

Original Article

Comparison of the acute effects of specialized volleyball training with and without blood flow restriction (BFR) on CRP, ESR and TNF- α in adolescent female volleyball players

Kosar Rahmani[●], Javad Vakili^{* ●}, Vahid Sari-Sarraf[●]

Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz

Abstract

Background and Purpose: Recent evidence suggests that exercise can increase levels of inflammatory markers in athletes, leading to greater fatigue and exhaustion, which may negatively affect athletic performance. One of the novel training methods that has gained attention in recent years is blood flow restriction (BFR) training. This type of exercise involves applying limited pressure to the vessels of the target area, enabling low-intensity training to yield similar effects as high-intensity workouts. However, studies examining the effects of BFR training remain limited, and no research to date has investigated the acute effects of sport-specific volleyball training with BFR. Therefore, the present study aimed to examine the acute effects of sport-specific volleyball training with and without BFR on serum levels of C-reactive protein (CRP), tumor necrosis factor-alpha (TNF- α), and erythrocyte sedimentation rate (ESR) in adolescent female volleyball players.

Materials and Methods: Twenty adolescent female volleyball players (mean $\pm$ SD, age, 15.2 $\pm$ 1.03 years) were randomly assigned into either the BFR volleyball training group or the non-BFR (N-BFR) volleyball training group. Participants in both groups performed a 65-minute session of sport-specific volleyball training. The training included volleyball-specific drills such as spiking, receiving, blocking, and serving, conducted in a circuit format with an intensity of 17–18 based on the Rate of Perceived Exertion (RPE) scale. Throughout the training session, blood flow restriction cuffs were applied to the proximal part of the lower limbs in the BFR group, with the cuff pressure set at 140 mmHg. Blood sampling was performed before and after the training session, to assess inflammatory markers.

Results: Serum levels of CRP significantly increased in both the BFR and N-BFR groups following the specialized volleyball activity ($p < 0.05$); though, this increase was 160% in the BFR group and 100% in the N-BFR group. Additionally, ESR levels increased by 78% in the BFR group and by 63% in the N-BFR group ($p < 0.05$). Nevertheless, serum TNF- α levels showed a significant increase only in the BFR group ($p = 0.001$), with a 77% rise, whereas the change in the N-BFR group was 72%. Furthermore, between-group

* Corresponding Author's E-mail: vakili@tabrizu.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.239614.1357>

Received: 24/04/2025

Revised: 09/06/2025

Accepted: 07/07/2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

comparisons revealed no significant differences between the BFR and N-BFR groups for ESR ($p=0.469$), TNF- α ($p=0.951$), and CRP ($p=0.367$) levels.

Conclusion: A single session of specialized volleyball training, with or without blood flow restriction, leads to an increase in inflammatory markers in adolescent female volleyball players. Despite the greater metabolic and mechanical stress induced by BFR training compared to the primarily mechanical load of non-BFR training, both modalities resulted in similar inflammatory responses. However, further studies with larger sample sizes are necessary to confirm these findings.

Keywords: Blood Flow Restriction, C-reactive protein, Tumor Necrosis Factor Alpha, Erythrocyte Sedimentation Rate, Volleyball

How to cite this article: Rahmani K, Vakili J, Sari-Sarrf V. Comparison of the acute effects of specialized volleyball training with and without blood flow restriction (BFR) on CRP, ESR and TNF- α in adolescent female volleyball players. J Sport Exerc Physiol. 2025;18(4):42-55.

مقایسه تأثیر حاد تمرین تخصصی والیبال با و بدون محدودیت جریان خون (BFR) بر ESR، CRP و TNF- α دختران نوجوان والیبالیست

کوثر رحمانی^۱، جواد وکیلی^{۲*}، وحید ساری صراف^۳

گروه آموزشی فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز

چکیده

زمینه و هدف: بر اساس جدیدترین یافته‌ها، فعالیت‌های ورزشی می‌تواند سبب افزایش سطوح عوامل التهابی در بدن ورزشکاران شود که به افزایش خستگی و واماندگی منجر می‌شود و بر کیفیت اجرای ورزشکار تأثیر منفی می‌گذارد. یکی از روش‌های تمرینی نوین که در این سال‌ها مورد توجه قرار گرفته، تمرین با محدودیت جریان خون (BFR) است. این نوع تمرین با اعمال فشار محدود بر عروق ناحیه هدف، تمرینی با شدت کمتر اما اثرگذاری مشابه تمرین شدید فراهم می‌کند. با این همه، تحقیقات در زمینه تأثیر تمرین با محدودیت جریان خون (BFR) محدود است و تاکنون نیز هیچ پژوهشی تأثیر حاد (و زودگذر) تمرین تخصصی والیبال با BFR را بررسی نکرده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر حاد تمرین تخصصی والیبال با و بدون BFR بر سطح سرمی پروتئین واکنشگر C (CRP)، عامل نکروزدهنده تومور-آلفا (TNF- α) و میزان رسوب گلبول قرمز (ESR) در دختران نوجوان والیبالیست بود.

مواد و روش‌ها: ۲۰ دختر نوجوان والیبالیست (سن $15/2 \pm 1/3$ سال) به‌صورت تصادفی در دو گروه تمرین تخصصی والیبال با محدودیت جریان خون (BFR) و تمرین تخصصی والیبال بدون محدودیت جریان خون (N-BFR) قرار گرفتند. آزمودنی‌های هر دو گروه BFR و N-BFR در یک جلسه تمرین تخصصی والیبال به مدت ۶۵ دقیقه شرکت کردند. هر دو گروه BFR و N-BFR تمرین اختصاصی والیبال شامل اسپک، دریافت، دفاع و سرویس را به‌صورت ایستگاهی با شدت ۱۷-۱۸ بر اساس مقیاس میزان درک خستگی (RPE) اجرا کردند. کاف‌های محدودکننده جریان خون در سراسر دوره تمرین از بخش پروگزیمال اندام‌های تحتانی به دور ران آزمودنی‌های گروه BFR بسته شده و فشار کاف‌ها روی ۱۴۰ میلی‌متر جیوه تنظیم شد. نمونه‌گیری خونی در دو مرحله پیش و پس از تمرین برای سنجش نشانگرهای التهابی انجام گرفت.

نتایج: سطوح سرمی CRP در هر دو گروه BFR و N-BFR پس از فعالیت تخصصی والیبال افزایش معناداری داشت ($P < 0/05$). اما این افزایش در گروه BFR، ۱۶۰ درصد و در گروه NBFR، ۱۰۰ درصد بود. همچنین سطوح ESR در گروه BFR، ۷۸ درصد و در گروه NBFR، ۶۳ درصد افزایش داشت ($P < 0/05$). با این همه، سطح سرمی TNF- α فقط در گروه BFR ($P = 0/001$) افزایش معناداری به مقدار ۷۷ درصد داشت، درحالی‌که این تغییر در گروه NBFR، ۷۲ درصد بود. افزون بر این، نتایج مقایسه بین گروهی نشان داد که بین گروه‌های BFR و N-BFR در مقدار ESR ($P = 0/469$)، TNF- α ($P = 0/559$) و CRP ($P = 0/367$) تفاوت معناداری وجود ندارد.

نتیجه‌گیری: یک جلسه تمرین تخصصی والیبال با و بدون محدودیت جریان خون سبب افزایش عوامل التهابی در دختران نوجوان والیبالیست می‌شود. همچنین این نوع تمرین با وجود ایجاد فشار سوخت‌وسازی و مکانیکی در مقایسه با تمرین بدون BFR (که فشار وارد شده فقط به‌صورت مکانیکی است)، به پاسخ‌های التهابی یکسانی منجر شده است. اما برای تأیید یافته‌های این پژوهش

* رایانامه نویسنده مسئول: vakili@tabrizu.ac.ir

بررسی‌های بیشتر با حجم نمونه بزرگ‌تر نیاز است.

واژه‌های کلیدی: محدودیت جریان خون (BFR)، پروتئین واکنشگر C (CRP)، عامل نکروزدهنده تومور آلفا ($\text{TNF-}\alpha$)، میزان رسوب گلبول قرمز (ESR)، التهاب، دختران والیبالیست

نحوه استناد به این مقاله: رحمانی ک، وکیلی ج، ساری صراف و. مقایسه تأثیر حاد تمرین تخصصی والیبال با و بدون محدودیت جریان خون (BFR) بر CRP، ESR و $\text{TNF-}\alpha$ دختران نوجوان والیبالیست. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۴): ۴۲-۵۵.

مقدمه

والیبال از پرتعدادترین رشته‌های ورزشی جهان است و بر اساس نظرسنجی‌ها پس از فوتبال دومین ورزش پرتعداد به‌شمار می‌رود (۱). والیبال ورزش ترکیبی است که به هر دو دستگاه انرژی هوازی و بی‌هوازی نیاز دارد (۲). همچنین این ورزش نیازمند مجموعه‌ای از قابلیت‌های بدنی، تکنیکی، تاکتیکی و روانی است (۳). بنابراین، مربیان و فیزیولوژیست‌های ورزشی برای دستیابی به سازگاری‌های فیزیولوژیکی و بهینه‌سازی عملکرد اختصاصی باید متغیرهای بسیاری را در نظر بگیرند و برای تدوین برنامه‌های تمرینی به‌دنبال روش‌های کاربردی و نوین باشند (۴). یکی از عواملی که می‌تواند در پیشرفت و توسعه عملکرد ورزشی والیبالیست‌ها نقش مهمی ایفا کند، افزایش قدرت، به‌ویژه قدرت انفجاری در اندام‌های فوقانی و تحتانی است. توان انفجاری توانایی فرد برای استفاده از قدرت بیشینه‌ای است که در کوتاه‌ترین زمان به‌کار می‌رود و از عوامل مهم برای موفقیت والیبالیست‌ها، به‌ویژه ورزشکاران زن جوان در نظر گرفته می‌شود (۵،۶).

به‌طور سنتی تمرین قدرتی با شدت بیش از ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه (1RM) برای افزایش توده و قدرت ماهیچه اسکلتی استفاده می‌شود. با این همه، یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهند تمرین با شدت پایین نیز می‌تواند پروتئین‌سازی ماهیچه‌ای را به‌طور حاد القا کند و سبب افزایش قدرت شود (۷،۸). تمرین محدودیت جریان خون (BFR) که به‌عنوان تمرین کاتسو (KAATSU) نیز شناخته می‌شود، یک روش نوین تمرینی است که در این سال‌ها محبوبیت پیدا کرده است (۹-۱۱) و می‌تواند سبب افزایش قدرت و ماهیچه‌سازی در ورزشکاران شود. اصل اساسی این روش دستیابی به بهترین نتیجه از طریق تمرین با شدت کم است. در این روش از کاف‌هایی استفاده می‌شود که به دور قسمت فوقانی ران و بازو بسته می‌شود. با فشار

اعمال‌شده توسط این کاف‌ها، جریان خون شریانی بدون قطع کامل آن محدود می‌شود، در نتیجه بازگشت وریدی را محدود کرده و محیط بی‌هوازی شبیه به آنچه در تمرین با شدت بالا رخ می‌دهد، ایجاد می‌کند (۱۲). میزان مقاومت در این روش تمرینی، همواره در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درصد 1RM قرار دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد این رویکرد می‌تواند نتایج مشابه با تمرین مقاومتی شدید و سنگین به‌دست آورد (۱۳). گمان می‌رود سازوکار برتر برای تحریک ماهیچه‌سازی، تنش سوخت‌وسازی ناشی از محیط ایسکمی/هیپوکسی ایجادشده در تمرین BFR است. تنش سوخت‌وسازی و/یا هیپوکسی به افزایش فراخوانی تارهای تندانباض، تورم سلولی و هورمونی منجر می‌شود (۱۴،۱۵) که این عوامل سبب فعال شدن مسیر پیام‌رسانی وابسته به ماهیچه‌سازی و تکثیر سلول‌های ماهواره‌ای می‌شود (۱۶).

از طرف دیگر، یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهند که تمرین BFR دستگاه ایمنی بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب آسیب ماهیچه اسکلتی و رهائش مواد گوناگون مانند پروتئین‌های درون‌سلولی و سایتوکین‌های التهابی مانند پروتئین واکنشگر C (CRP)، اینترلوکین-۶ (IL-۶) و کراتین کیناز (CK) A، عامل نکرودهندة تومور-آلفا ($\text{TNF-}\alpha$) می‌شود (۱۷). افزایش سطوح عوامل التهابی در بدن ورزشکاران سبب افزایش خستگی و واماندگی خواهد شد که چنین شرایطی می‌تواند بر کیفیت اجرای ورزشکار تأثیر منفی بگذارد (۱۸،۱۹). نشانگر CRP پروتئین واکنش‌دهنده مرحله حاد (دوره زودگذر) غیراختصاصی است که توسط سلول‌های کبدی و سلول‌های ماهیچه‌های اسکلتی صاف دیواره عروق کرونری تولید می‌شود و عفونت یا التهاب را افزایش می‌دهد (۲۰،۲۱). CRP با تحریک سایتوکین‌ها از

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: جامعه آماری پژوهش حاضر دختران نوجوان شهر بناب با دست‌کم یک سال پیشینه فعالیت منظم در رشته والیبال بودند. شرایط شرکت در پژوهش، دامنه سنی ۱۴ تا ۱۷ سال، مصرف نکردن سیگار، نداشتن پیشینه بیماری‌های قلبی یا مزمن محدودکننده فعالیت ورزشی، مصرف نکردن هیچ مکمل یا داوری ضدالتهابی در شش ماه اخیر و داشتن الگوی غذایی و خواب کم‌ویش منظم بود. از میان افراد واجد شرایط، ۲۰ نفر با روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند و با تخصیص تصادفی با استفاده از نرم‌افزار Randomizer در یکی از دو گروه تمرین تخصصی والیبال با محدودیت جریان خون (BFR) ($n=10$) و تمرین تخصصی والیبال بدون محدودیت جریان خون (N-BFR) ($n=10$) قرار گرفتند. پیش از شروع پژوهش در یک جلسه توجیهی اهداف، مراحل اجرای پژوهش، و دلیل انتخاب آزمودنی‌های پژوهش، مزایا و معایب مشارکت در طرح به آزمودنی‌ها توضیح داده شد و به آن‌ها اطمینان داده شد که در هر مرحله‌ای از اجرای پژوهش می‌توانند بدون ارائه هرگونه توضیحی از ادامه شرکت در پژوهش انصراف دهند. سپس برگه رضایت‌نامه کتبی در اختیار آن‌ها قرار گرفت و پس از تأیید و تکمیل برگه رضایت‌نامه و پرسشنامه سلامتی و تعیین زمان عادات ماهیانه در آزمون‌های ترکیب بدنی و نمونه‌گیری خونی شرکت کردند.

یک روز پیش از آغاز تمرین تخصصی والیبال نمایه‌های قد، وزن و نمایه توده بدنی به ترتیب با قدسنج سکا مدل ۲۲۰ با دقت یک میلی‌متر و بدون کفش در حالت ایستاده و ترازوی دیجیتال کالیبره‌شده برند Camry ساخت چین با دقت ۱۰۰ گرم با کمترین میزان لباس اندازه‌گیری شد. همچنین خون‌گیری اولیه در بازه ۸-۱۴ چرخه ماهیانه به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر توسط متخصص مجرب آزمایشگاه جهت تعیین مقدار CRP،

سلول‌های کبدی در نخستین ساعات آسیب بافتی یا التهاب تولید می‌شود. همچنین نشان داده شده است که مقادیر CRP بلافاصله پس از یک وهله فعالیت ورزشی نسبتاً شدید در دختران فعال افزایش می‌یابد (۲۲). همچنین در بین سایتوکین‌ها، $TNF-\alpha$ واسطه اصلی پاسخ التهابی حاد است که عملکرد فیزیولوژیکی آن تحریک لکوسیت‌ها، ارسال پیام به محل‌های التهابی و فعال کردن آن‌ها به منظور از بین بردن میکروارگانیسم‌ها و کاهش التهاب است (۲۳). افزایش $TNF-\alpha$ می‌تواند به تسهیل عفونت ویروسی و آسیب اندام منجر شود (۲۴). همچنین $TNF-\alpha$ ، به عنوان عامل التهابی کلیدی، می‌تواند یکپارچگی سد خونی مغزی را مختل کند (۲۵). افزون بر این، میزان رسوب گلبول قرمز (ESR) عامل غیراختصاصی دیگری است که نشان‌دهنده التهاب است و از طریق آن می‌توان به‌طور غیرمستقیم عمل سایتوکاین‌های التهابی را برآورد کرد (۲۶، ۲۷). ESR با سرعت رسوب نمونه خونی پس از یک ساعت تعیین می‌شود (۲۸). اگرچه نشانگرهای زیستی التهابی نوین با حساسیت بالاتر در حال کشف هستند، ESR به دلیل مقرون به صرفه بودن و سادگی، از رایج‌ترین نشانگرهای زیستی التهابی است (۲۹، ۳۰). مقادیر طبیعی ESR برای زنان ۰ تا ۱۵ میلی‌متر در ساعت و برای مردان ۰ تا ۱۰ میلی‌متر در ساعت است (۳۱).

با توجه به اینکه افراد بسیاری، به‌ویژه دختران نوجوان، در رشته ورزشی والیبال در حال فعالیت هستند و همچنین پژوهش‌های اندکی تأثیر تمرین BFR بر رهایش عوامل التهابی را بررسی کرده‌اند، انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه ضروری است. بنابراین، هدف از این پژوهش مقایسه حاد تمرین تخصصی والیبال با و بدون BFR بر عوامل التهابی CRP، $TNF-\alpha$ و ESR در دختران نوجوان والیبالست بود.

ESR و $TNF-\alpha$ گرفته شد. پس از خون‌گیری نیز از سلامت بدنی آزمودنی‌ها توسط پزشک اطمینان حاصل شد.

روش اجرای پژوهش: یک روز پس از اندازه‌گیری‌های اولیه، آزمودنی‌های هر دو گروه BFR و N-BFR در یک جلسه تمرین تخصصی والیبال به مدت ۶۵ دقیقه شرکت کردند. جلسه تمرینی با گرم کردن عمومی (دو نرم، کشش‌های ایستا و پویا به مدت ۱۰ دقیقه) و اختصاصی (انجام تکنیک‌های والیبال با توپ به مدت ۱۰ دقیقه) آغاز شد و سپس گروه‌های BFR و N-BFR تمرین اختصاصی والیبال شامل اسپک، دریافت، دفاع و سرویس را به صورت ایستگاهی با شدت ۱۷-۱۸ بر اساس مقیاس درک سختی و فشار بورگ (RPE) اجرا کردند. در گروه BFR طی جلسه تمرینی کاف‌های محدودکننده جریان خون از بخش پروگزیمال اندام‌های تحتانی به دور ران آزمودنی‌ها در حالت درازکش بسته شد و آزمودنی‌ها به مدت دو دقیقه تمرین اختصاصی را در این حالت اجرا کردند و پس از آن کاف‌ها باز شد و

آزمودنی‌ها به مدت دو دقیقه استراحت کردند. فشار کاف‌ها روی ۱۴۰ میلی‌متر جیوه تنظیم شده بود (۳۲). طی جلسه تمرینی جهت تسهیل کنترل باز و بسته کردن کاف‌ها و همچنین کنترل دقیق روی اجرای صحیح تمرین، آزمودنی‌ها به چهار گروه پنج‌نفره (دو گروه تمرین تخصصی والیبال با BFR و دو گروه تمرین تخصصی والیبال بدون BFR) تقسیم شدند. تمرین با تقابل گروه BFR و گروه N-BFR آغاز شد، به طوری که در زمان اجرای سرویس توسط گروه BFR، گروه N-BFR در زمین مقابل عمل دریافت، و هنگامی که گروه BFR در مقابل در ایستگاه دفاع قرار داشتند و برعکس. تعداد نوبت‌ها و تکرارهای هر یک از ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. در آخر جلسه تمرینی، دو گروه BFR و N-BFR نوبتی به صورت ۵×۵ بازی پشت تور را در یک نوبت پنج دقیقه‌ای انجام دادند. در انتها نیز هر یک از ورزشکاران جلسه را با ۱۰ دقیقه سرد کردن (دویدن و کشش ایستا) به پایان رساندند.

جدول ۱. روش تمرین در دو گروه با و بدون محدودیت جریان خون

حرکات	تعداد تکرار	تعداد نوبت	فشار کاف (میلی‌متر جیوه)	RPE	مدت هر نوبت (دقیقه)	استراحت بین نوبت‌ها (دقیقه)	استراحت بین حرکت (دقیقه)	کل زمان تمرین (دقیقه)
اسپک دریافت سرویس دفاع	۵	۳	۱۴۰	۱۷-۱۸	۲	۲	۳	۶۵
SSG بازی پشت تور (۵×۵)	-	۲	۱۴۰	۱۷-۱۸	۵	-	-	-

روش‌های آزمایشگاهی: بلافاصله پس از تمرین تخصصی والیبال نیز نمونه‌های خونی به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از ورید بازویی توسط متخصص آزمایشگاه گرفته شد و به لوله‌های دارای ماده ضد انعقاد ریخته شد. نمونه‌های خونی بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و سپس با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه و به مدت

پنج دقیقه سانتریفیوژ (دستگاه سانتریفیوژ Rotoflex 32A ساخت آلمان) شد تا پلاسمای آن جهت اندازه‌گیری مقادیر ESR، CRP و $TNF-\alpha$ استفاده شود. برای اندازه‌گیری سطوح $TNF-\alpha$ از کیت الیزا ساخت شرکت کارمانیا پارس ژن با حساسیت اندازه‌گیری دو پیکوگرم بر میلی‌لیتر و برای

اندازه‌گیری سطوح CRP از کیت الایزا ساخت شرکت بیومدیک با محدوده اندازه‌گیری در طول موج ۳۴۰ نانومتر استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقادیر ESR، نمونه خون در لوله وسترگرن ریخته شد و لوله به‌صورت عمودی در دستگاه نگه‌دارنده قرار گرفت. نمونه‌های خونی در دمای اتاق به مدت یک ساعت بدون حرکت باقی ماند؛ پس از یک ساعت، ارتفاع پلاسمای شفاف (بخش بالایی خون که ته‌نشین نشده است) اندازه‌گیری و ثبت شد.

تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت. آمار توصیفی به‌صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شده و آزمون شاپیرو-ویلک جهت تعیین طبیعی بودن داده‌ها به‌کار

گرفته شد. برای مقایسه بین‌گروهی از تحلیل کوواریانس (ANCOVA) و برای مقایسه درون‌گروهی نیز از آزمون t وابسته استفاده شد. میزان P-value برابر و کمتر از ۰/۰۵ از نظر آماری معنادار در نظر گرفته شد.

نتایج

داده‌های مربوط به ویژگی‌های آنتروپومتریکی آزمودنی‌های هر دو گروه BFR و N-BFR در جدول ۲ ارائه شده است.

پس از تأیید طبیعی بودن توزیع داده‌ها در همه متغیرهای وابسته، آزمون‌های t وابسته و ANCOVA به‌ترتیب برای مقایسه درون‌گروهی و بین‌گروهی استفاده شد. نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های فردی شرکت‌کنندگان در پژوهش (انحراف استاندارد $\pm$ میانگین)

N-BFR (n=10)	BFR (n=10)	
۱۵/۱۳ $\pm$ ۱/۰	۱۵/۱ $\pm$ ۱/۱	سن (سال)
۱۶۴/۱ $\pm$ ۶/۹	۱۶۳/۱ $\pm$ ۴/۶	قد (متر)
۵۹/۴ $\pm$ ۹/۸	۵۸/۰۷ $\pm$ ۵/۲	وزن (کیلوگرم)
۲۲/۶ $\pm$ ۳/۸	۲۱/۸ $\pm$ ۲/۴	نمایه توده بدن (kg/m^2)
۱/۶ $\pm$ ۰/۸	۱/۷ $\pm$ ۰/۸	پیشینه فعالیت (سال)

جدول ۳. نشانگرهای التهاب در مراحل پیش و پس از مداخله (انحراف استاندارد $\pm$ میانگین)

معناداری بین‌گروهی	معناداری درون‌گروهی	NBFR		معناداری درون‌گروهی	BFR		
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون		پیش‌آزمون	پس‌آزمون	
۰/۳۶۷	۰/۰۰۶	۱/۵ $\pm$ ۲/۶*	۱/۳ $\pm$ ۰/۸	۰/۰۰۱	۱/۱ $\pm$ ۲/۶*	۰/۵ $\pm$ ۱/۰۳	CRP (mg/dl)
۰/۵۵۹	۰/۰۷۶	۱۱/۶ $\pm$ ۱۱/۲	۶/۷ $\pm$ ۴/۶	۰/۰۰۱	۸/۳ $\pm$ ۹/۹	۲/۹ $\pm$ ۵/۵	TNF- α (pg/mL)
۰/۴۶۹	۰/۰۲۴	۷/۲ $\pm$ ۱۵/۲*	۴/۶ $\pm$ ۹/۳	۰/۰۱۶	۱۱/۶ $\pm$ ۲۰/۳*	۵/۷ $\pm$ ۱۱/۴	ESR (mm/hr)

* بیانگر معناداری درون‌گروهی، # بیانگر معناداری بین‌گروهی

نتایج آزمون آماری نشان داد که در هر دو گروه BFR و N-BFR افزایش معناداری پس از یک جلسه تمرین تخصصی والیبال در مقدار سرمی ESR و CRP دیده شد ($P < 0/05$). همچنین بر اساس مقایسه درون‌گروهی، پس از مداخله مقدار $TNF-\alpha$ فقط در گروه BFR ($P = 0/01$) به‌طور معناداری افزایش یافت و گروه N-BFR افزایش معناداری را تجربه نکرد ($P = 0/076$). افزون بر این، نتایج مقایسه بین‌گروهی با استفاده از آزمون آنوا نشان داد بین گروه‌های BFR و N-BFR در مقدار ESR ($P = 0/469$)، $TNF-\alpha$ ($P = 0/559$) و CRP ($P = 0/367$) پس از مداخله تفاوت معناداری دیده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر یک جلسه تمرین تخصصی والیبال با و بدون BFR بر غلظت سرمی عوامل التهابی شامل CRP، ESR و $TNF-\alpha$ در دختران نوجوان والیبالیست بود. نتایج نشان داد که یک جلسه تمرین تخصصی والیبال با و بدون BFR سبب افزایش CRP و ESR در دختران والیبالیست شد. با این همه، فقط گروه BFR افزایش چشمگیری را در مقدار سرمی $TNF-\alpha$ پس از مداخله تجربه کرد و تغییرات چشمگیری در گروه N-BFR دیده نشد. همچنین نتایج مقایسه بین‌گروهی نشان داد که بین دو گروه BFR و N-BFR تفاوت معناداری در مقدار CRP، ESR و $TNF-\alpha$ پس از مداخله وجود نداشت. التهاب راهبردی محافظتی است که در پاسخ به عوامل مضر مانند عفونت میکروبی، آسیب بافتی و سایر شرایط خطرناک برای بدن تکامل یافته است. این یک پاسخ ایمنی حیاتی است که سبب حذف محرک‌های خطرناک برای بدن و همچنین بهبود بافت‌های آسیب‌دیده می‌شود. بنابراین، التهاب حاد به‌عنوان بخشی از ایمنی ذاتی، نخستین خط دفاع انسان در

برابر مهاجمان خارجی و مولکول‌های خطرناک در نظر گرفته شده است. بشر صدها سال است که علائم سنتی التهاب را می‌شناسد که شامل قرمزی، درد، تورم و گرما می‌شود (۳۳). با این همه، ادبیات در حال ظهور نشان می‌دهد التهاب به‌عنوان دستگاه بسیار پیچیده در سطح مولکولی بیش از آنچه تصور می‌شد عمل می‌کند. دوره کامل التهاب با بسیاری از فرایندهای پیچیده در شروع، تنظیم و رفع آن همراه است. امروزه دامنه متنوعی از التهاب‌ها شناسایی شده‌اند، با اشکال مختلف که توسط محرک‌های متعدد آغاز شده و توسط سازوکارهای تنظیمی مختلف کنترل می‌شوند (۳۳). به‌عنوان راهبرد محافظتی برای بدن میزبان، یکی از اهداف اصلی التهاب، بازگرداندن هومئوستاز سلولی در پاسخ به هر شرایط آسیب‌زا است. بنابراین سازوکار اصلی شروع التهاب به‌شدت با وضعیت هومئوستاز بدن مرتبط است و التهاب به‌عنوان یک «پاسخ سازشی» به هر عاملی که یکپارچگی هومئوستاز سلولی را تهدید می‌کند، در نظر گرفته می‌شود (۳۳، ۳۴). در نتیجه، هرچه این پاسخ بیشتر ادامه یابد، بدن با پیامدهای مخرب‌تری مواجه خواهد شد. در کنار نقش مفید التهاب حاد به‌عنوان محافظ برای فیزیولوژی سلولی، پاسخ التهابی باید کمترین دوام را داشته باشد تا از تشدید شرایط نامطلوب جلوگیری شود (۳۳). در پاسخ به یک محرک مناسب مانند عفونت میکروبی، مهاجمان خارجی یا هر محرک (خارجی یا داخلی)، التهاب همواره در عرض چند دقیقه در بدن فرد میزبان با دستگاه ایمنی ذاتی عملکردی آغاز می‌شود. از آنجایی که دستگاه ایمنی ذاتی عامل اصلی التهاب است، سلول‌های ایمنی مانند ماکروفاژها، سلول‌های دندریتی، ماست سل‌ها، نوتروفیل‌ها و لنفوسیت‌ها نقش مهمی در پاسخ‌های التهابی ایفا می‌کنند (۳۳، ۳۵). بر اساس ماهیت محرک‌ها، مسیرهای

التهابی و بافت‌های هدف آن‌ها به‌طور چشمگیری متفاوت است. در مورد عفونت باکتریایی، سلول‌های ایمنی از طریق گیرنده‌های ویژه بلافاصله پاتوژن‌ها را حس می‌کنند. فعال شدن گیرنده‌های ویژه سبب تولید عوامل التهابی مانند سایتوکین‌های التهابی می‌شود (مانند $TNF-\alpha$) و کموکاین‌ها پیشرفت التهاب را از طریق اصلاح نفوذپذیری اندوتلیال عروقی و همچنین، جذب نوتروفیل‌ها در محل عفونت را تسریع می‌کنند (۳۳). مدت زمان پاسخ‌های التهابی بسته به میزان آسیب ناشی از پاتوژن‌ها متفاوت است. در بیشتر موارد، این پاسخ‌ها از طریق تولید بیش‌ازحد سایتوکین‌های التهابی، که واسطه ترشح پروتئین‌های مرحله حاد (CRP) توسط سلول‌های کبدی هستند، به سمت تأثیرات سراسری گسترش می‌یابند. این پروتئین‌ها، به نوبه خود، اندوتلیوم مغز را تحریک و تولید پروستاگلاندین‌ها را تسهیل می‌کنند که دلیل اصلی شروع علائم (مانند درد و تب) از طریق تأثیر بر دستگاه عصبی مرکزی هستند (۳۳، ۳۴).

فعالیت ورزشی به‌عنوان تعدیل‌کننده مهم سایتوکین‌ها و کموکاین‌ها شناخته می‌شود و روی توان فعالیت ورزشی برای پیشگیری و درمان بیماری‌های دارای منشأ التهابی تمرکز شده است (۳۶، ۳۷). با این همه، پژوهش‌های بسیاری گزارش کرده‌اند که سایتوکین‌ها و کموکاین‌های مختلف در پاسخ به یک وهله فعالیت ورزشی می‌تواند افزایش یابد (۳۸، ۳۹). اگرچه سازوکار دقیق افزایش عوامل التهابی مشخص نیست، اما یافته‌ها نشان می‌دهد هنگام فعالیت ورزشی حاد گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) توسط ماهیچه اسکلتی تولید شده و این عوامل سبب رهايش سایتوکین‌های التهابی به داخل خون می‌شود (۱۷). یافته‌های این پژوهش نیز نشان داد که تمرین تخصصی والیبال بدون BFR مقدار CRP و ESR را به‌طور معناداری افزایش داد، اما مقدار سرمی $TNF-\alpha$ پس از مداخله در

دختران نوجوان والیبالیست افزایش چشمگیری نشان نداد. بر اساس یافته‌های پیشین یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر رهايش عوامل التهابی در پاسخ به فعالیت ورزشی حاد، شدت فعالیت ورزشی است (۴۰)؛ از این‌رو، گمان می‌رود تمرین تخصصی والیبال با شدت ۱۷ تا ۱۸ بر اساس مقیاس میزان درک خستگی (RPE) از شدت لازم برای افزایش سطح سرمی $TNF-\alpha$ برخوردار نیست. با این همه، بر اساس یافته‌های این پژوهش، تمرین تخصصی والیبال با BFR سبب افزایش معنادار در مقدار سرمی CRP، ESR و $TNF-\alpha$ در دختران نوجوان والیبالیست شد. در این زمینه، رحمتی و همکاران (۲۰۱۶) با تحقیقی روی ۲۴ مرد فعال جهت بررسی تأثیر حاد رکاب زدن زیر بیشینه با BFR روی چرخ کارسنج بر سطح سرمی $TNF-\alpha$ ، نشان داد که رکاب زدن با و بدون BFR تأثیری بر افزایش سطح سرمی $TNF-\alpha$ در مردان فعال ندارد (۴۰). با اینکه یافته‌های پژوهشی مربوط به اثر حاد تمرین BFR بر التهاب محدود و متناقض‌اند، اما به‌دلیل اینکه این نوع تمرین سبب ایجاد ایسکمی بیشتر در مقایسه با تمرین عادی در ماهیچه‌های اسکلتی موردنظر می‌شود و حوضچه خونی موقت در ماهیچه‌های اسکلتی به‌وجود می‌آورد، سبب تجمع مواد سوخت‌وسازی مانند اسید لاکتیک در ماهیچه‌های اسکلتی می‌شود و می‌تواند به رهايش سایتوکین‌ها و ایجاد التهاب بیشتر در بدن بینجامد (۴۰).

از نقاط قوت این پژوهش، بررسی نشانگرهای التهابی در قالب یک جلسه تمرین تخصصی والیبال است که برخلاف بسیاری از پژوهش‌ها، تنها روی تمرین هوازی یا مقاومتی متمرکز نشده است. همچنین با توجه به اینکه تاکنون تأثیر تمرین ورزشی با محدودیت جریان خون روی والیبالیست‌های دختر بررسی نشده است و از سوی دیگر، این نوع تمرین افزون بر اثرگذاری بر نشانگرهای التهابی، می‌تواند به افزایش قدرت، توان و

تعارض منافع

در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافی در دست نیست.

منابع

1. Reeser JC, Verhagen E, Briner WW, Askeland T, Bahr R. Strategies for the prevention of volleyball related injuries. *British journal of sports medicine*. 2006;40(7):594-600.
2. Gabbett T, Georgieff B, Domrow N. The use of physiological, anthropometric, and skill data to predict selection in a talent-identified junior volleyball squad. *Journal of sports sciences*. 2007;25(12):1337-44.
3. Shavandi N, Saremi A. Physiological and anthropometric characteristic of Iranian national volleyball players according to their playing position. *Metabolism and Exercise*. 2012;2(1):-.
4. Haugen T, Seiler S, Sandbakk Ø, Tønnessen E. The training and development of elite sprint performance: an integration of scientific and best practice literature. *Sports medicine-open*. 2019;5:1-16.
5. Ciccarone G, Croisier J-L, Fontani G, Martelli G, Albert A, Zhang L, et al. Comparison between player specialization, anthropometric characteristics and jumping ability in top-level volleyball players. *Medicina dello Sport: Rivista di Fisiopatologia dello Sport*. 2008;61.
6. Suresh A, Perinbaraj SB. Effect of saq training associated with speed training on agility explosive power and speed among engineering college sports persons. *International Journal of Recent Research and Applied Studies*. 2016;3(6):12.

فعال‌سازی مسیرهای آنابولیک منجر شود، این پژوهش از نوآوری و اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا التهاب حاد می‌تواند به پاسخ‌هایی مفید و واکنش‌های بعدی دستگاه‌های دفاعی و هومئوستازی بدن منجر شود. از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به دسترسی نداشتن به حجم نمونه بزرگ‌تر و عدم اندازه‌گیری عوامل التهابی ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از مداخله اشاره کرد. در این پژوهش سایر عوامل التهابی مهم نظیر IL-۶ و IL-۱۰ ارزیابی نشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از حجم نمونه بزرگ‌تر، تعداد دفعات خون‌گیری بیشتر پس از مداخله استفاده شود و سایر عوامل التهابی نیز در نظر گرفته شود.

نتایج این پژوهش نشان داد که یک جلسه تمرین تخصصی والیبال با و بدون محدودیت جریان خون، سبب ایجاد پاسخ‌های التهابی می‌شود و این پاسخ در گروه BFR به دلیل فشار سوخت‌وسازی و مکانیکی در مقایسه با گروه NBFR (فشار مکانیکی صرف) بیشتر بوده است.

تشکر و قدردانی

از همهٔ آزمودنی‌هایی که در انجام این پژوهش شرکت کردند تشکر و قدردانی می‌شود.

حمایت مالی

پژوهش حاضر هیچ‌گونه حمایت مالی از سازمان خاصی دریافت نکرده و برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد است.

مشارکت نویسندگان

در این پژوهش نویسندهٔ اول دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی و نویسندگان دوم و سوم به ترتیب راهنمایی و مشاورهٔ پایان‌نامه را عهده‌دار بودند.

7. Burd NA, Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, Phillips SM. Bigger weights may not beget bigger muscles: evidence from acute muscle protein synthetic responses after resistance exercise. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*. 2012;37(3):551-4.
8. Schoenfeld BJ, Wilson JM, Lowery RP, Krieger JW. Muscular adaptations in low-versus high-load resistance training: A meta-analysis. *European journal of sport science*. 2016;16(1):1-10.
9. Feng Y, Yin Y, Zhao X, Zhang Y, Zhou Y, Wu Z. A bibliometric analysis study of blood flow restriction using CiteSpace. *Journal of physical therapy science*. 2022;34(10):657-67.
10. Pignanelli C, Christiansen D, Burr JF. Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. *Journal of Applied Physiology*. 2021.
11. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood flow restriction training for athletes: a systematic review. *The American journal of sports medicine*. 2021;49(7):1938-44.
12. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in physiology*. 2019;10:533.
13. Yamanaka T, Farley RS, Caputo JL. Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012;26(9):2523-9.
14. Loenneke JP, Young KC, Wilson JM, Andersen J. Rehabilitation of an osteochondral fracture using blood flow restricted exercise: a case review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2013;17(1):42-5.
15. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, et al. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Journal of Applied Physiology*. 2009;106(4):1119-24.
16. Rossi FE, De Freitas MC, Zanchi NE, Lira FS, Cholewa JM. The role of inflammation and immune cells in blood flow restriction training adaptation: a review. *Frontiers in physiology*. 2018;9:1376.
17. Asadi MB, Sharifi H, Abedi B, Fatolahi H. Acute inflammatory response to a single bout of resistance exercise with or without blood flow restriction. *International Journal of Sport Studies for Health*. 2020;3(2).
18. Mosaferi-Ziaaadini M, Ebrahim K, Amani D, Arabnarmi Z. Effect of supplementary consumption of coenzyme Q10 on TNF- α serum levels during maximal training. *Journal of Ardabil University of Medical Sciences*. 2012;12(3):303-11.
19. Shirvani H, Nikbakht H, Ebrahim Kh G. The effects of soccer specific exercise and Taurine supplementation on serum cytokine response in male elite soccer players. *Ann Biol Res*. 2012;3(9):4420-6.
20. Ahnach M, Zbiri S, Nejari S, Ousti F, Elkettani C. C-reactive protein as an early predictor of COVID-19 severity. *Journal of medical biochemistry*. 2020;39(4):500.
21. Herold T, Jurinovic V, Arnreich C, Lipworth

- BJ, Hellmuth JC, von Bergwelt-Baildon M, et al. Elevated levels of IL-6 and CRP predict the need for mechanical ventilation in COVID-19. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2020;146(1):128-36. e4.
22. 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.
23. Dömling A, Li X. TNF- α : The shape of small molecules to come? *Drug discovery today*. 2022;27(1):3-7.
24. Deng X, Yu X, Pei J. Regulation of interferon production as a potential strategy for COVID-19 treatment. *arXiv preprint arXiv:200300751*. 2020.
25. Cheng Y, Desse S, Martinez A, Worthen RJ, Jope RS, Beurel E. TNF α disrupts blood brain barrier integrity to maintain prolonged depressive-like behavior in mice. *Brain, behavior, and immunity*. 2018;69:556-67.
26. Fardell C, Schiöler L, Nissbrandt H, Torén K, Åberg M. The erythrocyte sedimentation rate in male adolescents and subsequent risk of Parkinson's disease: an observational study. *Journal of Neurology*. 2021;268(4):1508-16.
27. Kaya T, Nalbant A, Kılıçcıoğlu GK, Çayır KT, Yaylacı S, Varım C. The prognostic significance of erythrocyte sedimentation rate in COVID-19. *Revista da Associação Médica Brasileira*. 2021;67:1305-10.
28. Alende-Castro V, Alonso-Sampedro M, Fernández-Merino C, Sánchez-Castro J, Sopena B, Gude F, et al. C-reactive protein versus erythrocyte sedimentation rate: implications among patients with No known inflammatory conditions. *The Journal of the American Board of Family Medicine*. 2021;34(5):974-83.
29. Darras A, John T, Wagner C, Kaestner L. Erythrocyte sedimentation rate: a physics-driven characterization in a medical context. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*. 2023(193):e64502.
30. Lapić I, Padoan A, Bozzato D, Plebani M. Erythrocyte sedimentation rate and C-reactive protein in acute inflammation: meta-analysis of diagnostic accuracy studies. *American journal of clinical pathology*. 2020;153(1):14-29.
31. Susanti EW. Literature Review: An Overview of the Results of the Westergreen Unisa Yogyakarta Method Led (Blood Stimulation Rate) Examination in Pulmonary Tuberculosis Patients. *Unisa Yogyakarta*. 2022:11-1.
32. Hackney KJ, Downs ME, Ploutz-Snyder L. Blood flow restricted exercise compared to high load resistance exercise during unloading. *Aerospace medicine and human performance*. 2016;87(8):688-96.
33. Ahmed AU. An overview of inflammation: mechanism and consequences. *Frontiers in Biology*. 2011;6(4):274-81.
34. Medzhitov R. Inflammation 2010: new adventures of an old flame. *Cell*. 2010;140(6):771-6.
35. Akira S, Uematsu S, Takeuchi O. Pathogen recognition and innate immunity. *Cell*. 2006;124(4):783-801.
36. Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise: its role in diabetes and cardiovascular disease control. *Essays in*

- biochemistry. 2006;42:105-17.
37. La Gerche A, Heidbuchel H. Can intensive exercise harm the heart? You can get too much of a good thing. *Circulation*. 2014;130(12):992-1002.
38. La Gerche A, Inder WJ, Roberts TJ, Brosnan MJ, Heidbuchel H, Prior DL. Relationship between inflammatory cytokines and indices of cardiac dysfunction following intense endurance exercise. *PloS one*. 2015;10(6):e0130031.
39. Accattato F, Greco M, Pullano SA, Carè I, Fiorillo AS, Pujia A, et al. Effects of acute physical exercise on oxidative stress and inflammatory status in young, sedentary obese subjects. *PloS one*. 2017;12(6):e0178900.
40. Rahmati S, Rajabi H, Karimzadeh L. The Chronic and Acute Effect of Submaximal Pedaling Activity along with Blood Flow Restriction on Serum BDNF and TNF- α in Active Men. *Journal of Sport Biosciences*. 2016;8(2):247-62.