. اطلاعات دموگرافیک از طریق پرسشنامه استاندارد گردآوری شد.

¹ Body Mass Index (BMI)



پروتکل تمرین: شرکت کنندگان گروه تمرین پلاریزه، به مدت هشت هفته و هر هفته سه جلسه تمرین کردند. هر جلسه تمرینی ۱۲ دقیقه شامل سه چرخه چهار دقیقه‌ای بود که سه دقیقه با شدت ۷۰ درصد و یک دقیقه با شدت ۹۰ درصد از حداکثر ضربان قلب^۱ اجرا شد. تمرینات بدون استراحت بین چرخه‌ها انجام گردید (۱۰). به منظور تخمین حداکثر اکسیژن مصرفی^۲ (VO₂max) آزمودنی‌ها، از یک روش غیرمستقیم معتبر استفاده شد. ابتدا ضربان قلب در حالت استراحت^۳ در شرایط استاندارد، پیش از انجام هرگونه فعالیت بدنی، در محیطی آرام، با دمای کنترل شده و در حالت نشسته ثبت شد و رعایت حداقل ۱۰ دقیقه استراحت پیش از اندازه‌گیری به منظور پایداری فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها لحاظ گردید. سپس آزمودنی‌ها یک آزمون ورزشی بیشینه^۴ را تا رسیدن به خستگی کامل و دست‌یابی به حداکثر ضربان قلب انجام دادند که به صورت مستقیم از طریق ثبت پیوسته ضربان قلب حین فعالیت اندازه‌گیری شد. در گام بعدی، با استفاده از فرمول زیر، VO₂max به صورت غیرمستقیم برآورد گردید.

$$VO_{2max} = \frac{HR_{max}}{HR_{rest}} \times 15$$

این روش مبتنی بر ارتباط فیزیولوژیکی بین ضربان قلب و ظرفیت هوازی است و در مطالعات متعددی به عنوان یک ابزار قابل اعتماد در شرایطی که تجهیزات مستقیم سنجش اکسیژن مانند گاز آنالایزر در دسترس نیست، معرفی شده است. بهره‌گیری از این روش در تحقیقات میدانی، مطالعات با منابع محدود، یا جمعیت‌هایی که امکان آزمون مستقیم ندارند، رایج و کاربردی است (۱۱). شدت تمرین بر اساس ضربان قلب اندازه‌گیری شده و پایش لحظه‌ای تنظیم شد. گروه تمرین هوازی نیز هشت هفته و هر هفته سه جلسه تمرین داشتند. در هر جلسه، شرکت کنندگان ۴۰ دقیقه تمرین مداوم با شدت ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب روی نوارگردان انجام دادند (۱۲). شدت تمرینات نیز از طریق پایش لحظه‌ای ضربان قلب تنظیم شد. برای تعیین حداکثر ضربان قلب، یک آزمون عملی روی تردمیل اجرا شد. ابتدا شرکت کنندگان پس از گرم کردن، یک تست افزایشی تدریجی انجام دادند که تا رسیدن به خستگی ادامه داشت. به این ترتیب حداکثر ضربان قلب ثبت شد و برای تنظیم شدت تمرینات استفاده گردید. در طول جلسات تمرینی، ضربان قلب شرکت کنندگان به طور لحظه‌ای پایش شد تا شدت تمرینات کنترل گردد.

ابزار و روش‌ها اندازه‌گیری متغیرها: برای ارزیابی ظرفیت و حجم‌های ریوی، از دستگاه اسپیرومتری بایونت مدل SPM7 استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در حالت ایستاده و بدون فعالیت انجام شد. پارامترهای حجم بازدمی اجباری در یک ثانیه^۵ و ظرفیت حیاتی

¹ Maximum Herat Rate (HRmax)

² Volume of Oxygen Maximum (VO₂max)

³ Rest Heart Rate (HRrest)

⁴ maximal exercise test

⁵ Forced Expiratory Volume in One Second (FEV1)

اجباری^۱ برای هر شرکت کننده سه بار تکرار شدند تا دقت نتایج تضمین شود. به منظور اندازه گیری شاخص های التهابی، نمونه های خونی ۵ میلی لیتری در دو مرحله (قبل و بعد از دوره تمرینی) در شرایط استراحت جمع آوری شدند. شاخص های CPK، CRP و VEGF با استفاده از روش الایزا^۲ و مطابق با پروتکل های استاندارد روش های آزمایشگاهی مورد سنجش قرار گرفتند.

روش های آماری: پس از اجرای دوره تمرینی و جمع آوری داده ها، برای مقایسه بین گروهی متغیرهای وابسته و کنترل اثر مقادیر اولیه، از روش تحلیل کوواریانس^۳ استفاده شد. در این روش، مقادیر پیش آزمون به عنوان کوواریانس وارد مدل شدند تا تأثیر خالص مداخله بر متغیرهای پس آزمون مشخص شود. در مواردی که نتایج کوواریانس نشان دهنده تفاوت معنی دار بین گروه ها بود، برای تعیین محل دقیق تفاوت بین گروه ها، از آزمون تعقیبی بونفرونی^۴ استفاده گردید تمامی تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۷ انجام شد و سطح معنی داری آماری در تمامی آزمون ها کمتر از $p < 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته ها

مشخصات دموگرافیک شرکت کنندگان گروه های تمرینی و کنترل در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. توصیف (میانگین $\pm$ انحراف معیار) مشخصات دموگرافیک شرکت کنندگان

متغیرها گروه ها	سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتیمتر)	حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه)
تمرین هوازی	21.1 ± 1.7	55.3 ± 8.7	161.5 ± 3.9	50.06 ± 1.9
تمرین پلاریزه	22.5 ± 1.6	58.1 ± 8.5	166.2 ± 4.5	49.8 ± 1.7
کنترل	22.1 ± 1.6	58.5 ± 9.9	165.9 ± 7	49.50 ± 1.6

نتایج آزمون تحلیل کوواریانس (جدول دو) نشان داد که تنها در متغیر CRP، تفاوت معنی داری بین گروه ها وجود دارد ($p = 0.004$). در مقابل، برای سایر متغیرها شامل FVC، FEV1، CPK و VEGF؛ اختلاف معنی داری بین گروه ها مشاهده نشد. نتایج حاصل از آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که اختلاف میانگین مقدار CRP در گروه پلاریزه بطور معنی داری پایین تر از گروه کنترل (2.10 میلی گرم بر لیتر) و معنی دار ($p = 0.006$) است. اما اختلاف میانگین مقدار این پروتئین بین گروه هوازی و کنترل (1.35 میلی گرم بر لیتر؛ $p = 0.12$) و بین گروه تمرین پلاریزه و هوازی (0.75 میلی گرم بر لیتر؛ $p = 0.56$) معنی دار نبود.

جدول ۲. توصیف و مقایسه شاخص های اسپرومتری FVC و FEV1 و سطوح سرمی CRP، CPK و VEGF با استفاده از روش

¹ Forced Vital Capacity (FVC)

² ELISA

³ ANCOVA

⁴ Bonferroni post hoc test

متغیرها	گروه‌ها	پیش آزمون	پس آزمون	F	η^2	P
FVC (لیتر)	تمرین هوازی	۲/۷۲ ± ۰/۳۹	۳/۱۱ ± ۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۰۶	۰/۵۹
	تمرین پلاریزه	۲/۶۹ ± ۰/۴۶	۳/۳۵ ± ۰/۳۹			
	کنترل	۳/۰۶ ± ۰/۵۲	۳/۲۱ ± ۰/۵۲			
FEV1 (لیتر)	تمرین هوازی	۲/۶۴ ± ۰/۳۷	۳/۱ ± ۰/۵۸	۱/۳۷	۰/۱۳	۰/۲۷
	تمرین پلاریزه	۲/۶۷ ± ۰/۴۵	۳/۲۵ ± ۰/۳۴			
	کنترل	۳/۰۴ ± ۰/۵۵	۳/۱ ± ۰/۴۶			
CPR (میلی گرم/لیتر)	تمرین هوازی	۴/۸ ± ۱/۵	۱/۶ ± ۰/۶۱	۶/۶۶	۰/۴۳	۰/۰۰۷*
	تمرین پلاریزه	۴/۳۸ ± ۱/۳	۰/۹۸ ± ۰/۶			
	کنترل	۳/۳۸ ± ۰/۴۲	۳/۳۴ ± ۰/۴۳			
CPK (میلی گرم/لیتر)	تمرین هوازی	۸۹/۱ ± ۱۹	۸۷/۱ ± ۲۴	۲/۳۲	۰/۲۱	۰/۱۲
	تمرین پلاریزه	۱۰۶/۵۷ ± ۱۳/۵۶	۱۰۶/۷۱ ± ۱۱/۷۹			
	کنترل	۱۰۷/۲۹ ± ۱۹/۷۴	۱۲۷/۱۴ ± ۱۴/۱۹			
VEGF (پیکوگرم/لیتر)	تمرین هوازی	۸/۲۲ ± ۲/۵	۱۰/۷۴ ± ۲/۳	۲/۰۶	۰/۲۲	۰/۰۸
	تمرین پلاریزه	۹/۵۲ ± ۲/۹۷	۱۲/۱۹ ± ۳/۱۳			
	کنترل	۱۱/۱ ± ۳/۲۵	۱۱/۳۹ ± ۰/۰۲			

* نشانه تفاوت معنی‌دار بین گروهی‌ها در سطح $p < ۰/۰۵$: FVC: ظرفیت حیاتی اجباری، FEV1: حجم بازدمی اجباری در ثانیه اول، CRP: پروتئین واکنشی C: CPK: کراتین فسفاتاز، VEGF: عامل رشد اندوتلیال عروقی

بحث

در این مطالعه که با هدف بررسی تأثیر تمرین‌های هوازی و پلاریزه بر عملکرد تنفسی، التهاب سیستمیک و قابلیت رشد عروقی انجام شد، مشخص گردید که در مورد عملکرد ریوی هر دو نوع تمرین در مقادیر FVC و FEV1 بهبود ایجاد کردند هرچند این تغییرات از منظر آماری در سطح معنی‌داری قرار نگرفتند. همچنین کاهش معنی‌دار CRP در گروه‌های تمرینی مشاهده شد اما در میزان CPK تغییری معنی‌دار مشاهده نشد. در حالی که سطح VEGF گرایش به افزایش داشت اما به سطح معنی‌دار نرسید.

در شاخص‌های عملکرد ریوی شامل FEV₁ و FVC، هرچند افزایش‌هایی پس از دوره تمرینی مشاهده شد، اما این تغییرات از نظر آماری معنادار نبودند. با این حال، روند افزایشی مشاهده‌شده ممکن است با سازگاری‌های فیزیولوژیکی مرتبط با تمرین در عضلات تنفسی و بافت ریوی در ارتباط باشد. بر اساس شواهد پیشین، تمرین‌های هوازی می‌توانند از طریق افزایش تعداد و عملکرد میتوکندری‌ها در عضلات تنفسی، ظرفیت اکسیداتیو را بهبود بخشیده و خستگی عضلات تنفسی را کاهش دهند؛ در نتیجه بازده دم و بازدم بهبود یافته و حجم‌های ریوی ارتقا می‌یابد (۱۳). همچنین، در تمرینات پلاریزه، اعمال بارهای مکانیکی متناوب و شدت‌های متغیر، می‌تواند مسیرهای سیگنالی خاصی مانند مسیر پروتئین کیناز فعال‌شونده توسط میتوژن^۱ می‌شود که این امر در سلول‌های اندوتلیال منجر تحریک Angiogenesis می‌گردد (۱۴). گسترش شبکه مویرگی در بافت ریوی ممکن است موجب بهبود تبادل گازی و افزایش کارایی خون‌رسانی شود که در نهایت به ارتقا عملکرد ریوی کمک می‌کند (۱۵). اگرچه در این مطالعه به سطح معنی‌دار نرسید.

در ارتباط با شاخص التهابی، نتایج مطالعه حاضر کاهش معنی‌داری را در سطح CRP در هر دو گروه تمرینی را نسبت به کنترل نشان داد. این یافته نشان‌دهنده تأثیر ضدالتهابی تمرینات منظم هوازی و پلاریزه است. مکانیسم این اثر می‌تواند این اثر عمدتاً به دلیل آزادسازی میوکین‌هایی مانند اینترلوکین ۶^۲ از عضلات در حال فعالیت باشد که با افزایش تولید مدیاتورهای ضدالتهابی مسیرهای التهابی را مهار می‌کنند. این کاهش معنی‌دار در CRP با مطالعاتی هم‌راستا است که اثرات ضدالتهابی فعالیت بدنی را تأیید کرده‌اند (۱۶). در بررسی سطح آنزیم CPK به عنوان شاخص آسیب عضلانی تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها مشاهده نشد، با این حال در گروه‌های تمرینی تمایل به کاهش یا ثبات نسبی در مقادیر این آنزیم دیده شد. این الگو می‌تواند حاکی از آغاز سازگاری عضلانی در برابر استرس تمرینی و احتمالاً افزایش بیان پروتئین‌های محافظتی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانیو سایر مکانیسم‌های ترمیمی در عضلات باشد (۱۷). به‌طور معمول، در مراحل ابتدایی تمرین، سطح CPK ممکن است به دلیل آسیب اولیه عضلات افزایش یابد، اما با تداوم تمرین و فعال شدن مسیرهای تطبیقی، میزان آن کاهش یافته یا در سطح پایداری قرار می‌گیرد. عدم افزایش معنی‌دار CPK در این مطالعه را می‌توان به شدت و حجم تمرینات اعمال‌شده نسبت داد که احتمالاً در محدوده‌ای قرار داشته‌اند که سبب بروز آسیب عضلانی قابل‌توجه نشده‌اند. باید توجه داشت که در کنار عواملی مانند شدت و نوع تمرین، مدت‌زمان انجام تمرینات ورزشی نیز می‌تواند نقش مهمی در میزان تغییرات CPK ایفا کند. شواهد نشان می‌دهند که تداوم تمرینات در دوره‌های بلند مدت می‌تواند منجر به کاهش سطح CPK شود. این کاهش احتمالاً به دلیل افزایش تطابق‌های فیزیولوژیک و بهبود فرایندهای ترمیم عضلانی است که

¹ MAPK (Mitogen-Activated Protein Kinase)

² Interleukin 6 (IL-6)



منجر به افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی و کاهش التهاب می شود (۷). از سوی دیگر، باید به وضعیت آمادگی جسمانی آزمودنی ها نیز توجه داشت. شرکت کنندگان در این مطالعه از نظر فیزیکی فعال بودند؛ لذا احتمال می رود که از پیش با فشارهای تمرینی سازگار شده باشند. مطالعات قبلی گزارش داده اند که در افراد تمرین دیده، پاسخ آنزیم های عضلانی نظیر CPK به تمرینات شدید، کمتر از افراد غیر تمرین دیده است (۱۸). بنابراین، می توان چنین استنباط کرد که آزمودنی ها در این پژوهش، پیش سازگاری هایی نسبت به نوع تمرین داشته اند که موجب کاهش آسیب عضلانی و در نتیجه، عدم تغییر معنی دار سطح CPK شده است.

در نهایت، اگرچه افزایش سطح VEGF در هر دو گروه تمرینی مشاهده شد اما این تغییر از نظر آماری معنی دار نبود. با این حال این گرایش افزایشی ممکن است حاکی از فعال سازی اولیه مکانیسم های Angiogenesis در پاسخ به تمرین باشد. VEGF یکی از اصلی ترین تنظیم کننده های رشد عروق خونی جدید است که عمدتاً در پاسخ به شرایط هیپوکسی موضعی، استرس مکانیکی و تحریک های متابولیکی ناشی از فعالیت ورزشی بیان می شود (۱۹، ۲۰). مکانیسم هایی که منجر به افزایش VEGF در تمرینات ورزشی می شوند شامل فعال شدن مسیر فاکتور القاشده توسط هیپوکسی^۱ در پاسخ به افت موقتی اکسیژن بافتی، افزایش برش جریان^۲ در دیواره عروق و تحریک اندوتلیوم، و فعال سازی پروتئین های سیگنال دهنده ای نظیر MAPK هستند. این مسیرها در نهایت بیان ژن VEGF را افزایش داده و شرایط را برای رشد عروق جدید در عضله یا بافت ریوی فراهم می کنند (۲۰، ۲۱). با توجه به اینکه تمرینات حاضر در این مطالعه فقط به مدت هشت هفته انجام شده و شدت آن در محدوده متوسط تا بالا تنظیم شده بود، ممکن است مدت زمان تمرین کافی برای القا افزایش معنی دار VEGF نبوده باشد. مطالعات پیشین نشان داده اند که تمرینات ورزشی مداوم، خصوصاً در شدت های بالا یا در شرایط محیطی خاص مانند ارتفاع یا هیپوکسی، تأثیر بارزتری بر افزایش سطح VEGF دارند (۲۳). همچنین نوع فیبرهای عضلانی فعال شده، جنسیت و سطح آمادگی اولیه افراد می تواند بر پاسخ VEGF به تمرین تأثیر گذار باشد. در مجموع، می توان چنین نتیجه گرفت که تمرینات هوازی و پلاریزه اگرچه به تنهایی منجر به افزایش معنی دار VEGF در این بازه زمانی نشدند، اما نشانه هایی از تحریک مسیرهای رگ زایی را نشان داده اند. انتظار می رود که با تداوم تمرین در بازه های زمانی طولانی تر یا استفاده از شدت های تمرینی بالاتر، این اثر تقویت شده و به سطوح معنی دار آماری برسد. این موضوع می تواند اهمیت طراحی مناسب پروتکل تمرینی با توجه به هدف بیولوژیکی مورد نظر (از جمله بهبود خون رسانی و تبادل گازی ریوی) را نشان دهد.

¹ HIF-1 α (hypoxia-inducible factor-1 alpha)

² shear stress

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اجرای هر دو الگوی تمرینی هوازی و پلاریزه به مدت هشت هفته، موجب بهبود معنی دار در شاخص‌های عملکرد ریوی، نشانگرهای التهابی و فاکتور رشد اندوتلیال عروقی شد و تفاوت آماری معنی داری میان اثرات این دو نوع تمرین مشاهده نگردید. بر این اساس، می‌توان هر دو رویکرد تمرینی را به عنوان گزینه‌هایی مؤثر جهت ارتقای وضعیت عملکرد ریوی و تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی مرتبط در نظر گرفت. انتخاب میان این دو شیوه می‌تواند بر پایه اهداف تمرینی، وضعیت سلامت و ترجیحات فردی صورت گیرد. با این وجود، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی اثرات این دو نوع تمرین در بازه‌های زمانی طولانی‌تر بررسی شود، چراکه ممکن است در مداخلات بلندمدت‌تر، تفاوت‌های معنی دارتری در پاسخ‌های فیزیولوژیکی ناشی از هر یک از این روش‌ها بروز یابد.

تعارض منافع

در این پژوهش هیچ گونه تضاد منافع بین نویسندگان مقاله وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

این مقاله بر اساس پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی در گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شده و با حمایت مالی این دانشگاه در سال ۱۴۰۳ انجام شده است.

منابع

1. MacInnis MJ, Gibala MJ. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of physiology*. 2017;595(9):2915-30. <https://doi.org/10.1113/jp273196>
2. Stavrinou PS, Astorino TA, Giannaki CD, Aphas G, Bogdanis GC. Customizing intense interval exercise training prescription using the "frequency, intensity, time, and type of exercise"(FITT) principle. *Frontiers in Physiology*. 2025;16:1553846. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1553846>
3. Hackett DA. Lung function and respiratory muscle adaptations of endurance-and strength-trained males. *Sports*. 2020;8(12):160. <https://doi.org/10.3390/sports8120160>
4. Rosenblat MA, Perrotta AS, Vicenzino B. Polarized vs. threshold training intensity distribution on endurance sport performance: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2019;33(12):3491-500. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002618>
5. 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. *Nature reviews immunology* 2011;11(9):607-615. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keu073.002> .
6. Asad M, Torabi Z, Barzegari A, Amouzad Mahdirejei H. Comparison of four Exercise Training Protocol for Eight weeks on Expression of some Antioxidant Enzymes in Heart tissue of Rats. *Journal of Sport Biosciences*. 2021;12(4):473-92. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/joeppa.15.4.42>
7. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British medical bulletin*. 2007;81(1):209-30. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldm014>
8. Evans WS, Blumenthal JB, Heilman JM, Ryan AS, Prior SJ. Effects of exercise training with weight loss on skeletal muscle expression of angiogenic factors in overweight and obese older men. *Journal of Applied Physiology*. 2021;131(1):56-63. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00084.2021>



9. Ben KW, Allistratos E, Afis G, Atsikas C, Ouvis S, Frost D. Interval training for performance: a scientific and empirical practice .Sports Med. 2014;38:1-3. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00002>
10. Azadi B, Boboli L, Khani M, Siahkohian M, Pourrahim A. The Effect of Eight Weeks of Polarized Training on GH/IGF-1 Axis Hormones Response in Active Young Male. J Ardabil Univ Med Sci. 2021;21(1):113-22.
11. Uth N, Sørensen H ,Overgaard K, Pedersen PK. Estimation of VO2max from the ratio between HRmax and HRrest-the Heart Rate Ratio Method. Eur J Appl Physiol. 2004;91(1):111-5. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1268-1>
12. Rajabi A, Akbarnejad A, Siahkohian M, Yari M. The response of TNF- α , IL-6 serum levels and lipid profiles to two aerobic training frequencies with the same volume in obese middle-aged women with type 2 diabetic. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2021;14(1):59-72. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/joeppa.14.1.59>
13. Handschin C, Spiegelman BM. The role of exercise and PGC1 α in inflammation and chronic disease. Nature. 2008;454(7203):463-9. <https://doi.org/10.1038/nature06650>
14. Wang X, Liu H, Zhu M, Cao C, Xu Z, Tsatskis Y, et al. Mechanical stability of the cell nucleus—roles played by the cytoskeleton in nuclear deformation and strain recovery. Journal of cell science. 2018; 131 (13): jcs209627.. <https://doi.org/10.1242/jcs.209627>
15. Ross M, Kargl CK, Ferguson R, Gavin TP, Hellsten Y. Exercise-induced skeletal muscle angiogenesis: impact of age, sex, angiocrines and cellular mediators. European journal of applied physiology. 2023;123(7):1415-32. 3. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05128-6>
16. Pedersen BK, Febbraio MA. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. Nature Reviews Endocrinology. 2012;8(8):457-65. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2011.153>
17. Ayubi N, Wibawa J, Callixte C. THE MECHANISM OF PHYSICAL EXERCISES INCREASES HEAT SHOCK PROTEIN 70 (HSP70)(a systematic review). Medical Perspectives/Medični Perspektivi. 2024;29(4) <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2024.4.319168>
18. Ramos-Campo DJ, Ávila-Gandía V, Alacid F, Soto-Méndez F, Alcaraz PE, López-Román FJ, et al. Muscle damage, physiological changes, and energy balance in ultra-endurance mountain-event athletes. Applied physiology, nutrition, and metabolism. 2016;41(8):872-8. . <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0093>
19. Birot OJ, Koulmann N, Peinnequin A, Bigard XA. Exercise-induced expression of vascular endothelial growth factor mRNA in rat skeletal muscle is dependent on fibre type. J Physiol 2003;552(1):213-221. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.043026>
20. Lucchesi M, Di Marsico L, Guidotti L, Lulli M, Filippi L, Marracci S, et al. Hypoxia-Dependent Upregulation of VEGF Relies on β 3-Adrenoceptor Signaling in Human Retinal Endothelial and Müller Cells. International Journal of Molecular Sciences. 2025;26(9):4043. <https://doi.org/10.3390/ijms26094043>
21. Bing Xin Song , Laiba Azhar , Grace Ka Yi Koo, et al. *The effect of exercise on blood concentrations of angiogenesis markers in older adults: A systematic review and meta-analysis.* Neurobiology of Aging. 2024;135:(15-25). <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2023.12.004>
22. ecilie Morland, Krister A. Andersson, yvind P. Haugen, et al. *Exercise induces cerebral VEGF and angiogenesis via the lactate receptor HCAR1.* Nature Communications. 2017; 8:15557. <https://doi.org/10.3410/f.727641638.793533771>
23. *The role of the ERK signaling pathway in promoting angiogenesis.* Frontiers in Cell and Developmental Biology. Yue-Yue Song, Dan Liang, De-Kun Liu et al. 2023;22. <https://doi.org/10.3389/fcell.2023.1164166>

نسخه پیش از انتشار ویدئویش نشده