



Effects of Eight Weeks of Aerobic Exercise Training on Pulmonary Function Indices, Inflammatory Markers, and Vascular Endothelial Growth Factor in Active Young Females

Bahar Saljoughi Beranji¹  , Elnaz Rezayi¹ 

Roghayyeh Afroundeh (Ph.D)²  , Marefat Siahkhouhian (Ph.D)*²  

¹ M.Sc Student of Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sport Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

² Professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Research Article

Abstract

Background and Objective: Regular physical activity can improve the function of various body systems and exert significant effects on pulmonary function, inflammation, and vascular growth factors. The present study aimed to determine the effects of eight weeks of aerobic exercise training on pulmonary function, C-reactive protein (CRP), creatine phosphokinase (CPK), and vascular endothelial growth factor (VEGF) in active young females.

Methods: This field trial was conducted on 20 active young females aged 19 to 24 years at University of Mohaghegh Ardabili in 2024. The subjects were randomly assigned to two groups of 10, including an intervention group and a control group. The intervention group performed a regular aerobic exercise training program for eight weeks (three sessions per week) at an intensity of 70% of their maximum heart rate (HR_{max}) for 40 minutes per session, whereas the control group had no specific physical activity. Pulmonary function indices, including forced vital capacity (FVC) and forced expiratory volume in one second (FEV₁), as well as CRP, CPK, and VEGF levels, were measured before and after the training period.

Results: Following 8 weeks of aerobic exercise training, the intervention group demonstrated a significant increase in FVC (3.11 ± 0.61) and FEV₁ (3.10 ± 0.58) compared to the control group ($P < 0.05$), alongside a statistically significant decrease in CRP (1.6 ± 0.61) ($P < 0.05$). However, changes in CPK levels were not significant. Additionally, VEGF (9.74 ± 2.3) significantly increased post-intervention compared to the control group ($P < 0.05$). Between-group comparisons revealed no significant differences at the pre-test stage. Conversely, a statistically significant difference in CRP levels was observed between the groups at the post-test stage ($P < 0.05$).

Conclusion: Eight weeks of moderate-intensity aerobic exercise training (at 70% of HR_{max}) was effective in improving pulmonary function, reducing CRP, and increasing VEGF in active young females.

Keywords: Exercise; Pulmonary Function Tests; C-Reactive Protein; Vascular Endothelial Growth Factor-A

*Corresponding Author: Marefat Siahkhouhian (Ph.D), E-mail: m_siahkohian@uma.ac.ir



Received 6 Apr 2025

Received in revised form 28 May 2025

Accepted 3 Jun 2025

Available Online 15 Jul 2026

Cite this article as: Saljoughi Beranji B, Rezayi E, Afroundeh R, Siahkhouhian M. [Effects of Eight Weeks of Aerobic Exercise Training on Pulmonary Function Indices, Inflammatory Markers, and Vascular Endothelial Growth Factor in Active Young Females]. J Gorgan Univ Med Sci. 2026; 28(1): 48-57. [Article in Persian]





Introduction

Aerobic exercise refers to activities characterized by continuous, rhythmic, and relatively prolonged movements, which are primarily sustained by the aerobic energy system. Typically, the intensity of these exercises ranges from 50% to 85% of the heart rate reserve, or 40-70% of maximal oxygen uptake (VO_2max). Pulmonary function is a critical factor in determining an individual's level of physical fitness and overall health. Indices such as forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV1), and total lung capacity (TLC) are recognized as the primary metrics of pulmonary function, which can be enhanced through aerobic exercise training. C-reactive protein (CRP) is a systemic inflammatory marker, and its elevation is consistently associated with an increased risk of cardiovascular diseases. CRP is identified as a novel risk factor for atherosclerosis, the levels of which increase with a sedentary lifestyle. Although physical activity induces significant alterations in immune function markers, the nature and magnitude of these changes depend on various factors. These factors include the type, intensity, and duration of the exercise, the specific immune parameter being investigated, the physical fitness level and athletic background of the individuals, environmental conditions such as ambient temperature, and the timing of blood sampling. Generally, the magnitude of change in any given immune marker is proportional to the dose, intensity, and duration of the physical activity. Creatine phosphokinase (CPK) is recognized as a vital enzyme in the process of supplying energy to muscles; its concentration in the blood elevates during muscle injury or inflammation. Physical activities, particularly high-intensity exercises, induce the release of CPK into the bloodstream due to mild injuries to the muscle fibers. Conversely, in sedentary individuals, aerobic and resistance training culminates in reduced CPK and CRP levels, underscoring the role of regular exercise in attenuating systemic inflammation and muscle damage.

Another important factor in the present study is the evaluation of capillary density through the measurement of vascular endothelial growth factor (VEGF). Although numerous factors are involved in the process of angiogenesis, VEGF appears to be the most critical influencing factor. Research investigating the impact of exercise on VEGF levels demonstrates that physical activity, in both the short and long term, can influence the levels of this factor. Findings demonstrate that endurance training leads to an increase in angiogenesis-related factors across various organs; however, this effect is dependent on the type and intensity of the exercise. The present study aimed to determine the effect of eight weeks of aerobic exercise training on pulmonary function, CRP, CPK, and VEGF in active young females.

Methods

This field trial was conducted on 20 active young females aged 19 to 24 years.

The inclusion criteria comprised physical well-being and a history of moderate-intensity physical activity over the preceding six months, without any participation in professional or specific structured athletic training. The exclusion criteria included the presence of chronic respiratory and cardiovascular diseases and the use of medications affecting these systems, as well as any factors that could potentially influence the final outcomes of the research or disrupt the implementation of the study protocol.

To control for the effects of confounding variables, baseline matching was performed between the two groups prior to the intervention, based on age, body mass index (BMI), and

VO_2max . Additionally, the general health status of the participants was assessed through an informal oral interview, which included questions regarding medical history, medication use, and underlying health issues. To determine the subjects' VO_2max , a maximal exercise test was initially utilized to directly measure the maximal heart rate (HR_{max}). Subsequently, resting heart rate (HR_{rest}) was recorded under quiet and calm conditions. Using the ratio of these two values, the participants' VO_2max was calculated indirectly. Prior to the commencement of the study, written informed consent was obtained from all participants.

Eligible participants were randomly assigned to two groups of 10, including an aerobic training group and a control group.

The intervention group underwent an aerobic training program for eight weeks, whereas the control group had no physical activity.

The training program consisted of three sessions per week, with the training executed on a treadmill. Each session comprised 40 minutes of exercise at an intensity equivalent to 70% of the HR_{max} . In the training protocol of this study, the participants—who possessed a high level of aerobic fitness prior to the commencement of the research—initiated their training based on an intensity of 70% of their HR_{max} , and the training intensity was progressively increased. To adjust the training intensity, each participant's HR_{max} was initially determined via a practical test on the treadmill following a standardized warm-up. In this test, the training intensity was incrementally increased until the individual reached exhaustion, and the HR_{max} was recorded using a Polar heart rate sensor (Polar H10, Finland). Throughout the training sessions, the heart rate was continuously monitored, and if necessary, the treadmill speed was adjusted to maintain the training intensity within the designated target zone. All training sessions were conducted under the supervision of an expert coach.

To evaluate changes in pulmonary function and to measure lung volumes and capacities, an SPM7 spirometer (Bayonet, SPM7, Iran) was utilized. Measurements were performed in a standing position under resting conditions. Each test was repeated three times for each participant to ensure the accuracy and reliability of the results. The parameters assessed included FEV1 and FVC. For the assessment of hematological indicators, blood samples were collected from the participants under resting conditions at two time points: Pre-test (before the initiation of the eight-week training) and post-test (after the completion of the eight-week training). The CRP, CPK, and VEGF levels were quantified using advanced laboratory techniques, including the Gptec-Belgium kit, the Karmania Pas Gen Knowledge-Based Company (Rafsanjan, Iran), and the Biorex Fars-Iran kit, respectively. Primary outcomes of this study included pulmonary function (FEV1 and FVC), as well as CRP, CPK, and VEGF markers, all of which were evaluated at the pre-test and post-test stages in both groups. Secondary outcomes comprised demographic data, including age, BMI, VO_2max , general health status, and the adherence rate to the training program within the intervention group. These variables were assessed to control for confounding factors and to serve as complementary analyses.

To assess within-group changes, a paired t-test was utilized, and for between-group comparisons, an analysis of covariance (ANCOVA) was employed. The significance level for all tests was set at less than 0.05.

Results

The mean values of FVC in the intervention group increased significantly following the training ($P < 0.016$). This variable increased from a baseline mean value of 2.72 ± 0.39 L in the pre-



test to 3.11 ± 0.61 L in the post-test. Similarly, the mean FEV1 value increased significantly from 2.64 ± 0.37 L in the pre-test to 3.10 ± 0.58 L in the post-test ($P < 0.002$).

The CRP inflammatory marker demonstrated a statistically significant decrease in the intervention group ($P < 0.018$). The mean value of this marker decreased from 4.8 ± 1.5 mg/L in the pre-test to 1.6 ± 0.61 mg/L in the post-test. The mean CPK value was 89.1 ± 19 mg/L in the pre-test and decreased to 87.1 ± 24 mg/L in the post-test; however, this reduction was not statistically significant.

VEGF levels increased significantly in the intervention group ($P < 0.001$). The mean value of this factor increased from 8.22 ± 2.5 pg/mL in the pre-test to 9.74 ± 2.3 pg/mL in the post-test.

In the post-test phase, a statistically significant difference was observed in CRP levels between the intervention and control groups ($P < 0.03$). Other between-group comparisons for the investigated variables were not statistically significant. The difference in CPK levels between the training and control groups ($F = 4.17$, $\eta^2 = 390.7$) approached statistical significance ($P < 0.06$). However, no significant difference was observed in the between-group comparisons during the post-test phase.

Conclusion

According to the findings of this study, FVC and FEV1 values increased significantly following eight weeks of aerobic exercise training. The mean FVC values demonstrated statistically significant increases post-training, indicating an improvement in lung capacity and the ability to store and deplete air from the lungs. Moreover, the mean FEV1 values increased significantly, reflecting an enhanced expiratory capacity and increased efficiency of the respiratory system.

In the present study, aerobic exercise training resulted in a significant decrease in the CRP level, whereas the reduction in CPK level was not statistically significant. These findings suggest that aerobic activities can modulate inflammatory responses; however, they may not have a direct effect on CPK. CRP is an inflammatory protein that increases in response to systemic inflammation. The significant reduction in CRP observed in the post-test demonstrates the positive effect of aerobic training on mitigating inflammation.

CPK is one of the markers of muscle damage that typically elevates following strenuous physical activities. Although the results revealed a decrease in CPK from 89.1 ± 19 mg/L to 87.1 ± 24 mg/L, this change was not statistically significant. This

finding could be attributed to the participants' baseline activity levels, as individuals who were already active might be more adapted to aerobic training, thereby exhibiting fewer changes in this marker. It is probable that if the duration of the aerobic training were extended beyond eight weeks, the reduction in CPK might reach a statistically significant level.

The findings demonstrate a positive effect of aerobic training on stimulating the production and release of VEGF, which plays a key role in angiogenesis and the enhancement of tissue oxygenation. VEGF is one of the most critical regulatory factors in the growth and development of new capillary networks, secreted in response to conditions such as hypoxia (tissue oxygen deficiency) and increased metabolic demand. Aerobic training, particularly moderate- to high-intensity activities, induces an increase in blood flow, local oxygen depletion, and the activation of hypoxia-inducible factor-1 α (HIF-1 α)-dependent signaling pathways, ultimately causing elevated VEGF expression and the reinforcement of angiogenic processes.

Ethical Statement

This study was approved by the Research Ethics Committees of Islamic Azad University- Ardabil Branch (IR.IAU.ARDABIL.REC.1403.219).

Authors' Contributions

Bahar Saljoughi Beranji: Project execution, Data collection, Data analysis, Interpretation of the results, Drafting of the initial manuscript and Approval of the final manuscript.

Elnaz Rezayi: Project execution and Data collection.

Roghayeh Afroudeh (Ph.D): Project administration and design, Data analysis, Interpretation of the results and Approval of the final manuscript.

Marefat Siahkoubian (Ph.D): Project administration and design, Data analysis, Interpretation of the results and Approval of the final manuscript.

Conflicts of Interest

No conflicts of interest.

Acknowledgement

This article has been extracted from the master's thesis of Ms. Bahar Saljoughi Beranji in Exercise Physiology at the Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili. The authors would like to thank all the participants who took part in this study.

Eight weeks of moderate-intensity aerobic exercise training was effective in improving pulmonary function, reducing CRP, and increasing VEGF in active young females.



تحقیقی

اثر هشت هفته تمرین هوازی بر شاخص‌های عملکرد ریوی، شاخص‌های التهابی و فاکتور رشد اندوتلیال عروقی در دختران جوان فعال

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

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ^۲ استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: فعالیت بدنی منظم می‌تواند عملکرد سیستم‌های مختلف بدن را بهبود بخشد و اثراتی بر عملکرد ریوی، التهاب و عوامل رشد عروقی داشته باشد. این مطالعه به منظور تعیین اثر هشت هفته تمرین هوازی بر عملکرد ریوی، پروتئین واکنشی C (CRP)، آنزیم کراتین فسفوکیناز (CPK) و فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) در دختران جوان فعال انجام شد.

روش بررسی: این کارآزمایی میدانی روی ۲۰ دختر جوان فعال با دامنه سنی ۱۹ الی ۲۴ سال در دانشگاه محقق اردبیلی طی سال ۱۴۰۳ انجام شد. آزمودنی‌ها به‌طور تصادفی به دو گروه ۱۰ نفره مداخله و شاهد تقسیم شدند. گروه مداخله، برنامه منظم تمرینات هوازی را به مدت هشت هفته (سه جلسه در هفته) با شدت ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۴۰ دقیقه در هر جلسه اجرا کرد. در حالی که گروه کنترل فعالیت ورزشی خاصی نداشت. شاخص‌های عملکرد ریوی شامل ظرفیت حیاتی اجباری (FVC)، حجم بازدمی اجباری در یک ثانیه (FEV1)، شاخص‌های CRP، CPK و VEGF قبل و بعد از دوره تمرینی اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: پس از ۸ هفته تمرین هوازی، در گروه مداخله $FVC (3/11 \pm 0/61)$ و $FEV1 (3/10 \pm 0/58)$ به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گروه شاهد افزایش یافت ($P < 0/05$) و کاهش آماری معنی‌داری در CRP ($1/6 \pm 0/61$) یافت شد ($P < 0/05$). با این حال، تغییرات CPK معنی‌دار نبود. VEGF نیز با میانگین $9/74 \pm 2/3$ پس از مداخله به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گروه شاهد افزایش یافت ($P < 0/05$). در مقایسه بین گروه‌ها در مرحله پیش‌آزمون تفاوت معنی‌دار نبود. در مرحله پس‌آزمون گروه‌ها از نظر شاخص CRP تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده شد ($P < 0/05$). نتیجه‌گیری: تمرینات هوازی با شدت متوسط (۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب) به مدت هشت هفته در بهبود عملکرد ریوی، کاهش CRP و افزایش VEGF در دختران جوان فعال موثر بود.

واژه‌های کلیدی: تمرین، آزمون‌های عملکرد ریوی، پروتئین واکنش‌گر C، فاکتور رشد اندوتلیال عروقی A

* نویسنده مسئول: دکتر معرفت سیاه کوهیان، پست الکترونیکی: m_siahkohian@uma.ac.ir

نشانی: اردبیل، خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تلفن: ۰۴۵-۳۱۵۰۵۶۶۰

وصول ۱۴۰۴/۱/۱۷ اصلاح نهایی ۱۴۰۴/۳/۷ پذیرش ۱۴۰۴/۳/۱۳ انتشار ۱۴۰۵/۴/۲۴

مقدمه

بروز خستگی زودرس می‌گردد.^{۱،۲} عملکرد ریوی یکی از عوامل مهم در تعیین سطح آمادگی جسمانی و سلامت عمومی افراد است. شاخص‌هایی مانند ظرفیت حیاتی اجباری (FVC) (Forced Vital Capacity)، حجم هوای بازدمی اجباری در ثانیه اول (Forced Expirator Volume in the First Second: FEV1) و ظرفیت کلی ریه (TLC) به عنوان معیارهای اصلی عملکرد ریوی شناخته می‌شوند که به وسیله تمرینات هوازی قابل بهبود هستند.^۴ بنابراین، شناخت عوامل و اقدام در جهت بهبود کارایی این دستگاه از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرفی در طی فعالیت فیزیکی، عضلات آسیب دیده و منجر به ترومای بافتی می‌گردد. این تروما یک فرآیند مشخص از تجزیه و بازسازی سلول‌های عضلانی را آغاز

ورزش هوازی (Aerobic Exercise) فعالیت‌هایی شامل حرکات مداوم، ریتمیک و نسبتاً طولانی‌مدت هستند و عمدتاً از طریق سیستم انرژی هوازی انجام می‌شوند.^۱ معمولاً شدت این تمرینات در محدوده ۵۰ تا ۸۵ درصد حداکثر ضربان قلب ذخیره یا ۴۰ تا ۷۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی قرار دارند. با انجام این نوع تمرین، فعالیت‌های متابولیکی بدن افزایش یافته و بدن برای پاسخگویی به آن نیاز به فعالیت بیشتر هر دو سیستم قلبی و تنفسی دارد. درگیر شدن گروه‌های عضلانی بزرگ در این فعالیت‌ها نیازمند افزایش ظرفیت اکسیژن رسانی است و در صورت ناکارآمدی این دو سیستم قلبی و تنفسی، عملکرد کلی بدن با مشکل مواجه شده و منجر به

می‌کند که به‌طور مستقیم با شبکه‌های عروقی و سایر انواع سلولی در ارتباط است. سیستم ایمنی به‌عنوان بخشی از این فرآیند در تنظیم و هماهنگی سازگاری‌های فیزیولوژیکی دخالت دارد.^۵ پروتئین واکنشی C (C-Reactive Protein-CRP) یک شاخص التهابی سیستمیک است و افزایش آن همواره با افزایش خطر بیماری‌های قلبی عروقی همراه است. از CRP به عنوان یک عامل خطر برای جدید آترواسکروز نام برده می‌شود که با افزایش بی‌حرکی، مقدار آن افزایش می‌یابد.^۶ اگرچه فعالیت ورزشی تغییرات قابل توجهی در شاخص‌های عملکرد سیستم ایمنی ایجاد می‌کند؛ اما ماهیت و میزان این تغییرات به عوامل گوناگونی وابسته است. ازجمله این عوامل می‌توان به نوع، شدت و مدت تمرین، پارامتر ایمنی مورد بررسی، سطح آمادگی جسمانی، پیشینه ورزشی افراد، شرایط محیطی مانند دمای هوا و همچنین زمان نمونه‌گیری خون اشاره کرد. به‌طور کلی، میزان تغییر در هر شاخص ایمنی متناسب با دوز یا شدت و مدت فعالیت ورزشی است.^۷ کراتین فسفوکیناز (Creatine Phosphokinase-CPK) به‌عنوان یک آنزیم حیاتی در فرآیند تأمین انرژی عضلات شناخته می‌شود و هنگام آسیب یا التهاب عضلانی، میزان آن در خون افزایش می‌یابد. فعالیت‌های ورزشی، به‌ویژه تمرینات شدید، به دلیل آسیب‌های خفیف به فیبرهای عضلانی، باعث رها شدن CPK در جریان خون می‌شوند. با این حال، تحقیقات نشان می‌دهند که این افزایش پس از تمرینات پرفشار معمولاً موقتی بوده و نشان‌دهنده سازگاری عضلات و واکنش طبیعی بدن به تمرین است.^۸ از سوی دیگر، تمرینات مقاومتی و هوازی در افراد غیرفعال منجر به کاهش سطوح CPK و CRP می‌شود که این موضوع بیانگر نقش ورزش منظم در کاهش التهاب سیستمیک و آسیب‌های عضلانی است.^۹

یکی دیگر از عوامل مهم در مطالعه حاضر بررسی چگالی مویرگی با اندازه‌گیری فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (Vascular Endothelial Growth Factor -VEGF) است. اگر چه در فرآیند رگزایی عوامل بسیاری موثرند؛ اما بنظر می‌رسد VEGF مهم‌ترین عامل اثرگذار باشد؛ لذا تحقیقات زیادی در این مورد صورت گرفته است.^{۱۰، ۱۱}

تحقیقات انجام شده در باره اثر ورزش بر میزان VEGF نشان می‌دهد که فعالیت‌های ورزشی هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت، می‌توانند سطح این فاکتور را تحت اثر قرار دهند. یافته‌ها حاکی از آن است که تمرینات استقامتی موجب افزایش عوامل مرتبط با رگزایی در اندام‌های مختلف می‌شوند؛ اما این اثر به نوع و شدت تمرین بستگی دارد.^{۱۱} مطالعات مروری اخیر، پتانسیل VEGF را به‌عنوان یک هدف درمانی برای بیماری‌های قلبی-عروقی بررسی کرده‌اند. استفاده از روش‌های درمانی مبتنی بر VEGF همچنان تحت

بررسی است و می‌تواند در ارزیابی میزان مرگ‌ومیر ناشی از نارسایی قلبی و مشکلات عروقی نیز مورد استفاده قرار گیرد.^{۱۲} با وجود شواهد متعدد درباره اثر تمرینات ورزشی بر عملکرد ریوی، شاخص‌های التهابی و فاکتورهای رگزایی، هنوز هم در خصوص اثرات دقیق تمرینات هوازی با شدت مشخص بر مجموعه‌ای هم‌زمان از این شاخص‌ها در جمعیت دختران جوان فعال، ابهاماتی وجود دارد. بسیاری از مطالعات پیشین یا تنها یک متغیر (مثلاً CRP یا VEGF) را بررسی کرده‌اند، یا جمعیت‌های مختلفی مانند افراد سالمند یا بیماران را هدف قرار داده‌اند. با توجه به اینکه دختران دارای سطح فعالیت بدنی پایه‌ای، از یک سو آمادگی اولیه لازم برای پذیرش محرک‌های تمرینی را دارند و از سوی دیگر هنوز به آستانه‌های بالای سازگاری ورزشی نرسیده‌اند؛ بررسی اثر تمرین هوازی در این گروه می‌تواند چشم‌انداز مناسبی از آغاز فرایندهای تطابق فیزیولوژیکی فراهم سازد. این مطالعه به منظور تعیین اثر هشت هفته تمرین هوازی بر عملکرد ریوی، پروتئین واکنشی C (CRP)، آنزیم کراتین فسفوکیناز (CPK) و فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) در دختران جوان فعال انجام شد.

روش بررسی

این کارآزمایی میدانی روی ۲۰ دختر جوان فعال با دامنه سنی ۱۹ الی ۲۴ سال در دانشگاه محقق اردبیلی طی سال ۱۴۰۳ انجام شد. مطالعه با طرحی مبتنی بر پیش‌آزمون و پس‌آزمون اجرا گردید. مداخله تمرینی در شرایط طبیعی دانشگاه و سالن ورزشی محقق اردبیلی انجام گرفت.

برای تعیین حداقل حجم نمونه از نرم‌افزار G*Power-3.1 استفاده شد. در این محاسبه، سطح معناداری برابر با ۰/۰۵ و توان آزمون برابر با ۸۰ درصد در نظر گرفته شد. حجم نمونه بر اساس داده‌های مطالعات پیشین در زمینه اثر تمرین هوازی بر شاخص‌های عملکرد ریوی و التهابی برآورد گردید.^{۱۳، ۱۴} حداقل حجم نمونه مورد نیاز برای هر گروه ۱۰ نفر برآورد گردید. فرآیند نمونه‌گیری به صورت داوطلبانه با غربال‌گری هدفمند و تکمیل پرسشنامه محقق ساخته انجام شد. ابتدا یک فراخوان عمومی در سطح دانشگاه منتشر شد و از دانشجویان علاقه‌مند دعوت به عمل آمد. معیارهای ورود به مطالعه شامل سلامت جسمانی و فعالیت بدنی با شدت متوسط در شش ماه گذشته بدون شرکت در تمرینات حرفه‌ای یا ساختارمند ورزشی خاص بود. معیارهای عدم ورود به مطالعه شامل ابتلا به بیماری‌های مزمن تنفسی و قلبی-عروقی و مصرف داروهای مؤثر بر این سیستم‌ها بودند. معیارهای خروج از مطالعه شامل عواملی بودند که می‌توانستند بر نتایج نهایی تحقیق اثرگذار باشند یا روند اجرای پروتکل را مختل کنند. از جمله این معیارها می‌توان به ابتلا به بیماری‌های حاد یا مزمن تنفسی، عدم حضور منظم در جلسات

تمرینی (غیبت در بیش از ۱۰ درصد جلسات)، مصرف داروها یا مکمل‌هایی با اثرات احتمالی بر شاخص‌های التهابی یا عملکرد ریوی بدون اطلاع محقق، ابتدا به بیماری‌های ویروسی یا تب‌دار در طول دوره مطالعه، عدم همکاری در انجام آزمون‌ها یا نمونه‌گیری‌ها، تغییرات چشمگیر در سبک زندگی یا رژیم غذایی، و بروز آسیب‌دیدگی جسمانی اشاره کرد.

با توجه به اینکه شرکت‌کنندگان از نظر سن، جنسیت و سطح آمادگی جسمانی نسبتاً همگن بودند؛ پس از تخصیص تصادفی، تعادل بین گروه‌ها در متغیرهای پایه شامل سن، وزن و شاخص توده بدنی (BMI) بررسی شد و تفاوت معنی‌داری بین دو گروه وجود نداشت. با توجه به ماهیت مداخله تمرینی، امکان کورسازی کامل شرکت‌کنندگان وجود نداشت؛ زیرا افراد از گروه‌بندی خود مطلع بودند. با این حال، شرکت‌کنندگان از اهداف دقیق مطالعه و نتایج مورد انتظار آگاه نبودند و این موضوع به کاهش سوگیری اطلاعاتی کمک کرد. همچنین، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها توسط فردی انجام شد که از نحوه گروه‌بندی آزمودنی‌ها بی‌اطلاع بود. بنابراین، مطالعه به صورت تک‌سو کور طراحی و اجرا گردید.

برای کنترل اثر متغیرهای مداخله‌گر، قبل از مداخله همسان‌سازی میان دو گروه انجام شد. همسان‌سازی بر اساس متغیرهای سن، شاخص توده بدنی (BMI) و سطح VO_{2max} بود. همین‌طور وضعیت سلامت عمومی شرکت‌کنندگان از طریق مصاحبه شفاهی غیررسمی و سؤالاتی پیرامون سابقه بیماری، مصرف دارو و مشکلات سلامت، بررسی شد. اطلاعات این متغیرها جمع‌آوری شده و افراد به گونه‌ای در گروه‌ها قرار گرفتند که میانگین و پراکندگی این متغیرها در دو گروه تا حد امکان مشابه باشد.^{۱۵} برای تعیین توان هوازی حداکثر (VO_{2max}) آزمودنی‌ها، ابتدا از یک آزمون ورزشی بیشینه استفاده شد تا ضربان قلب بیشینه (HR_{max}) به صورت مستقیم اندازه‌گیری شود. سپس ضربان قلب در حالت استراحت (HR_{rest}) در شرایط آرام ثبت شد. با استفاده از نسبت این دو مقدار، توان هوازی حداکثر آزمودنی‌ها به صورت غیرمستقیم محاسبه شد. این روش در شرایطی که ابزار اندازه‌گیری مستقیم مصرف اکسیژن در دسترس نیست؛ گزینه‌ای معتبر و کاربردی محسوب می‌شود. پیش از شروع مطالعه، اطلاعات کامل در مورد اهداف، مراحل، مزایا و مخاطرات احتمالی برای شرکت‌کنندگان شرح داده شد و رضایت‌نامه کتبی آگاهانه از همه شرکت‌کنندگان اخذ شد. تأکید شد که شرکت در پژوهش داوطلبانه بوده و امکان انصراف در هر مرحله وجود دارد. اطلاعات افراد محرمانه باقی ماند و تنها برای اهداف پژوهشی استفاده شد. همچنین، تمامی تمرینات تحت نظارت مربی متخصص و با رعایت ایمنی انجام گرفت.

شرکت‌کنندگان واجد شرایط به صورت تصادفی به دو گروه ۱۰

نفری تمرین هوازی و کنترل تقسیم شدند.

گروه مداخله به مدت هشت هفته تحت یک برنامه تمرینی هوازی قرار گرفتند. در حالی که گروه کنترل هیچ فعالیت ورزشی نداشت و تنها در مراحل اندازه‌گیری‌های متغیرهای پیش‌آزمون و پس‌آزمون شرکت کردند.

برنامه تمرینی شامل سه جلسه در هفته بود و تمرینات به کمک تردمیل اجرا شدند. هر جلسه ۴۰ دقیقه تمرین با شدت معادل ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب انجام شد. در پروتکل تمرینی این مطالعه، آزمودنی‌ها که پیش از شروع تحقیق دارای سطح آمادگی هوازی بالایی بودند؛ تمرینات خود را بر اساس شدت ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب آغاز کردند و شدت تمرین به‌طور تدریجی افزایش یافت. برای تنظیم شدت تمرین، ابتدا حداکثر ضربان قلب (HR_{max}) هر شرکت‌کننده از طریق آزمون عملی روی تردمیل و پس از انجام گرم‌کردن استاندارد تعیین گردید. در این آزمون، شدت تمرین به صورت تدریجی افزایش یافت تا فرد به مرحله خستگی برسد و HR_{max} با استفاده از حس‌گر ضربان قلب پلار (Polar H10, Finland) ثبت شد. در طول جلسات تمرینی، ضربان قلب به‌طور مداوم کنترل شد و در صورت لزوم، سرعت تردمیل برای حفظ شدت تمرین در محدوده تعیین شده تغییر کرد. تمامی جلسات تمرینی تحت نظارت مربی متخصص برگزار شدند.^{۱۶}

برای تغییرات در عملکرد ریوی و سنجش حجم‌ها و ظرفیت‌های ریوی، از دستگاه اسپرومتری مدل SPM7 (Bayonet, SPM7, Iran) استفاده گردید. اندازه‌گیری‌ها در وضعیت ایستاده و بدون انجام فعالیت بدنی صورت گرفت. هر آزمون برای هر شرکت‌کننده سه مرتبه تکرار شد تا دقت نتایج تضمین شود. پارامترهای حجم بازدمی اجباری در یک ثانیه (FEV_1) و ظرفیت حیاتی اجباری (FVC) مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ارزیابی شاخص‌های خونی، در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون، نمونه‌های خونی از شرکت‌کنندگان در شرایط استراحت و پیش از آغاز و پس از پایان دوره هشت هفته‌ای تمرینات گرفته شد. حجم هر نمونه خون ۵ میلی‌لیتر بود و بلافاصله برای تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه، شاخص‌های CRP، CPK و فاکتور VEGF با استفاده از روش‌های پیشرفته مورد سنجش قرار گرفتند. CRP با استفاده از کیت Gptec-Belgium، VEGF با کیت دانش بنیان کارمانیا پاس ژن رفسنجان-ایران و CPK با استفاده از کیت Biorex fars-Iran اندازه‌گیری شدند. تمامی آزمایش‌ها تحت شرایط کنترل شده و مطابق با استانداردهای کیفی انجام شدند. پیامدهای اولیه این مطالعه شامل عملکرد ریوی (FEV_1 و FVC) و شاخص‌های CRP، CPK و VEGF بودند که در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر دو گروه اندازه‌گیری شدند. پیامدهای ثانویه نیز شامل اطلاعات

دموگرافیک سن، BMI، VO_{2max} ، وضعیت سلامت عمومی و میزان پابندی به برنامه تمرینی در گروه مداخله بودند که به منظور کنترل متغیرهای مداخله‌گر و تحلیل تکمیل کننده مورد استفاده قرار گرفتند.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-26 تجزیه و تحلیل شدند. برای تغییرات درون‌گروهی از آزمون تی زوجی و برای مقایسه بین گروه‌ها از آنالیز کوواریانس بهره گرفته شد. سطح معنی‌داری همه آزمون‌ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های دموگرافیک و جسمانی شرکت‌کنندگان در دو گروه مداخله و کنترل در **جدول یک** آمده است. میانگین سن شرکت‌کنندگان گروه مداخله و کنترل به ترتیب $21/1 \pm 1/7$ سال و $22/1 \pm 1/6$ سال، وزن به ترتیب $55/3 \pm 8/7$ کیلوگرم و $58/5 \pm 9/9$ کیلوگرم و قد به ترتیب $161/5 \pm 3/9$ سانتی‌متر و $165/9 \pm 7$ سانتی‌متر بودند و بین دو گروه در این متغیرهای زمینه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار مشخصات فردی شرکت‌کنندگان

متغیرها	گروه مداخله	گروه کنترل	P-value
سن (سال)	$21/1 \pm 1/7$	$22/1 \pm 1/6$	۰/۲۱
قد (سانتی‌متر)	$161/5 \pm 3/9$	$165/9 \pm 7$	۰/۰۹۹
وزن (کیلوگرم)	$55/3 \pm 8/7$	$58/5 \pm 9/9$	۰/۳۰۲
BMI	$21/3 \pm 0/3$	$21/2 \pm 0/4$	۰/۳۲۶
VO_{2max} (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	$50/6 \pm 1/9$	$49/5 \pm 1/6$	۰/۴۵

مقادیر FVC و FEV1 و شاخص‌های سرمی CRP، CPK و VEGF در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون هشت هفته‌ای در **جدول ۲** آمده است. میانگین FVC در گروه مداخله پس از تمرینات به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0/016$). مقدار این فاکتور از میانگین $2/77 \pm 0/39$ لیتر در پیش‌آزمون به $3/11 \pm 0/61$ لیتر در پس‌آزمون رسید. میانگین FEV1 به‌طور معنی‌داری از $2/64 \pm 0/37$ لیتر در پیش‌آزمون به $3/10 \pm 0/58$ لیتر در پس‌آزمون افزایش یافت ($P < 0/002$).

شاخص التهابی CRP در گروه مداخله کاهش معنی‌دار قابل توجهی نشان داد ($P < 0/018$). مقدار میانگین این شاخص از

$4/8 \pm 1/5$ میلی‌گرم بر لیتر در پیش‌آزمون به $1/6 \pm 0/61$ میلی‌گرم بر لیتر در پس‌آزمون کاهش یافت. میانگین شاخص CPK در پیش‌آزمون $89/1 \pm 19$ میلی‌گرم بر لیتر بود و در پس‌آزمون به $87/1 \pm 24$ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت که از نظر آماری معنی‌دار نبود.

سطح VEGF در گروه مداخله به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0/001$). میانگین این فاکتور از $8/22 \pm 2/5$ پیکوگرم بر میلی‌لیتر در پیش‌آزمون به $9/74 \pm 2/3$ پیکوگرم بر میلی‌لیتر در پس‌آزمون رسید.

در مرحله پس‌آزمون در شاخص CRP، تفاوت آماری معنی‌داری بین دو گروه مداخله در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد ($P < 0/03$). سایر مقایسه‌های بین گروهی در متغیرهای بررسی شده از نظر آماری معنی‌داری نبودند. تفاوت CPK بین گروه تمرین و کنترل ($F = 4/17$ و $\eta^2 = 39/07$) در مرز معنی‌داری آماری بود ($P < 0/06$) و تفاوت معنی‌دار در مقایسه بین گروهی در مرحله پس‌آزمون مشاهده نشد (**جدول ۲**).

بحث

با توجه به نتایج این مطالعه، پس از هشت هفته تمرین هوازی مقادیر FVC و FEV1 به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. مقدار میانگین FVC پس از تمرین افزایش آماری معنی‌دار یافت که نشان‌دهنده بهبود ظرفیت ریوی و توانایی ذخیره و تخلیه هوا در ریه‌ها است. همچنین، میانگین FEV1 نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که بیانگر بهبود توانایی بازدمی و کارایی سیستم تنفسی است. این نتایج با مطالعات پیشین^{۱۷} در زمینه تمرینات استقامتی و اثر آن بر عملکرد ریوی همخوانی دارد. یکی از مکانیسم‌های احتمالی افزایش FVC و FEV1، بهبود تطابق قلبی-تنفسی ناشی از تمرینات هوازی است. این تمرینات می‌توانند باعث افزایش انعطاف‌پذیری دیواره‌های قفسه سینه، بهبود قدرت عضلات تنفسی و افزایش تهویه ریوی شوند.^{۱۷} بهبود ظرفیت ریوی و بازدمی می‌تواند ناشی از افزایش کارایی میتوکندریایی و افزایش تبادل گازی مؤثر در آلئول‌های ریوی باشد.^{۱۸} مطالعاتی که در زمینه اثر تمرینات ورزشی بر عملکرد

جدول ۲: مقادیر FVC و FEV1 (اسپیرومتری) و شاخص‌های سرمی CRP، CPK و VEGF در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون

متغیرها	گروه‌ها	میانگین و انحراف معیار پیش‌آزمون	میانگین و انحراف معیار پس‌آزمون	P-value درون گروهی	F	η^2	P-value بین گروهی
FVC (لیتر)	مداخله	$2/77 \pm 0/39$	$3/11 \pm 0/61$	* ۰/۰۱۶	۱/۶۴	۰/۵۵	۰/۲۲
	کنترل	$2/52 \pm 0/30$	$2/11 \pm 0/30$	۰/۲۷			
FEV1 (لیتر)	مداخله	$2/64 \pm 0/37$	$3/10 \pm 0/58$	* ۰/۰۰۲	۲/۳۴	۰/۳۵	۰/۱۵
	کنترل	$2/45 \pm 0/30$	$2/14 \pm 0/30$	۰/۲۱			
CRP (میلی‌گرم بر لیتر)	مداخله	$4/8 \pm 1/5$	$1/6 \pm 0/61$	* ۰/۰۱۸	۵/۰۰	۶/۴۷	۰/۰۳ *
	کنترل	$3/8 \pm 0/30$	$3/4 \pm 0/30$	۰/۸۵			
CPK (میلی‌گرم بر لیتر)	مداخله	$89/1 \pm 19$	$87/1 \pm 24$	۰/۸۳	۴/۱۷	۳۹۰۷/۷	۰/۰۶
	کنترل	$107/19 \pm 29/74$	$127/14 \pm 14/19$	۰/۳۴			
VEGF (پیکوگرم بر لیتر)	مداخله	$8/22 \pm 2/5$	$9/74 \pm 2/3$	* ۰/۰۰۱	۲/۲۸	۰/۴۳	۰/۱۳
	کنترل	$11/3 \pm 1/25$	$9/02 \pm 1/13$	۰/۱۷			

* $P < 0/05$

در مطالعه حاضر در خصوص شاخص CRP آزمون بین گروهی کاهش معنی داری را در گروه مداخله نسبت به کنترل نشان داد. از طرفی تحلیل درون گروهی نیز کاهش معنی داری در گروه مداخله نشان داد. در حالی که گروه کنترل فاقد تغییر معنی دار بود. در مرحله پیش آزمون، تفاوت آماری معنی داری بین دو گروه مشاهده نشد. هرچند به ظاهر تفاوت بین دو گروه زیاد است؛ می توان اثر مشاهده شده را به صورت معقول به مداخله نسبت داد. در مجموع شاید که به دلیل محدودیت های آماری و ویژگی های نمونه، این اثر در مقایسه مستقیم بین گروهی به سطح معنی دار آماری نرسیده باشد. بنابراین پیشنهاد می شود مطالعات آینده با حجم نمونه بزرگ تر و کنترل دقیق تر عوامل مخدوش کننده انجام شود.

شاخص CPK یکی از نشانگرهای آسیب عضلانی است که معمولاً پس از فعالیت های شدید افزایش می یابد. اگرچه نتایج نشان داد که CPK از $89/1 \pm 19$ میلی گرم بر لیتر به $87/1 \pm 24$ میلی گرم بر لیتر کاهش یافته است؛ اما این تغییر از نظر آماری معنی دار نبود. این موضوع می تواند به دلیل سطح فعالیت اولیه آزمودنی ها باشد. زیرا افرادی که از قبل فعال بودند؛ ممکن است نسبت به تمرینات هوازی مقاوم تر بوده و تغییرات کمتری در این شاخص نشان دهند.^{۲۷} این احتمال وجود دارد که در صورت افزایش مدت زمان تمرینات هوازی به بیش از هشت هفته، کاهش CPK به سطحی معنی دار از نظر آماری برسد. در مطالعه ای یک جلسه فعالیت شدید هوازی بر پسران جوان سالم، سبب افزایش CPK شد که نشانگر آسیب عضلانی پس از یک فعالیت شدید بود.^{۲۵}

در مطالعه ای که پاسخ های CPK و لاکتات دهیدروژناز (LDH) را پس از انجام پروتکل های مختلف تمرین مقاومتی و هوازی بررسی کرد؛ تمرین هوازی با شدت ۸۰ درصد از VO_{2max} باعث افزایش بیشتر سطح CPK نسبت به تمرین مقاومتی شد.^{۲۸} در نتیجه ای که ما به دست آوردیم هرچند میزان اختلاف در مقایسه بین گروهی به سطح معنی داری نرسید؛ اما بزرگی آماره F و میانگین مربعات بین گروهی حاکی از اثر قابل توجه تمرین هوازی بر CPK است که می تواند در مطالعات تکمیلی بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

یافته ها نشان دهنده اثر مثبت تمرینات هوازی بر تحریک تولید و آزادسازی VEGF است، که نقش کلیدی در رگ زایی (آنژیوژنز) و بهبود اکسیژن رسانی به بافت ها دارد. VEGF یکی از مهم ترین عوامل تنظیم کننده رشد و توسعه شبکه های مویرگی جدید است که در پاسخ به شرایطی مانند هیپوکسی (کمبود اکسیژن بافتی) و افزایش تقاضای متابولیکی ترشح می شود.^{۲۹} تمرینات هوازی، به ویژه فعالیت هایی با شدت متوسط تا زیاد، باعث افزایش جریان خون، کاهش اکسیژن موضعی و فعال سازی مسیرهای سیگنالینگ وابسته به HIF-1 α (فاکتور القاشده در هیپوکسی) می شود که در نهایت منجر

ریوی انجام شده اند؛ اغلب بر تمرینات استقامتی سستی یا تمرینات تناوبی شدید (HIIT) تمرکز داشته اند. تمرینات هوازی با شدت متوسط تا بالا می تواند اثرات مطلوبی بر سیستم تنفسی داشته باشند. مطالعات مشابه نیز نشان داده اند که تمرینات استقامتی می توانند عملکرد ریوی را از طریق افزایش ظرفیت حیاتی و تقویت عضلات تنفسی بهبود بخشند.^{۱۹} همچنین، پژوهش های اخیر به اثر مثبت تمرینات هوازی بر بهبود شاخص های ریوی در ورزشکاران جوان اشاره کرده اند.^{۲۰} در مطالعه انجام شده روی دختران نوجوان با نمایه توده بدن متفاوت، تمرینات هوازی موجب بهبود عملکرد ریوی (VO_{2max} , FVC, FEV1) گردید. نتایج نشان داد که چاقی بر عملکرد ریوی اثر منفی داشته و تمرینات هوازی می توانند عملکرد ریوی را در دختران با BMI متفاوت بهبود بخشند.^{۲۱} در مطالعه انجام شده روی دختران غیرفعال سالم، تمرینات هوازی تناوبی به مدت شش هفته منجر به افزایش معنی دار در حجم ذخیره بازدمی، اوج جریان بازدمی، حداکثر تهویه ارادی و اوج اکسیژن مصرفی شد. این یافته ها نشان دهنده اثر مثبت تمرینات هوازی بر بهبود عملکرد ریوی در افراد غیرفعال است.^{۲۲} در مطالعه ای که روی دانشجویان دختر دانشگاه علوم پزشکی زنجان انجام شد؛ گذراندن یک ترم واحد تربیت بدنی باعث افزایش معنی دار تمامی شاخص های ارزیابی عملکرد ریوی از جمله FEV1/FVC، FVC، FEV1 و PEF گردید. این یافته ها تأکید بر اثر مثبت فعالیت های ورزشی بر بهبود عملکرد تنفسی در افراد غیرفعال دارند.^{۲۳}

در مطالعه حاضر تمرینات هوازی باعث کاهش معنی دار شاخص CRP شد. در حالی که کاهش CPK از نظر آماری معنی دار نبود. این یافته ها نشان می دهند که فعالیت های هوازی می توانند پاسخ های التهابی را تعدیل کنند؛ اما ممکن است اثر مستقیمی بر CPK نداشته باشند. شاخص CRP یک پروتئین التهابی است که در واکنش به التهاب سیستمیک افزایش می یابد. کاهش معنی دار CRP در پس آزمون نشان دهنده اثر مثبت تمرینات هوازی بر کاهش التهاب است. این نتایج با مطالعات قبلی همخوانی دارد که نشان دادند تمرینات ورزشی منظم در بیماران مبتلا به بیماری خودایمنی اثر ضدالتهابی دارد و موجب کاهش CRP می شود.^{۲۴}

در مطالعه ای میزان CRP پسران جوان سالم طی یک فعالیت هوازی شدید سنجیده شد و افزایش میزان CRP پس از یک جلسه فعالیت گزارش گردید.^{۲۵} در مطالعه ای که اثر دو روش تمرین هوازی مداوم و تناوبی بر پروتئین های پلازما و CRP سرم در زنان بررسی شد؛ نتایج نشان داد که هر دو روش تمرین باعث کاهش معنی دار سطح TC، LDL و CRP و افزایش سطح HDL شده است. با این حال هیچ تفاوت معنی داری بین دو روش تمرینی در اثر بر لیپوپروتئین های پلازما و CRP سرم مشاهده نشد.^{۲۶}

و کاهش اثرات هورمونی، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی اندازه‌گیری‌ها تنها در یک فاز مشخص (مثلاً فاز فولیکولی) انجام گیرد تا هرگونه اثر متغیر چرخه قاعدگی به حداقل برسد. همچنین پیشنهاد می‌شود تمرینات هوازی به‌عنوان یک راهکار مؤثر در برنامه‌های پیشگیرانه و ارتقای سلامت عمومی در جامعه مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تمرینات هوازی با شدت متوسط به مدت هشت هفته در بهبود عملکرد ریوی، کاهش CRP و افزایش VEGF در دختران جوان فعال مؤثر است.

ملاحظات اخلاقی

مطالعه مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اردبیل (IR.IAU.ARDABIL.REC.1403.219) قرار گرفت.

مشارکت نویسندگان

بهار سلجوقی برنجی: مدیریت و طراحی پروژه، انجام پروژه، جمع‌آوری داده‌ها، آنالیز داده‌ها، تفسیر نتایج، نوشتن نسخه اولیه مقاله و تایید نسخه نهایی مقاله.

الناز رضایی: انجام پروژه و جمع‌آوری داده‌ها.

دکتر رقیه افرونده: مدیریت و طراحی پروژه، آنالیز داده‌ها، تفسیر نتایج و تایید نسخه نهایی مقاله.

دکتر معرفت سیاه کوهیان: مدیریت و طراحی پروژه، آنالیز داده‌ها، تفسیر نتایج و تایید نسخه نهایی مقاله.

تعارض منافع

بین نویسندگان تعارض منافع وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه خانم بهار سلجوقی برنجی برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیولوژی ورزشی از دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی دانشگاه محقق اردبیلی بود. بدین‌وسیله از شرکت‌کنندگان در مطالعه صمیمانه تشکر می‌گردد.

به افزایش بیان VEGF و تقویت فرآیندهای آنژیوژنری می‌گردد.^{۳۰} مطالعات گذشته نیز یافته‌های این پژوهش را تأیید می‌کنند. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای ۸ هفته تمرین هوازی به افزایش معنی‌دار سطح VEGF در بافت قلبی موش‌های دیابتیک منجر شد.^{۳۱} همچنین تمرینات هوازی منظم می‌توانند از طریق تحریک مسیرهای سلولی وابسته به AMP-activated protein kinase (AMPK) و افزایش تولید نیتریک‌اکساید (NO) منجر به افزایش VEGF و سازگاری‌های عروقی شوند.^{۳۲} در مطالعه‌ای اثر تمرین هوازی بر فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) و اندوستاتین (ES) در زنان کم‌تحرك بررسی شد. نتایج نشان داد که تمرین هوازی به مدت ۸ هفته باعث افزایش معنی‌دار VEGF و کاهش ES شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تمرینات هوازی می‌توانند تعادل را به سمت عوامل آنژیوژنز سوق دهند که به درک بهتر روند آنژیوژنز مرتبط با تمرینات هوازی کمک می‌کند.^{۳۳}

در مطالعه حاضر در خصوص شاخص VEGF گرچه میانگین مقادیر پس‌آزمون در گروه مداخله نسبت به گروه کنترل افزایش چشمگیری داشت؛ اما این اختلاف در آزمون بین‌گروهی از نظر آماری معنی‌دار نبود. با اینحال، تحلیل درون‌گروهی در گروه مداخله نشان داد که سطح VEGF به‌طور معنی‌داری نسبت به پیش‌آزمون افزایش یافته است. در حالی که در گروه کنترل تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به عدم وجود تفاوت معنی‌دار در مقادیر پیش‌آزمون بین دو گروه می‌توان نتیجه گرفت که اثر مشاهده شده احتمالاً ناشی از مداخله بوده؛ هرچند به‌دلیل محدودیت‌هایی نظیر اندازه نمونه و پراکندگی بالا، آزمون بین‌گروهی قادر به نشان دادن اختلاف معنی‌دار نبوده است. این یافته می‌تواند به‌عنوان اثری بالقوه در نظر گرفته شود که نیازمند بررسی در مطالعات بزرگ‌تر و با توان آماری بالاتر است.

عدم هم‌مرحله‌سازی شرکت‌کنندگان بر اساس فاز چرخه قاعدگی ممکن است اندکی بر نوسانات هورمونی و به تبع آن بر سطوح CRP، عملکرد ریوی و VEGF اثر گذاشته باشد. برای ارتقای دقت

References

- Bolboli R, Siahkhouhian M, Iranpour A, Pour Rahim A, Valizadeh A, Bolboli L. [Effect of moderate intensity aerobic training on cardiac autonomic system function and nitric oxide levels in middle-aged males with metabolic syndrome]. *Journals of Birjand University of Medical Sciences* 2021; 28(2):129-38. <http://dx.doi.org/10.32592/JBirjandUnivMedSci.2021.28.2.103>. [Article in Persian]
- Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Jul;43(7):1334-59. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318213fefb>.
- Malekyian Fini E, Ahmadizad S. Effect of Resistance Exercise and Training and Principles of Prescribing it for Cardiovascular Patients. *JSSU*. 2021; 29(8):3955-75. <http://dx.doi.org/10.18502/ssu.v29i8.7658>.
- Shadmehri S, Kazemi N, Heydari FZ. Comparison of Effect of High-Intensity Interval Training and Aerobic Training on Respiratory Volumes in Female Students. *Tanaffos*. 2021 Apr;20(4):337-44.
- Leggate M, Carter WG, Evans MJ, Vennard RA, Sribala-Sundaram S, Nimmo MA. Determination of inflammatory and prominent proteomic changes in plasma and adipose tissue after high-intensity intermittent training in overweight and obese males. *J Appl Physiol* (1985). 2012 Apr;112(8):1353-60. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01080.2011>.
- Osimo EF, Baxter LJ, Lewis G, Jones PB, Khandaker GM. Prevalence of low-grade inflammation in depression: a systematic review and meta-analysis of CRP levels. *Psychol*

- Med. 2019 Sep;49(12):1958-70. <https://doi.org/10.1017/s0033291719001454>.
7. Kliszczewicz B, Markert CD, Bechke E, Williamson C, Clemons KN, Snarr RL, et al. Acute inflammatory responses to high-intensity functional training programming: An observational study. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2019; 14(4), 906-17. <https://doi.org/10.14198/jhse.2019.144.18>.
8. Kashef A, Zare Karizak S, Sadeghi Nikoo A, Kashef M. [Effect of Single Session of High Intensity Interval Exercise on Some Immune and Inflammatory Factors in Male Athletes and the Risk of Infection to Coronavirus]. *JSSU*, 2021;28(12):3326-37. <http://dx.doi.org/10.18502/ssu.v28i12.5779>. [Article in Persian]
9. Guo Y, Qian H, Xin X, Liu Q. Effects of different exercise modalities on inflammatory markers in the obese and overweight populations: unraveling the mystery of exercise and inflammation. *Front Physiol*. 2024 Jun;15:1405094. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1405094>.
10. Cocks M, Shaw CS, Shepherd SO, Fisher JP, Ranasinghe AM, Barker TA, et al. Sprint interval and endurance training are equally effective in increasing muscle microvascular density and eNOS content in sedentary males. *J Physiol*. 2013 Feb;591(3):641-56. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.239566>.
11. Gholamal M, Nourshah M, Ranjbar K. The Effect of Acute Sub-Maximal Endurance Exercise on Serum Angiogenic Indices in Sedentary Men. *Zahedan J Res Med Sci*. 2014;16(6):58-63.
12. Mollahhasanzadeh F, Bijeh N, Mazami N, Noorshahi M. [The effects of eight weeks aerobic training on angiogenesis factor and body composition in overweight women]. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2016; (2):1365-74. <https://doi.org/10.48308/joeppa.2016.98825>.
13. Angane EY, Navare AA. Effects of aerobic exercise on pulmonary function tests in healthy adults. *International Journal of Research in Medical Sciences*. 2017;4(6): 2059-63. <https://doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20161760>.
14. Darmian MA, Hoseini R, Amiri E, Golshani S. Downregulated hs-CRP and MAD, upregulated GSH and TAC, and improved metabolic status following combined exercise and turmeric supplementation: a clinical trial in middle-aged women with hyperlipidemic type 2 diabetes. *J Diabetes Metab Disord*. 2022 Jan;21(1):275-83. <https://doi.org/10.1007/s40200-022-00970-z>.
15. Biau DJ, Kernéis S, Porcher R. Statistics in brief: the importance of sample size in the planning and interpretation of medical research. *Clin Orthop Relat Res*. 2008 Sep;466(9):282-88. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0346-9>.
16. 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. <https://doi.org/10.52547/joeppa.14.1.59>. [Article in Persian]
17. Fathei M, Hejazi K, Kiani gol M. [The effect of Eight weeks aerobic training on Resistin levels and cardio respiratory fitness in sedentary middle-aged women]. *Medical Journal of Mashhad university of Medical Sciences*. 2015;58(9):489-97. <https://doi.org/10.22038/mjms.2015.6503>. [Article in Persian]
18. Lundby C, Jacobs RA. Adaptations of skeletal muscle mitochondria to exercise training. *Exp Physiol*. 2016 Jan;101(1):17-22. <https://doi.org/10.1113/ep085319>.
19. Khosravi M, Tayebi SM, Safari H. Single and concurrent effects of endurance and resistance training on pulmonary function. *Iran J Basic Med Sci*. 2013 Apr;16(4):628-34.
20. Dridi R, Dridi N, Govindasamy K, Gmada N, Aouadi R, Guénard H, et al. Effects of Endurance Training Intensity on Pulmonary Diffusing Capacity at Rest and after Maximal Aerobic Exercise in Young Athletes. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Nov;18(23):12359. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312359>.
21. Farpoor M, Nazem F. The role of the Aerobic Interval Exercise Training on the Lung Function Profile in Adolescent Girls With Different Body Composition Index. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2022; 20(6): 566-75. <https://doi.org/10.32598/JSMJ.20.6.2494>.
22. Attarzadeh Hosseini SR, Hojati Oshtovani Z, Soltani H, Hossein Kakhk SA. [Changes in pulmonary function and peak oxygen consumption in response to interval aerobic training in sedentary girls]. *J Sabzevar Uni Med Sci*. 2012; 19(1):42-51. [Article in Persian]
23. Eskandari M, Mazloumzadeh S, Hakami M, Tajiknia N, Dabiriosoei A, Kolifarhood G. Impact of Regular University Physical Training (PT) Course on Respiratory Function Indices in Female Students of Zanjan University of Medical Sciences (ZUMS). *J Adv Med Biomed Res* 2012; 20(83):70-77.
24. Ahmadi M, Shadmehri S. The Effect of A Single Bout of Aerobic Exercise on Ergometer on Inflammatory and Hormonal Markers in Active Girls. *Report of Health Care*. 2018;4(1):44-54.
25. Tartibian B, Ebrahimi Torkamani B. [Inflammatory markers and muscle damage indices response to intense exercise in healthy boys: relationship between the markers]. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2016;4(8):31-41. <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2017.451>. [Article in Persian]
26. Gaeini A, Kazemi F, Behzare A. The Effects of Excessive Aerobic Continuous and Interval Training Programs on Plasma Lipoproteins and Serum CRP in Women. *Journal of Kerman University of Medical Sciences*. 2012;19(4):277-86.
27. 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. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2016 Aug;41(8):872-78. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0093>.
28. Callegari GA, Novaes JS, Neto GR, Dias I, Garrido ND, Dani C. Creatine Kinase and Lactate Dehydrogenase Responses after Different Resistance and Aerobic Exercise Protocols. *J Hum Kinet*. 2017 Aug;58:65-72. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0071>.
29. Ferrara N, Gerber HP, LeCouter J. The biology of VEGF and its receptors. *Nat Med*. 2003 Jun;9(6):669-76. <https://doi.org/10.1038/nm0603-669>.
30. Bagherian M, Banaeifar A, Arshadi S, Azarbayjani M A. [Effect of Training Intensity on HIF-1 α Gene Expression and Cardiac TG Content in Rats with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease]. *JSSU*. 2022;30(7):5062-76. <http://dx.doi.org/10.18502/ssu.v30i7.10753>. [Article in Persian]
31. Bakhtiari F, Homaei HM, Ghazalian F. The Effect of Aerobic Training on Tumor Necrosis Factor alpha, Hypoxia-Inducible Factor-1 alpha & Vascular Endothelial Growth Factor Gene Expression in Cardiac Tissue of Diabetic Rats. *IJDO* 2020;12(2):90-97. <http://dx.doi.org/10.18502/ijdo.v12i2.4047>.
32. Gorski T, De Bock K. Metabolic regulation of exercise-induced angiogenesis. *Vasc Biol*. 2019 Mar;1(1):H1-H8. <https://doi.org/10.1530/vb-19-0008>.
33. Tolouei Azar J, Ravasi A, Soori R, Akbarnejad A, Hemati Nafar M. The Effect of 8 Weeks Aerobic Training on Angiogenesis (VEGF) and Angiostatic (ES) Factors In Sedentary Women. *Studies in Medical Sciences*. 2017;27(12):1032-40. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.umj.27.12.1032>.