University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Winter 2022, 10(24), 68-84

Received: Mar 18, 2022 Revised: Jun 30, 2022 Accepted: Jul 1, 2022

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

The effect of speed endurance production training with blood flow restriction during rest intervals on serum VEGF and HIF-1α levels and aerobic and anaerobic performance in male soccer players

Babak Mostafa-Farkhani[1], Marziyeh Saghebjoo[2]*, Seyed Alireza Hosseini Kakhak[3], Mehdi Hedayati[4]**

1. Ph.D. Student of Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

2. Professor of Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

3. Professor of Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4. Professor of Cellular and Molecular Endocrine Research Center, Research Institute for Endocrine Sciences, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Abstract

Background and Aim: Aerobic training and the use of blood flow restriction (BFR) have a positive effect on improving athletes' aerobic power. The aim of the present study was to assess the effect of five weeks of speed endurance production training with and without BFR on serum vascular endothelial growth factor (VEGF) and hypoxia-inducible factor-1 alpha (HIF-1α) levels and aerobic and anaerobic performance in male soccer players. **Materials and Methods**: Thirty nine male soccer players (mean age 17±0.49 years, height 177±3.32 cm, weight 68±1.24 kg) were randomly divided into three equal groups, namely (1) speed endurance production training with BFR (SEPB), (2) speed endurance production training without BFR (SEP), and (3) control (C, common soccer training). Training program (repeated maximal 30-s sprint running, separated by 150-s recovery periods) and BFR (upper thigh BFR with a rating of 7 out of 10 on a perceived pressure scale) were performed three times a week for five weeks. Serum VEGF and HIF-1α levels, maximal oxygen consumption (VO_2max), aerobic performance, anaerobic power, fatigue index, and running speed were measured before and after the training program. Repeated-measures analysis of variance was used for statistical analyzing at the significance level of $p \leq 0.05$. **Results**: VO_2max and aerobic performance in the SEPB and SEP groups and running speed of 30 meters in the SEP and C groups showed significant improvement so that the increase in VO_2max and aerobic performance in the SEPB group was significantly higher than in the SEP group. The VEGF and HIF-1α levels were significantly decreased in all three groups compared with the pre-test. Also, anaerobic power and fatigue index in all three groups decreased and increased, respectively as compared to the pre-test. **Conclusion**: Speed endurance production training improves VO_2max, aerobic performance, and running speed of 30 meters in male soccer players and BFR using during the rest intervals can lead to further improvements in some of these variables. Further studies are needed to identify reasons for decreased serum levels of VEGF and HIF-1α along with the improvement of aerobic parameters following speed endurance production training.

Keywords: Exercise training, Blood flow restriction, Angiogenesis, Sport performance.

Cite this article:

Mostafa-Farkhani, B., Saghebjoo, M., Hosseini Kakhak, S.A., & Hedayati, M. (2022). The effect of speed endurance production training with blood flow restriction during rest intervals on serum VEGF and HIF-1α levels and aerobic and anaerobic performance in male soccer players. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, 10***(24), 68-84.**

***Corresponding Author, Address: Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, University Blvd, Birjand, Iran;**
Email: m_saghebjoo@birjand.ac.ir

****Corresponding Author, Address: Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Azadi Square, Mashhad, Iran;**
Email:hosseinik@um.ac.ir

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.5204.1703

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee **Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport (JPSBS)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش مقاله پژوهشی
زمستان ۱۴۰۱، دوره ۱۰، شماره ۲۴، ص ۸۴-۶۸
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰
نشریه مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش
دانشگاه بیرجند

اثر تمرین استقامت در سرعت تولیدی به همراه محدودیت جریان خون در تناوب‌های استراحتی بر سطوح سرمی VEGF و HIF-1α و عملکرد هوازی و بی‌هوازی مردان فوتبالیست

بابک مصطفی فرخانی[۱]، مرضیه ثاقب‌جو[۲*]، سید علیرضا حسینی کاخک[۳]، مهدی هدایتی[۴]**

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴. استاد مرکز تحقیقات سلولی مولکولی غدد درون ریز، پژوهشکده علوم غدد درون ریز، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: تمرین هوازی و استفاده از محدودیت جریان خون (BFR) در بهبود توان هوازی ورزشکاران اثر مثبت دارد. هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر پنج هفته تمرین استقامت در سرعت تولیدی با و بدون BFR در تناوب‌های استراحتی بر سطوح سرمی عامل رشد اندوتلیال عروقی (VEGF)، عامل القای هایپوکسی-۱ آلفا (HIF-1α) و عملکرد هوازی و بی‌هوازی مردان فوتبالیست بود. **روش تحقیق**: تعداد ۳۹ مرد فوتبالیست (میانگین سنی ۱۷±۰/۴۹ سال، قد ۱۷۷±۳/۳۲ سانتی‌متر و وزن ۶۸±۱/۲۴ کیلوگرم) به صورت تصادفی به سه گروه مساوی شامل ۱) تمرین استقامت در سرعت تولیدی با BFR (SEPB)، ۲) تمرین استقامت در سرعت تولیدی بدون BFR (SEP) و ۳) کنترل (C، تمرین معمول فوتبال) تقسیم شدند. برنامه تمرین (دویدن با حداکثر سرعت در تناوب‌های ۳۰ ثانیه‌ای و استراحت ۱۵۰ ثانیه‌ای بین آن‌ها) و BFR (اعمال شده در قسمت بالای ران و با امتیاز هفت از ۱۰ در مقیاس فشار درک شده) به مدت پنج هفته و سه جلسه در هفته انجام شد. سطوح سرمی VEGF و HIF-1α، حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_2max)، عملکرد هوازی، توان بی‌هوازی، شاخص خستگی و سرعت دویدن، قبل و بعد از برنامه تمرین اندازه‌گیری شد. آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری جهت تحلیل‌های آماری در سطح معنی‌داری $p\leq ۰/۰۵$ مورد استفاده قرار گرفت. **یافته‌ها**: VO_2max و عملکرد هوازی در گروه‌های SEPB و SEP و سرعت دویدن ۳۰ متر در گروه‌های SEP و C بهبود معنی‌داری داشت، به‌گونه‌ای که افزایش VO_2max و عملکرد هوازی در گروه SEPB نسبت به گروه SEP، به طور معنی‌داری بیشتر بود. سطوح VEGF و HIF-1α در هر سه گروه نسبت به پیش‌آزمون کاهش معنی‌داری یافت. توان بی‌هوازی و شاخص خستگی نیز در هر سه گروه نسبت به پیش‌آزمون، به‌ترتیب کاهش و افزایش معنی‌داری یافت. **نتیجه‌گیری**: تمرین استقامت در سرعت تولیدی، منجر به بهبود VO_2max، عملکرد هوازی و سرعت دویدن ۳۰ متر در مردان فوتبالیست می‌شود و استفاده از BFR در تناوب‌های استراحتی، می‌تواند بهبودی بیشتری در برخی از این شاخص‌ها ایجاد نماید. مطالعات بیشتری جهت شناسایی دلایل کاهش سطوح سرمی VEGF و HIF-1α همراه با بهبود شاخص‌های هوازی متعاقب تمرین استقامت در سرعت تولیدی مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: تمرین ورزشی، محدودیت جریان خون، آنژیوژنزیس، عملکرد ورزشی.

*نویسنده مسئول، آدرس: بیرجند، بلوار دانشگاه، دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم ورزشی؛
پست الکترونیک: m_saghebjoo@birjand.ac.ir
**نویسنده مسئول، آدرس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم ورزشی؛
پست الکترونیک: hosseinik@um.ac.ir

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.5204.1703

مقدمه

سیستم‌های انرژی هوازی و بی‌هوازی در فوتبال از اهمیت بالایی برخوردار هستند. بازیکنان فوتبال در طی یک مسابقه، حدود ۱۰ تا ۱۳ کیلومتر می‌دوند و تعداد ۱۵۰ تا ۲۵۰ فعالیت شدید کوتاه مدت مانند دوهای سریع را انجام می‌دهند (کریستوفر[1] و دیگران، ۲۰۱۶؛ بنگزبو[2] و دیگران، ۲۰۰۶). حداکثر اکسیژن مصرفی[3] (VO_2max) به عنوان شاخص تعیین‌کننده توان هوازی بازیکنان فوتبال در نظر گرفته شده است (میچالیدیس[4] و دیگران، ۲۰۱۹) و از عوامل فیزیولوژیک موثر بر آن، می‌توان به حجم پلاسما، مقادیر هموگلوبین خون، جنسیت، سن، ظرفیت بافرینگ عضله و تراکم مویرگی اشاره کرد (تونسن[5] و دیگران، ۲۰۱۳). بنابراین بازیکنان با VO_2max بالاتر، به دلیل بازگشت به حالت اولیه سریع‌تر و تاخیر در ایجاد خستگی، شانس موفقیت بیشتری دارند (باربرو آلوارز[6] و دیگران، ۲۰۱۵). توان بی‌هوازی در انجام فعالیت‌های شدید مانند پرش‌های انفجاری، تغییر مسیرهای ناگهانی و دوهای سریع کوتاه‌مدت نقش اساسی دارد. در این گونه فعالیت‌ها، افزایش میزان اسید لاکتیک در خون و عضلات موجب ایجاد خستگی در بازیکنان، و در نهایت کاهش عملکرد ورزشی می‌شود. از این رو، توان بی‌هوازی بالاتر و شاخص خستگی پایین‌تر، منجر به افزایش تعداد فعالیت‌های شدید بازیکنان در طول مسابقه خواهد شد (هاوگن[7] و دیگران، ۲۰۱۳).

عامل رشد اندوتلیال عروقی[8] (VEGF)، از مهم‌ترین عوامل تحریک‌کننده اثرگذار در فرآیند آنژیوژنزیس[9] است. این پروتئین، یک گلیکوپروتیین همودایمر باندشونده با هپارین با وزن ۴۵ کیلودالتون است که قوی‌ترین میتوژن مختص سلول‌های اندوتلیال است (سوزوکی[10] و دیگران، ۲۰۰۹). اتصال VEGF به گیرنده خودش، آبشاری از واکنش‌هایی را فعال می‌کند که در نهایت منجر به ایجاد فرآیند آنژیوژنزیس خواهند شد (نورشاهی و دیگران، ۲۰۱۳). ایجاد شرایط کمبود اکسیژن (هایپوکسی[11]) در نتیجه انجام تمرین ورزشی از عوامل اثرگذار بر افزایش سطح VEGF است. در شرایط هایپوکسی، عامل القای هایپوکسی-۱ آلفا[12] (HIF-1α)، بیان ژن VEGF را افزایش می‌دهد. قرار گرفتن در معرض هایپوکسی، موجب تثبیت پروتئین HIF-1α و فعالیت‌های وابسته به آن می‌شود که این امر منجر به رونویسی و بیان مجموعه‌ای از ژن‌ها در جهت آنژیوژنزیس، متابولیسم گلوکز، تنظیم انرژی سلول، رشد و مرگ سلولی می‌شود (لوبودا[13] و دیگران، ۲۰۱۲).

تمرین ورزشی منظم موجب ایجاد شرایط آنژیوژنیک در ورزشکاران می‌شود. در همین راستا تمرین استقامت در سرعت[14] (SET) در دو بخش تمرین تولیدی[15] (PT) و تمرین تحملی[16] (MT) به‌منظور بهبود عملکرد هوازی و بی‌هوازی توسط مربیان فوتبال مورد استفاده قرار گرفته است. تمرین تولیدی وهله‌های ۲۰ تا ۳۰ ثانیه‌ای با حداکثر تلاش به همراه تناوب‌های استراحت پنج تا شش برابر را شامل می‌شوند، در حالی که تمرین تحملی شامل تلاش‌های ۴۰ تا ۹۰ ثانیه‌ای با حداکثر شدت و تناوب‌های استراحت برابر با تلاش انجام شده هستند (اکداگن[17] و دیگران، ۲۰۲۱). مهر[18] و دیگران (۲۰۱۶)، بهبود عملکرد هوازی و بی‌هوازی را متعاقب چهار هفته تمرین استقامت در سرعت تولیدی[19] گزارش کرده‌اند. به نظر می‌رسد ایجاد هایپوکسی و تولید نیتریک اکساید[20] (NO)، به‌ترتیب منجر به تحریک بیان ژن‌های HIF-1α و VEGF شده و از جمله دلایل احتمالی آنژیوژنزیس و بهبود عملکرد هوازی در این تمرین هستند (ایا[21] و دیگران، ۲۰۱۵؛ اینگبریگسن[22] و دیگران، ۲۰۱۳).

از طرف دیگر، تمرین با محدودیت جریان خون[23] (BFR) در سالیان اخیر به عنوان یکی از روش‌های نوین تمرینی معرفی شده است. در این نوع تمرین، به منظور BFR سرخرگی و انسداد بازگشت خون سیاهرگی، می‌توان از باندهای فشار کاربردی، تورنیکت‌ها[24] و همچنین باندهای الاستیک استفاده کرد (لوئنک[25] و دیگران، ۲۰۱۲). استفاده از BFR در تمرین و حالت استراحت، مزایایی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از شدت‌های پایین تمرین و کسب سازگاری‌های مشابه با تمرین با شدت بالا، پیشگیری از اثرات زیان‌بار بی‌تمرینی، افزایش هموگلوبین تام و بهبود اکسیژن‌رسانی به عضلات فعال، کاهش فشار اکسایشی و آسیب عضلانی، افزایش سرعت هدایت عصبی، به‌کارگیری تارهای با آستانه تحریک بالاتر و افزایش سطح هورمون رشد اشاره کرد. سازوکار پیشنهادی برای تاثیر BFR بر آنژیوژنزیس، ایجاد هایپوکسی و تورم سلولی

1. Christopher
2. Bangsbo
3. Maximal oxygen consumption
4. Michailidis
5. Tønnessen
6. Barbero-Alvarez
7. Haugen
8. Vascular endothelial growth factor
9. Angiogenesis
10. Suzuki
11. Hypoxia
12. Hypoxia-inducible factor-1 alpha
13. Loboda
14. Speed endurance training
15. Production training
16. Maintenance training
17. Akdogan
18. Mohr
19. Speed endurance production training
20. Nitric oxide
21. Iaia
22. Ingebrigtsen
23. Blood flow restriction
24. Tourniquet
25. Loenneke

در عضلات فعال، و در نتیجه افزایش پروتئین‌های HIF-1α و VEGF می‌باشد. از سوی دیگر تنش برشی[1] در اثر BFR، موجب تحریک تولید NO و تحریک بیان مثبت VEGF می‌شود (لارکین[2] و دیگران، ۲۰۱۲؛ اگینتون[3] و دیگران، ۲۰۱۱). به نظر می‌رسد که استفاده از BFR حین تمرین با شدت بالا، به دلیل درد و محدودیت حرکتی و عدم تحمل ورزشکاران در فشار ۱۰۰ میلی لیتر جیوه حین تمرین، محدود است. به همین دلیل مربیان در استفاده همزمان از سازگاری‌های تمرین با شدت بالا و BFR محدودیت دارند، اما در هر حال این احتمال نیز وجود دارد که تمرین با شدت‌های بالا در ترکیب با BFR، منجر به بهبود بیشتر شاخص‌های بیوشیمیایی و عملکردی ورزشکاران نسبت به تمرین با شدت پایین به همراه BFR شود. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که استفاده از BFR در تمرین با شدت پایین موجب ایجاد سازگاری‌ها مشابه با تمرین با شدت بالا بدون BFR می‌شود (آبه[4] و دیگران، ۲۰۱۰؛ آرسپرونگ[5] و دیگران، ۲۰۱۷؛ بنت[6] و دیگران، ۲۰۱۹). در این ارتباط، امانی و دیگران (۲۰۱۸) به بررسی تاثیر دو هفته تمرین تناوبی با شدت ۶۰ تا ۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره به همراه BFR با استفاده از دستگاه BFR با فشار ۱۴۰ تا ۱۸۰ میلی‌متر جیوه، بر عملکرد هوازی فوتبالیست‌های جوان پرداختند. نتایج نشان داد عملکرد هوازی در هر دو گروه با و بدون BFR بهبود پیدا کرد. تیلور[7] و دیگران (۲۰۱۶) افزایش معنی‌دار میزان VO_2max، افزایش بیان ژن HIF-1α و عدم تغییر در بیان ژن VEGF و گیرنده فعال‌کننده تکثیر پروکسی زوم گاما هم‌فعال‌ساز ۱-آلفا[8] (PGC1α) در عضله پهن جانبی را متعاقب چهار هفته تمرین تناوبی سرعتی به همراه BFR با فشار ۱۳۰ میلی‌متر جیوه در تناوب‌های استراحتی در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای گزارش کرده‌اند. میچل[9] و دیگران (۲۰۱۹) نیز در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر چهار هفته تمرین تناوبی سرعتی به همراه BFR با فشار ۱۲۰ میلی‌متر جیوه در تناوب‌های استراحتی، بر دانسیته مویرگی و محتوای پروتئین‌های میتوکندریایی عضله پهن جانبی و VO_2max در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای پرداختند. طبق نتایج، VO_2max در گروه تمرین تناوبی سرعتی به همراه BFR افزایش یافت، اما در محتوای پروتئین‌های میتوکندریایی بین دو گروه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. با توجه به مطالعات انجام شده پیرامون تمرین با شدت بالا و BFR، استفاده از ترکیب تمرین با شدت بالا و BFR در مطالعات محدود است. همچنین در مطالعات محدود انجام شده، این مداخله در مدت زمان کوتاهی انجام شده و عدم تغییر متغیرهای بیوشیمیایی و افزایش بیان ژن برخی متغیرها گزارش شده است. در همین راستا، این احتمال وجود دارد تا با افزایش مدت زمان دوره تمرین، افزایش در متغیرهای بیوشیمیایی و یا سنتز شاخص‌های بیوشیمیایی متعاقب افزایش بیان ژن نیز مشاهده شود.

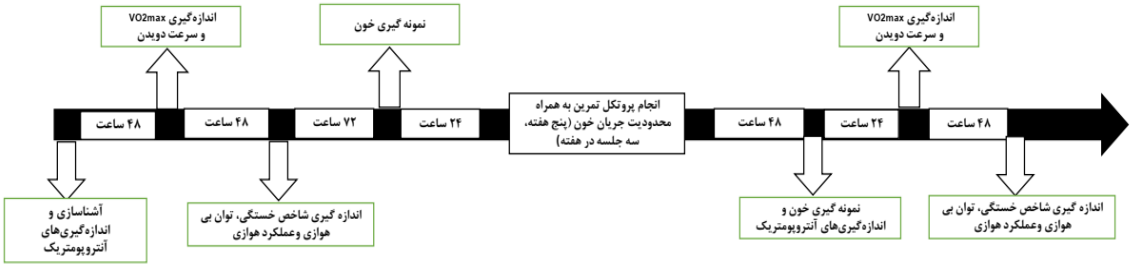
با توجه به عدم توانایی تحمل و تمایل ورزشکاران در استفاده از BFR در حین تمرین شدید (به دلیل درد و محدودیت حرکتی)، تاثیر مثبت BFR در حالت استراحت بر تحریک سازگاری‌های مرکزی تاثیرگذار بر عملکرد استقامتی (میچل و دیگران، ۲۰۱۹؛ د الیویرا[10] و دیگران، ۲۰۱۶) و محدودیت مطالعات در مورد تاثیر تمرین با شدت بالا همراه با BFR، مطالعه پیرامون ترکیب تمرین با شدت بالا و استفاده از BFR مهم به نظر می‌رسد. می‌توان این‌گونه انتظار داشت که با ترکیب تمرین استقامت در سرعت تولیدی و BFR در تناوب‌های استراحتی پس از فعالیت ورزشی، شرایط فیزیولوژیک تمرین مانند هایپوکسی و تنش برشی در طول مدت زمان بیشتری اتفاق بیفتد و این رخداد ممکن است به بهبود بیشتر عملکرد هوازی منجر شود، لذا هدف از این مطالعه بررسی اثر پنج هفته تمرین استقامت در سرعت تولیدی به همراه BFR در تناوب‌های استراحتی بر سطوح سرمی VEGF و HIF-1α و عملکرد هوازی و بی‌هوازی در مردان فوتبالیست بود.

روش تحقیق

مطالعه حاضر از نوع کاربردی است و به روش نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با دو گروه تجربی و یک گروه کنترل، تحت نظارت کمیته اخلاق در پژوهش‌های زیست پزشکی دانشگاه بیرجند (کد اخلاق: IR.BIRJAND.REC.1399.003) انجام شد. تعداد ۳۹ نفر از فوتبالیست‌های مرد استان خراسان رضوی (میانگین سن: ۱۷±۰/۴۹ سال، شاخص توده بدن: ۲۱/۱۳±۱/۹۳ کیلوگرم بر متر مربع، چربی بدن: ۹/۸۸±۱/۲۴ درصد) جهت انجام تحقیق حاضر به صورت هدفمند انتخاب شدند. سابقه حداقل دو سال حضور در مسابقات فوتبال باشگاه‌های استان خراسان رضوی، عدم دارا بودن سابقه بیماری خاص و عدم استفاده از مکمل‌های ورزشی و استروئیدهای آنابولیک، به عنوان معیارهای ورود به مطالعه و بروز هرگونه آسیب‌دیدگی جسمانی در طول تحقیق، عدم تمایل به ادامه همکاری و غیبت بیش از یک

1. Shear stress
2. Larkin
3. Egginton
4. Abe
5. Ursprung
6. Bennett
7. Taylor
8. Peroxisome proliferator activated receptor gamma co-activator 1 alpha
9. Mitchell
10. de Oliveira

جلسه در تمرین مربوطه؛ به عنوان معیارهای خروج از مطالعه در نظر گرفته شد. هیچ مورد خروج از مطالعه وجود نداشت. پس از بررسی و تایید سلامت جسمانی بر اساس ارائه پاسخ منفی به تمام سؤالات پرسش‌نامه آمادگی برای فعالیت بدنی[1] (PAR-Q)، آزمودنی‌ها وارد مرحله اول تحقیق شدند. قبل از شروع پروتکل تحقیق، در خصوص پروتکل تحقیق و مخاطرات احتمالی به همه آزمودنی‌ها اطلاع‌رسانی گردید، رضایت نامه کتبی آگاهانه جهت شرکت در مطالعه، به تایید و امضای تمامی شرکت‌کنندگان در مطالعه رسید و اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک انجام شد. پس از گذشت ۴۸ ساعت از اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک، VO_2max و سرعت آزمودنی‌ها اندازه‌گیری گردید. در مرحله بعد آزمودنی‌ها به روش تقسیم تصادفی ساده با جایگزینی به سه گروه مساوی (هر گروه ۱۳ نفر) شامل: ۱) تمرین استقامت در سرعت تولیدی با BFR (SEPB)، ۲) تمرین استقامت در سرعت تولیدی بدون BFR (SEP) و ۳) کنترل (C، اجراکننده تمرین معمول فوتبال)، تقسیم شدند. لازم به ذکر است که جهت تعیین حداقل حجم نمونه از نرم افزار MedCalc Ver.14.8.1 استفاده شد. کمترین میزان حجم نمونه بر اساس هر دو متغیر بیوشیمیایی VEGF و HIF-1α تعیین شد. از آنجا که حجم نمونه بر اساس متغیر HIF-1α بزرگ‌تر برآورد شد، بنابراین به عنوان کمترین حجم نمونه مورد نظر قرار گرفت. با خطای نوع اول ۰/۰۵ و توان ۹۰ درصد، تغییر بعد از مداخله بر اساس مطالعات مشابه، انتظار حداقل ۱۳ پیکوگرم در میلی‌لیتر و انحراف استاندارد ۹ پیکوگرم در میلی‌لیتر در گروه‌های با تعداد برابر، حداقل ۱۱ نفر در هر گروه و با در نظر گرفتن ۱۰ درصد ریزش، تعداد افراد شرکت‌کننده در هر گروه ۱۳ نفر و جمعا ۳۹ نفر در نظر گرفته شد. با گذشت ۴۸ ساعت از اندازه‌گیری VO_2max، شاخص خستگی[2]، عملکرد هوازی و توان بی‌هوازی هم اندازه‌گیری شدند. آزمون‌ها در زمین چمن برگزار شد و در تمام طول مدت انجام آزمون، آزمودنی‌ها توسط آزمون‌گیرنده‌ها تشویق کلامی می‌شدند (اراضی و دیگران، ۲۰۱۷). با گذشت ۷۲ ساعت از اندازه‌گیری توان بی‌هوازی، نمونه‌گیری خون مرحله پیش‌آزمون، به منظور اندازه‌گیری سطوح سرمی VEGF و HIF-1α انجام شد و پس از گذشت ۲۴ ساعت از نمونه‌گیری خون، پروتکل تحقیق شروع شد. چهل‌وهشت ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین نیز نمونه‌گیری خون و سایر اندازه‌گیری‌ها مطابق زمان‌بندی ارائه شده در شکل ۱ (نمای شماتیک طرح تحقیق) صورت گرفت.



شکل ۱. نمای شماتیک طرح تحقیق

اندازه‌گیری شاخص‌های آنتروپومتریک: اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک شامل قد، وزن و میزان درصد چربی آزمودنی‌ها بود. تمامی اندازه‌گیری‌ها در هر دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون توسط دو کارشناس علوم ورزشی و در ساعت ۱۰ صبح در سالن ورزشی انجام شد. به منظور اندازه‌گیری قد، از قدسنج سکا[3] ساخت کشور آلمان (حساسیت پنج میلی‌متر) در حالی که آزمودنی به صورت ایستاده بود، استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری وزن از ترازوی سکا ساخت کشور آلمان (حساسیت ۱۰ گرم) استفاده شد. شاخص توده بدن از تقسیم وزن بر مجذور قد محاسبه شد. درصد چربی آزمودنی‌ها نیز توسط کالیپر و به صورت اندازه‌گیری سه نقطه‌ای انجام شد. نقاط مورد نظر برای اندازه‌گیری شامل سینه، ران و شکم بود و در نهایت درصد چربی با استفاده از فرمول جکسون و پولاک[4] (۱۹۸۵)، به صورت زیر محاسبه گردید. به منظور افزایش دقت، تمامی اندازه‌گیری‌ها از سمت راست بدن صورت گرفت (دافونسکا[5] و دیگران، ۲۰۰۷).

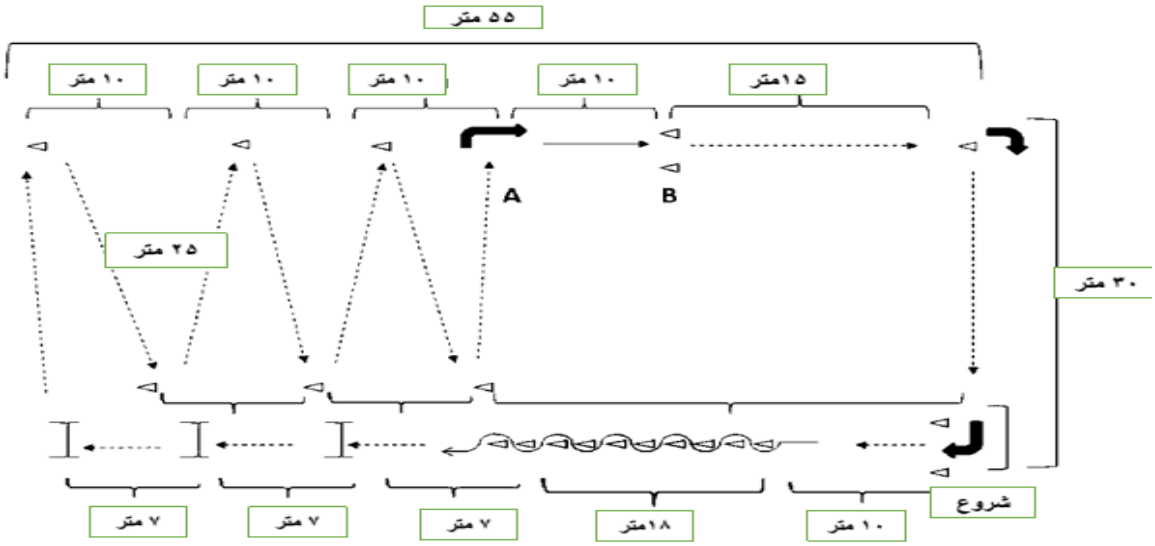
(۰/۰۰۰۲۵۷۴*سن (سال))-(۰/۰۰۰۰۰۱۶*مربع جمع سه نقطه (میلی‌متر))+(۰/۰۰۰۸۲۶۷*جمع سه نقطه (میلی‌متر)) -۱/۱۰۹۳۸ = درصد چربی

1. Physical activity readiness questionnaire
2. Fatigue index
3. Seca
4. Jackson and Pollock
5. da Fonseca

اندازه‌گیری VO_2max: شاخص VO_2max آزمودنی‌ها به وسیله آزمون یویو ریکاوری مرحله اول[1] (YIRL1) اندازه‌گیری شد. در این آزمون ابتدا دو خط به فاصله ۲۵ متر از یکدیگر رسم و سپس خط شروع با فاصله پنج متر از خط اول رسم گردید. آزمودنی‌ها با شنیدن صدای بوق، مسیر ۲۰ متری را طی کرده و بر می‌گشتند و حد فاصل خط اول تا خط شروع را در زمان پنج ثانیه برای ریکاوری فعال طی می‌کردند. آزمون با سرعت ۱۰ کیلومتر در ساعت شروع و پس از آن با پیشرفت مراحل آزمون، سرعت به تدریج افزایش داشت. اتمام آزمون برای هر آزمودنی زمانی بود که برای دومین بار پس از شنیدن صدای بوق نمی‌توانست به خط اول برسد. در پایان، مسافت پیموده شده توسط آزمودنی‌ها محاسبه و با استفاده از فرمول زیر، VO_2max فرد محاسبه شد (کارستن[2] و دیگران، ۲۰۱۶).

۳۶/۴ + ۰/۰۰۸۴ * مسافت دویدن (متر) =VO_2max (میلی‌لیتر/کیلوگرم وزن بدن/ دقیقه)

اندازه‌گیری عملکرد هوازی: به منظور اندازه‌گیری عملکرد هوازی، از آزمون عملکردی هاف[3] استفاده شد. آزمون در یک زمان ۱۰ دقیقه‌ای انجام شد. در دقایق چهارم و هشتم، زمان به آزمودنی‌ها اعلام می‌شد و در پایان، مجموع مسافت طی شده توسط آزمودنی به عنوان رکورد وی در نظرگرفته شد آزمودنی باید تمام مسیر را با تمام توان طی می‌کرد و حد فاصل بین موانع A و B را با حرکت به سمت عقب طی می‌نمود. شکل ۲ مسیر آزمون هاف را نشان می‌دهد (آندرادِ[4] و دیگران، ۲۰۱۵).



شکل ۲. نمای شماتیک از مسیر حرکت آزمودنی‌ها در آزمون هاف

اندازه‌گیری شاخص خستگی و توان بی‌هوازی: به منظور تعیین شاخص خستگی و توان بی‌هوازی، از آزمون سرعت بی‌هوازی بر پایه دویدن[5] (RAST) استفاده شد. به این منظور آزمودنی‌ها مسیر ۳۵ متری را با حداکثر سرعت برای شش نوبت طی می‌کردند و بین هر نوبت، ۱۰ ثانیه استراحت فعال داشتند. قبل از شروع، آزمودنی‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با اجرای فعالیت دویدن با شدت زیر بیشینه و حرکات کششی پویا، به گرم‌کردن پرداختند. هر مسیر ۳۵ متری با استفاده از زمان‌سنج الکترونیک اندازه‌گیری شد. در پایان، به منظور تعیین شاخص خستگی و توان بی‌هوازی، رکوردهای ثبت شده در فرمول‌های زیر قرار داده شد (آندرادِ و دیگران، ۲۰۱۵).

۶÷ مجموع شش رکورد =میانگین توان بی‌هوازی

۱۰۰ * مجموع شش رکورد ÷ بدترین رکورد – بهترین رکورد = شاخص خستگی

1. YO-YO intermittent recovery test level 1
2. Karsten
3. Haff
4. Andrade
5. Running based anaerobic sprint test

اندازه‌گیری سرعت دویدن: برای اندازه‌گیری سرعت دویدن از آزمون‌های سرعت ۱۰ و ۳۰ متر استفاده شد. آزمون‌ها به این شکل انجام شدند که دو خط به فواصل ۱۰ و ۳۰ متر از خط شروع رسم شد. سپس آزمودنی با فرمان شروع با تمام سرعت، شروع به دویدن می‌نمود تا به‌ترتیب از خط ۱۰ و ۳۰ متر عبور کند. در فواصل ۱۰ و ۳۰ متر، رکورد آزمودنی توسط زمان‌سنج الکترونیک ثبت گردید و به عنوان نتیجه آزمون ۱۰ و ۳۰ متر برای وی محسوب شد (بیتو[1] و دیگران، ۲۰۱۸).

پروتکل تمرین استقامت در سرعت تولیدی: این پروتکل تمرینی شامل دویدن با حداکثر سرعت در تناوب‌های ۳۰ ثانیه‌ای و استراحت ۱۵۰ ثانیه‌ای به شرح جدول ۱ بود. آزمودنی‌ها به منظور گرم کردن ابتدا به مدت ۱۵ دقیقه به دویدن با شدت حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد حداکثر ضربان قلب و انجام حرکات کششی پویا می‌پرداختند. سپس در هر یک از تناوب‌ها، ابتدا ۲۰ متر به جلو دویده و با انجام یک چرخش ۹۰ درجه، ۱۰ متر در مسیر جدید به جلو می‌دویدند. سپس ۱۸۰ درجه چرخش کرده و ۲۰ متر می‌دویدند و در نهایت، با انجام ۱۸۰ درجه چرخش و ۴۰ متر دویدن در مسیر جدید به کار خود پایان می‌دادند. مسیر مذکور پس از بررسی توسط GPS و نظرات مربیان حرفه‌ای فوتبال، برای مدت ۳۰ ثانیه‌ای تمرین تولیدی تایید شده است (فرانسن[2] و دیگران، ۲۰۱۸)؛ به عبارت دیگر این اطمینان حاصل شده که اگر آزمودنی بدون توقف مسیر را یک یا دو بار طی کند، قطعا ۳۰ ثانیه با تمام شدت به فعالیت پرداخته است (فرانسن و دیگران، ۲۰۱۸). به منظور تایید شدت بالای تمرین، ضربان قلب آزمودنی‌ها در نوبت‌های دوم و آخر در جلسات دوم و سیزدهم تمرین از طریق شریان رادیال توسط خود آزمودنی اندازه‌گیری شد. میانگین ضربان قلب در جلسه دوم و سیزدهم تمرین حدود ۹۶-۹۵ درصد حداکثر ضربان قلب آزمودنی‌ها بود. در پایان هر جلسه، آزمودنی‌ها پنج دقیقه به سرد کردن (انجام حرکات کششی ایستا) می‌پرداختند. مدت زمان تمرین در هفته اول، حدود ۳۵ دقیقه و در هفته پایانی، ۴۱ دقیقه بود. تعداد تناوب‌های تمرین در هفته اول، پنج؛ هفته‌های دوم و سوم، شش؛ و هفته چهارم، هفت تناوب بود. این تعداد تناوب باتوجه به انجام مطالعه مقدماتی روی آزمودنی‌ها و توانایی تحمل آن‌ها، پنج تناوب برای هفته اول انتخاب شد. مطالعه فرانسن و دیگران (۲۰۱۸)، در هفته اول دارای شش تناوب بود، اما تعداد تناوب‌ها در مطالعه حاضر بر اساس نتایج حاصل از مطالعه مقدماتی تعدیل شد. در مقاله فرانسن و دیگران (۲۰۱۸)، آزمودنی‌ها به مدت چهار هفته و سه جلسه در هر هفته به انجام تمرین پرداختند، اما بر اساس موضوع مطرح شده در مطالعه میچل و دیگران (۲۰۱۹)، مبنی بر این‌که انجام دوره‌های طولانی‌تر تمرین، از جمله پارامترهای موثر در افزایش قابل توجه سازگاری‌ها در تمرین با BFR می‌باشد، تعداد جلسات تمرین هفتگی در مقایسه با مطالعه فرانسن و دیگران (۲۰۱۸)، یک هفته افزایش داشت. گروه کنترل نیز زیر نظر یک مربی حرفه‌ای به انجام تمرین تکنیکی و تاکتیکی معمول فوتبال شامل انواع پاسکاری‌ها، ضربات به دروازه و انواع پاس‌های بلند پرداختند. مدت زمان تمرین آزمودنی‌های گروه کنترل در هر جلسه، متناسب و برابر با زمان تمرین در دو گروه مداخله بود. لازم به ذکر است که برنامه تمرینی مطالعه حاضر، در زمستان ۹۸ در مجموعه ورزشی سازمان آب شهر مشهد انجام شد.

جدول ۱. پروتکل تمرین استقامت در سرعت تولیدی

متغیرهای تمرین	تعداد جلسات تمرین هفتگی	تعداد تناوب در هر جلسه	شدت تمرین در هر تناوب	مدت زمان هر تناوب (ثانیه)	میزان استراحت بین تناوب‌ها (ثانیه)
هفته اول	۳	۵	حداکثر	۳۰	۱۵۰
هفته دوم	۳	۶	حداکثر	۳۰	۱۵۰
هفته سوم	۳	۶	حداکثر	۳۰	۱۵۰
هفته چهارم	۳	۷	حداکثر	۳۰	۱۵۰
هفته پنجم	۳	۷	حداکثر	۳۰	۱۵۰

1. Beato
2. Fransson

پروتکل محدودیت جریان خون: اعمال BFR در مطالعه حاضر با استفاده از باندهای الاستیک با عرض ۷۶ میلی‌متر انجام شد (لوئنک و دیگران، ۲۰۱۲). باندها در بالاترین قسمت ممکن ران هر دو پا بسته شدند (تیلور و دیگران، ۲۰۱۶). به منظور تعیین فشار مناسب جهت انسداد جریان خون شریانی، از نمره‌دهی توسط آزمودنی‌ها استفاده شد و در طول دوره تحقیق، نمره هفت از ۱۰ به صورت اختصاصی برای هر آزمودنی مورد استفاده قرار گرفت (ویلسون[1] و دیگران، ۲۰۱۳). همچنین در مطالعه مقدماتی، به منظور اطمینان از میزان اعمال کشش به تورنیکت و ایجاد BFR مناسب، از سونوگرافی داپلر[2] جهت اندازه‌گیری جریان خون شریانی رانی استفاده شد. به این ترتیب که تورنیکت به دور ران چهار آزمودنی بسته شد و به تدریج میزان فشار تورنیکت افزایش یافت، به‌گونه‌ای که بستن تورنیکت تا جایی ادامه یافت که جریان خون شریان رانی به طور کامل قطع و این فشار به‌عنوان فشار انسداد شریانی ثبت گردید. با چند بار آزمون و خطا طول مناسب تورنیکت و میزان مناسب کشش با توجه به حجم ران به دست آمد (حسینی کاخک و دیگران، ۲۰۲۰؛ کاتوکا[3] و دیگران، ۲۰۲۲). هنگام اعمال BFR در طول اجرای تحقیق، آزمودنی‌ها در حالت طاقباز بودند و اندام تحتانی به صورت موازی با زمین قرار داشت (امانی و دیگران، ۲۰۱۸؛ تیلور و دیگران، ۲۰۱۶). گروه SEPB، به مدت تقریبی ۷۰-۶۷ ثانیه، به صورت طاقباز تحت تاثیر BFR با فشار هفت از ۱۰ قرار گرفتند و مابقی زمان تناوب استراحتی، استراحت غیر فعال داشتند و گروه SEP، ۱۵۰ ثانیه استراحت غیر فعال داشتند. در ۳۰ ثانیه آخر هر تناوب استراحتی، آزمودنی برمی‌خاست و آماده اجرای تناوب بعدی تمرین می‌شد. تعیین مدت زمان اعمال BFR در دوره استراحت بین تناوب‌های تمرینی در مطالعه حاضر، با محاسبه نسبت زمان اعمال BFR به کل زمان استراحت بین دو تناوب تمرینی مطابق با مطالعات محدود صورت گرفته (تیلور و دیگران، ۲۰۱۶)، انجام شد. ذکر این نکته ضروری است که هر آزمودنی در کل دوره تحقیق، باندهای مخصوص خود را داشت و بستن باندها در کل دوره تحقیق به عهده یک نفر (دانشجوی مجری تحقیق) بود.

نمونه‌گیری خونی و اندازه‌گیری متغیرهای بیوشیمیایی: متعاقب ناشتایی ۱۲ ساعته در ساعت هشت صبح در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون، پس از حدود ۱۵ دقیقه استراحت در حالت نشسته، از ورید ناحیه ساعد (آنته‌کوبیتال[4]) هر آزمودنی، پنج میلی‌لیتر خون توسط کارشناس مربوطه (در آزمایشگاه دکتر سزاوار، مشهد) گرفته شد و در لوله‌های آزمایش فاقد ماده ضد انعقادی ریخته شد. پس از لخته شدن خون در دمای اتاق، نمونه‌های خونی سانتریفیوژ شدند (با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، سرم حاصل جدا گردید و تا زمان سنجش‌های آزمایشگاهی (در مرکز تحقیقات سلولی مولکولی غدد درون‌ریز، پژوهشکده علوم غدد درون‌ریز، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران) در فریزر با دمای منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد، نگهداری شد. به منظور تعیین سطوح سرمی VEGF (Cat Number: ZB-10080C-H9648) و HIF-1α (Cat Number: ZB-10422C-H9648) از کیت‌های الایزای مربوط ساخت شرکت زل‌بایو[5] (محصول کشور آلمان، خریداری شده از شرکت پادگین طب، تهران، ایران) به‌ترتیب با ضریب تغییرات ۵/۹ و ۶/۱ درصد و حساسیت ۲۵ نانوگرم در لیتر و ۰/۰۶ نانوگرم در میلی‌لیتر استفاده شد.

روش‌های آماری: طبیعی بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو - ویلک[6] و همگنی واریانس‌های متغیرهای مورد مطالعه توسط آزمون لون[7] تایید گردید. در ادامه، به منظور توصیف داده‌ها، از روش‌های آمار توصیفی (شامل میانگین و انحراف استاندارد) و جهت بررسی تغییرات درون‌گروهی و بین‌گروهی متغیرهای وابسته، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری[8] و آزمون تعقیبی بونفرونی[9] استفاده شد. تمام محاسبات آماری در محیط نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت و سطح معنی‌داری در تمامی آزمون‌ها، $p\leq ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد. همچنین برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار گراف‌پد پریسم[10] نسخه نهم استفاده شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها در گروه‌های تمرین و کنترل در جدول ۲ نمایش داده شده است.

نتایج مربوط به تغییرات سطوح سرمی VEGF و HIF-1α در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج، عدم تغییر معنی‌دار سطح پروتئین VEGF در عامل گروه (F=۰/۳۶، p=۰/۶۹) و تعامل زمان×گروه (F=۰/۸۴، p=۰/۴۲) را نشان داد، در حالی که عامل زمان معنی‌دار بود (F=۹/۲۲، p=۰/۰۰۴)، به‌گونه‌ای که سطوح سرمی VEGF در هر سه گروه مطالعه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون کاهش یافت (p=۰/۰۰۴) (شکل ۳ الف). همچنین، عدم تغییر معنی‌دار سطح پروتئین

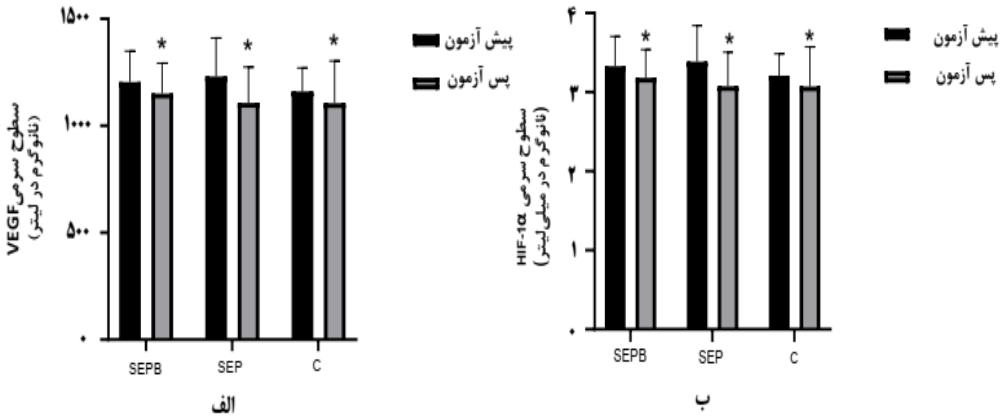
1. Wilson
2. Doppler ultrasound
3. Kataoka
4. Antecubital vein
5. ZellBio
6. Shapiro-Wilk
7. Levene
8. Repeated measures analysis of variance
9. Bonferroni
10. GraphPad Prism

جدول ۲. ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها (میانگین± انحراف استاندارد) در گروه‌ها در ابتدا و انتهای تحقیق

متغیرها	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)		شاخص توده بدن (کیلوگرم/متر مربع)		چربی بدن (درصد)	
	قبل از تمرین		قبل از تمرین	بعد از تمرین	قبل از تمرین	بعد از تمرین	قبل از تمرین	بعد از تمرین
گروه SEPB	۱۷/۶۲±۰/۳۱	۱۷۸±۳/۳۱	۶۶/۶۹±۴/۹۳	۶۶/۴۶±۵/۰۵	۲۰/۷۸±۰/۴۴	۲۰/۵۸±۱/۰۷	۱۰/۲۸±۳/۷۴	۱۰/۸۹±۴/۷۰
گروه SEP	۱۷/۸۵±۰/۲۱	۱۷۸±۴/۰۱	۶۶/۶۹±۳/۹۸	۶۶/۵۳±۴/۰۷	۲۰/۷۵±۱/۰۲	۲۰/۷۹±۱/۲۴	۹/۵۶±۱/۰۷	۹/۳۳±۱/۲۴
گروه C	۱۸/۱۵±۰/۱۶	۱۷۶±۳/۱۶	۷۲/۰۰±۳/۶۰	۷۱/۸۴±۳/۵۵	۲۲/۰۵±۱/۰۵	۲۲/۰۱±۱/۰۹	۹/۸۶±۱/۸۲	۹/۷۴±۲/۰۰

SEPB: تمرین استقامت در سرعت تولیدی به همراه BFR، **SEP**: تمرین استقامت در سرعت تولیدی بدون BFR، **C**: کنترل

HIF-1α در عامل گروه (F=۰/۳۷ ،p=۰/۶۹) و تعامل زمان×گروه (F=۰/۷۶ ،p=۰/۴۷) مشاهده گردید، در حالی که عامل زمان معنی‌دار بود (F=۹/۴۴ ،p=۰/۰۰۴). بر همین اساس و با توجه به مقادیر میانگین‌ها، کاهش سطح سرمی HIF-1α در مقادیر پس‌آزمون هر سه گروه در مقایسه با پیش‌آزمون (p=۰/۰۰۴) مشاهده شد (شکل ۳ ب).



شکل ۳. مقایسه تغییرات سطوح سرمی VEGF (الف) و HIF-1α (ب) در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه‌های شرکت‌کننده در تحقیق، **SEPB**: تمرین استقامت در سرعت تولیدی به همراه BFR، **SEP**: تمرین استقامت در سرعت تولیدی بدون BFR، **C**: کنترل، *: تفاوت معنی‌دار با پیش‌آزمون در سطح p≤۰/۰۵.

نتایج مربوط به تغییرات متغیرهای عملکردی در شکل ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج، اثرات زمان، گروه و تعامل زمان×گروه برای متغیرهای VO_2max (مقادیر p به‌ترتیب ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۰۱؛ مقادیر F به‌ترتیب ۷۱/۹۸، ۲۷/۲۶ و ۱۰/۵۷) و عملکرد هوازی (مقادیر p در هر سه مورد مساوی ۰/۰۰۰۱؛ مقادیر F به‌ترتیب ۳۷/۵۷، ۲۴۰/۲۶ و ۱۸/۹۲) معنی‌دار بود. نتایج آزمون تعقیبی، افزایش معنی‌دار VO_2max و عملکرد هوازی در گروه‌های SEPB و SEP را در مقایسه با پیش‌آزمون نشان داد (مقادیر p در هر دو مورد مساوی ۰/۰۰۰۱)، در حالی که در گروه کنترل تغییر معنی‌داری مشاهده نشد (p>۰/۰۵). از سوی دیگر، افزایش این دو متغیر در گروه SEPB در مقایسه با گروه‌های SEP و کنترل به طور معنی‌داری بیشتر بود (p=۰/۰۰۱ در تمام مقایسه‌های زوجی). همچنین در گروه SEP نسبت به گروه کنترل بهبود معنی‌داری (مقادیر p در هر دو مورد مساوی ۰/۰۰۱) در هر دو متغیر مشاهده شد (شکل چهار الف و ب).

نتایج مربوط به متغیرهای توان بی‌هوازی و شاخص خستگی نیز در شکل ۴ (ج و د) آمده است. بر اساس نتایج، اثرات گروه و تعامل زمان×گروه در متغیرهای توان بی‌هوازی (مقادیر p به‌ترتیب ۰/۱۰ و ۰/۷۴، مقادیر F به‌ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۲۹) و شاخص خستگی (مقادیر p به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۰۷، مقادیر F به‌ترتیب ۱/۷۱ و ۲/۸۵) معنی‌دار نبود، در حالی‌که معنی‌داری اثر زمان در هر دو

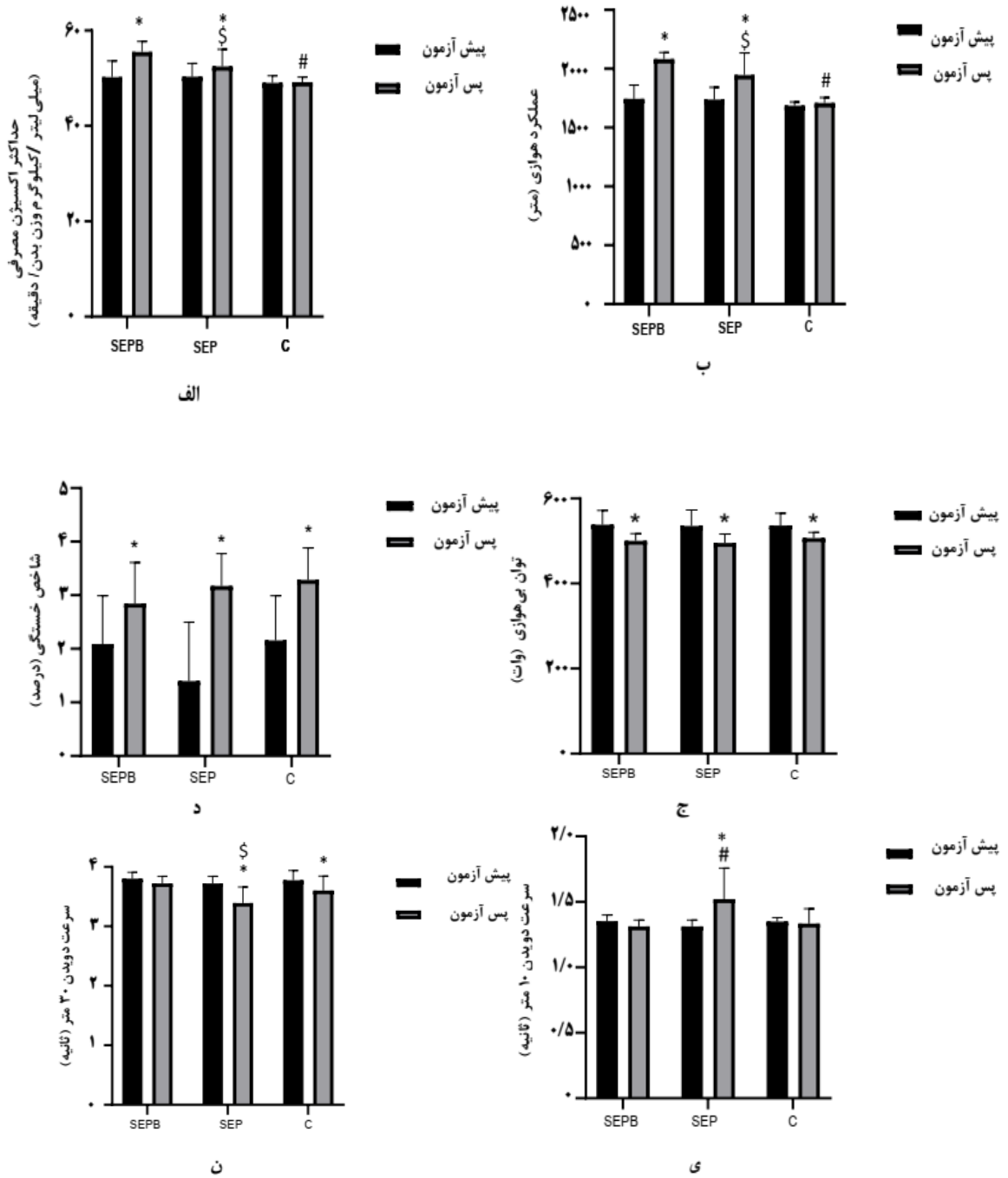
متغیر توان بی‌هوازی (F=۳۵/۰۷ ،p=۰/۰۰۰۱) و شاخص خستگی (F=۴۷/۲۹ ،p=۰/۰۰۰۱) مشاهده شد. بر این اساس و با توجه به جهت تغییر میانگین‌های هر سه گروه در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون، توان بی‌هوازی کاهش معنی‌دار و شاخص خستگی در هر سه گروه افزایش معنی‌داری داشت.

نتایج مربوط به آزمون سرعت دویدن ۱۰ متر نیز اثر معنی‌دار گروه و تعامل زمان×گروه را نشان داد (مقادیر p به‌ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱، مقادیر F به‌ترتیب ۴/۶۳ و ۹/۱۹). بر اساس نتایج آزمون تعقیبی، اُفت معنی‌دار رکورد سرعت دویدن ۱۰ متر در گروه SEP نسبت به گروه‌های SEPB و C مشاهده گردید (مقادیر p به‌ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱) و سرعت دویدن ۱۰ متر در گروه SEP هم نسبت به پیش‌آزمون (p=۰/۰۰۰۱) اُفت معنی‌داری داشت (شکل ۴ی). همچنین، اثرات زمان، گروه و تعامل زمان×گروه در متغیر سرعت دویدن ۳۰ متر نیز معنی‌دار بود (مقادیر p به‌ترتیب ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۴ و ۰/۰۲؛ مقادیر F به‌ترتیب ۳۱/۵۰، ۶/۵۹ و ۴/۴۰). بر اساس نتایج آزمون تعقیبی، رکورد سرعت دویدن ۳۰ متر در گروه SEP نسبت به گروه SEPB به‌طور معنی‌داری بهتر بود (p=۰/۰۰۰۱) و در گروه‌های SEP و C نسبت به پیش‌آزمون بهبود معنی‌داری داشت (مقادیر p به‌ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۱)، در حالی‌که در گروه SEPB تغییر معنی‌داری (p=۰/۱۸) نسبت به پیش‌آزمون مشاهده نشد (شکل ۴ن).

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پنج هفته تمرین استقامت در سرعت تولیدی با و بدون BFR در تناوب‌های استراحتی و تمرین معمول فوتبال، منجر به کاهش سطوح سرمی VEGF و HIF-1α در فوتبالیست‌های مرد شد. از طرف دیگر، میزان VO_2max و عملکرد هوازی پس از این تمرین در هر دو شرایط با و بدون BFR، افزایش معنی‌داری داشت. همچنین میزان افزایش این دو متغیر در اثر تمرین به همراه BFR نسبت به سایر گروه‌ها و در گروه تمرین بدون BFR نسبت به تمرین معمول فوتبال، به شکل معنی‌داری بیشتر بود. ایوانز[1] و دیگران (۲۰۱۰) پس از چهار هفته تمرین مقاومتی همراه با BFR در مردان غیرورزشکار، افزایش در شاخص‌های آنژیوژنزیس مویرگی (VEGF و NO) را گزارش کرده‌اند. همچنین لارکین و دیگران (۲۰۱۲) با مطالعه روی مردان غیرورزشکار، افزایش معنی‌دار بیان ژن VEGF و عدم تغییر معنی‌دار در پروتئین VEGF را در متعاقب ۱۲ جلسه تمرین مقاومتی با ۴۰ درصد حداکثر قدرت عضلانی همراه با BFR، گزارش کرده‌اند. اگرچه سازوکار دقیق تنظیم مثبت VEGF ناشی از تمرین به خوبی مشخص نشده است، ولی کاهش فشار اکسیژن (هایپوکسی) در سطح عضله برای ترشح و تولید VEGF پیشنهاد شده است (لارکین و دیگران، ۲۰۱۲). احتمالا سطح آمادگی جسمانی و تجربه آزمودنی‌ها در انجام تمرین مورد مطالعه، بر نتایج تحقیقات اثرگذار بوده است. از آنجا که افراد ورزشکار نسبت به افراد غیرفعال، چگالی مویرگی و قطر عروق بیشتری دارند، کاهش فشار اکسیژن در بافت‌ها را کمتر حس می‌کنند. فراهم کردن اکسیژن بافت به میزان کافی، مانع از کاهش سطح اکسیژن در بافت‌ها می‌شود و در نتیجه عامل فون هیپل – لیندائو[2] (VHL) فعال شده که به نوبه خود منجر به غیر فعال شدن HIF-1α و در نهایت، کاهش بیان ژن VEGF در عضله اسکلتی می‌شود (زارکوسکا پاشِک[3] و دیگران، ۲۰۰۶). بر اساس گزارش برخی مطالعات، قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض هایپوکسی (مانند تمرین ورزشی در شرایط هایپوکسی) تغییراتی مانند افزایش تهویه آلوئولار و افزایش غلظت گلبول‌های قرمز خون (هر دو می‌توانند مقدار اکسیژن تحویلی به بافت‌ها را افزایش دهند) ایجاد می‌کند (اُلفرت[4] و دیگران، ۲۰۰۱a؛ اُلفرت و دیگران، ۲۰۰۱b) که این سازوکارها ممکن است در کاهش سطح پروتئین‌های VEGF و HIF-1α در گروه‌های مداخله مطالعه حاضر مخصوصا گروه SEPB نقش داشته باشد. در واقع، اگر چه مواجهه با هایپوکسی حاد، باعث افزایش احتمالی بیان ژن و پروتئین VEGF می‌شود، اما قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض هایپوکسی (به عنوان مثال، هفته‌ها)، در نهایت باعث کاهش فعال‌سازی رونویسی VEGF در عضلات اسکلتی تحت هایپوکسی و کاهش سطح سرمی پروتئین VEGF می‌شود (اُلفرت و دیگران، ۲۰۰۱a؛ اُلفرت و دیگران، ۲۰۰۱b). به عبارت دیگر، عضلات اسکلتی افراد تمرین کرده، به علت افزایش هموگلوبین، کمبود اکسیژن را در جلسات تمرینی به میزان کمتری احساس می‌کنند و این مانع از تاثیر هایپوکسی بر افزایش سطح VEGF می‌شود. بنابراین، از آنجا که در مطالعه حاضر سطح این پروتئین‌ها در پایان پنج هفته برنامه تمرینی اندازه‌گیری شده است، ممکن است افزایش بیان ژن‌ها و پروتئین‌های VEGF و HIF-1α خیلی زودتر از پنج هفته رخ داده باشد و در پس‌آزمون منعکس نشده باشد. از سوی دیگر، ممکن است تنظیم مثبت گیرنده‌های VEGF و HIF-1α متعاقب تمرین،

1. Evans
2. Van Hipple-Lindau
3. Czarkowska-Paczek
4. Olfert



شکل ۴: مقایسه تغییرات حداکثر اکسیژن مصرفی (الف)، عملکرد هوازی (ب)، توان بی‌هوازی (ج)، شاخص خستگی (د)، سرعت دویدن ۱۰ متر (ی) و سرعت دویدن ۳۰ متر (ن) در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه‌های شرکت‌کننده در تحقیق، SEPB: تمرین استقامت در سرعت تولیدی به همراه BFR، SEP: تمرین استقامت در سرعت تولیدی بدون BFR، C: کنترل، *: تفاوت معنی‌دار با پیش‌آزمون در سطح p≤۰/۰۵، #: تفاوت معنی‌دار با سایر گروه‌ها در سطح p≤۰/۰۵ و $: تفاوت معنی‌دار با گروه SEBP در سطح p≤۰/۰۵.

دلیل دیگری برای کاهش سطوح سرمی این متغیرها در مطالعه حاضر باشد. در صورت انجام بیوپسی عضلانی[1] در مطالعات آتی، می‌توان این موضوع را بررسی نمود. تیلور و دیگران (۲۰۱۶) و میچل و دیگران (۲۰۱۹)، متعاقب چهار هفته تمرین تناوبی سرعتی به همراه BFR در تناوب‌های استراحتی در ورزشکاران حرفه‌ای، تفاوت معنی‌داری در سطوح HIF-1α و محتوی پروتیئن‌های میتوکندریایی مشاهده نکرده‌اند. محققین گزارش کرده‌اند که احتمالاً سازگاری‌های محیطی مانند بهبود تراکم مویرگی و افزایش شاخص‌های بیوشیمیایی آنژیوژنزیس به مدت زمان بیشتری نیاز دارند و حجم پایین تمرین را دلیل احتمالی عدم تغییر شاخص‌های آنژیوژنیک در مطالعات خود عنوان

1. Muscle biopsy

کرده‌اند و مطرح نموده‌اند که تمرین با شدت بالا، با توجه به حجم کم برای تحریک آنژیوژنزیس کافی نیست و استفاده از تمرین هوازی با حجم بالاتر در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. نکته قابل توجه دیگر در مطالعه حاضر این است که کاهش این متغیرها در پس‌آزمون هر سه گروه مورد مطالعه رخ داده است، بنابراین توجه به این نکته نیز ضروری است که بر اساس گزارش برخی مطالعات، از آنجا که پلاکت‌ها به عنوان یکی از ناقلین مهم پروتئین VEGF در جریان خون شناخته شده‌اند، این پروتئین با فعال شدن پلاکت‌ها جهت لخته شدن خون، از آن‌ها آزاد می‌شود و منجر به افزایش مقادیر سرمی این متغیر می‌گردد. این نکته در جداسازی سرم جهت اندازه‌گیری مقادیر خونی VEGF، می‌بایست مد نظر قرار گیرد و زمان جداسازی سرم در نمونه‌گیری پیش‌آزمون و پس‌آزمون مطالعات مرتبط، باید کاملا یکسان باشد تا منجر به بروز خطای اندازه‌گیری مقادیر سرمی این متغیر نگردد (ورهول[1] و دیگران، ۱۹۹۷؛ مالونی[2] و دیگران، ۱۹۹۸؛ کراس[3] و دیگران، ۲۰۰۴). با وجود کنترل نسبی محققین مطالعه حاضر بر شیوه نمونه‌گیری خون و فرآیند جداسازی سرم، این احتمال وجود دارد که فاصله زمانی بین نمونه‌گیری خون و جداسازی سرم (بالاتر بودن احتمالی زمان جداسازی سرم در پیش‌آزمون در مقایسه با پس‌آزمون)، عامل تاثیرگذار دیگری در پایین‌تر بودن مقدار VEGF پس‌آزمون در مطالعه حاضر باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، رعایت این فاصله زمانی به دقت مد نظر قرار گیرد و یا نمونه‌های پلاسمایی جهت سنجش این متغیرها مورد استفاده قرار گیرد.

به طور کلی در جهت بهبود عملکرد هوازی و VO_2max در اثر تمرین ورزشی دو نوع سازگاری کلی معرفی شده است که شامل سازگاری‌های مرکزی مانند افزایش حجم خون، افزایش تعداد گلبول‌های قرمز، افزایش برون‌ده قلب، افزایش حجم ضربه‌ای و کاهش کسر تزیقی و همچنین سازگاری‌های محیطی همچون افزایش تراکم مویرگی، افزایش ظرفیت بافرینگ و افزایش برداشت اکسیژن توسط بافت عروقی است (داسین[4] و دیگران، ۲۰۰۸؛ اسلوس[5] و دیگران، ۲۰۱۳). همسو با نتایج مطالعه حاضر، میچل و دیگران (۲۰۱۹) و تیلور و دیگران (۲۰۱۶)، بهبود VO_2max را بدون افزایش شاخص‌های بیوشیمیایی آنژیوژنزیس، گزارش کرده‌اند. محققین در هر دو مطالعه، سازگاری‌های مرکزی همانند افزایش حجم خون و افزایش برون‌ده قلب را علت احتمالی بهبود VO_2max عنوان کرده‌اند. بر همین اساس، این احتمال نیز مطرح می‌شود که بهبود VO_2max و عملکرد هوازی متعاقب پنج هفته تمرین استقامت در سرعت تولیدی با و بدون BFR در مطالعه حاضر، به دلیل ایجاد سازگاری‌های مرکزی ناشی از این تمرین باشد. همچنین به‌نظر می‌رسد که بهبود بیشتر این دو متغیر در گروه تمرین با BFR، به دلیل ایجاد تنش برشی و افزایش خون رسانی متعاقب باز شدن کاف‌ها به وجود آمده باشد (هوریچی[6] و دیگران، ۲۰۱۲؛ سیلوا[7] و دیگران، ۲۰۱۹). از محدودیت‌های مهم مطالعه حاضر می‌توان به عدم امکان انجام بیوپسی عضلانی اشاره کرد. در صورت انجام بیوپسی در عضلات منتخب و بررسی آنژیوژنزیس در عضلات مورد بررسی، این امکان وجود داشت که با اطمینان بیشتری بتوان به تحلیل دلایل کاهش سطوح شاخص‌های بیوشیمیایی مورد بررسی و بهبود همزمان شاخص‌های عملکرد هوازی پرداخت.

از دیگر نتایج مطالعه حاضر، مشاهده افت توان بی‌هوازی و افزایش شاخص خستگی در پس‌آزمون هر سه گروه مورد مطالعه در مقایسه با مقادیر پیش‌آزمون بود. به طورکلی توان عضلانی و عملکرد بی‌هوازی بیشتر تحت تاثیر ژنتیک افراد می‌باشد، با این حال، تمرین ورزشی منظم نیز منجر به بهبود عملکرد ورزشی بی‌هوازی می‌شود (رابرتس[8] و دیگران، ۱۹۸۲؛ لارا[9] و دیگران، ۲۰۲۱) و متغیرهای مختلف تمرینی همچون شدت و حجم تمرین، طول دوره تمرین و تمرین‌پذیری افراد بر عملکرد بی‌هوازی متعاقب تمرین تاثیرگذار است (راونهولت[10] و دیگران، ۲۰۱۸). چیتیبابو[11] (۲۰۱۴) با مطالعه روی مردان هندبالیست حرفه‌ای، کاهش معنی‌دار شاخص خستگی متعاقب هشت هفته تمرین تناوبی با شدت بالا را گزارش کرده است. احتمالا میزان استراحت بالا در تمرین استقامت در سرعت تولیدی، عامل تاثیرگذاری است که به منظور بهبود شاخص خستگی نیاز به مطالعه دارد. فارل[12] و دیگران (۲۰۱۸) نیز نشان داده‌اند که شاخص خستگی متعاقب چهار هفته تمرین استقامت عضلانی (دو جلسه در هفته) در مردان استقامتی، تغییر معنی‌داری نمی‌کند. محققین عنوان کرده‌اند که به منظور بهبود شاخص خستگی، به افزایش تعداد جلسات تمرین و بیشتر شدن طول دوره تمرین نیاز است. با توجه به این‌که افزایش توان در نتیجه افزایش اندازه تارهای

1. Verheul
2. Maloney
3. Kraus
4. Daussin
5. Sloth
6. Horiuchi
7. Silva
8. Roberts
9. Lara
10. Ravnholt
11. Chittibabu
12. Farrell

عضلانی و یا سازگاری‌های عصبی منجر به افزایش قدرت، رخ می‌دهد (آکسوی[1] و دیگران، ۲۰۱۷)؛ احتمالا عدم انجام تمرینات اختصاصی قدرتی و توانی، منجر به کاهش قدرت و توان در آزمودنی‌های مطالعه حاضر شده که می‌تواند به عنوان دلایل احتمالی کاهش توان بی‌هوازی و افزایش شاخص خستگی مورد توجه قرار گیرد. بر همین اساس، تحقیقات آینده با بررسی همزمان اعمال مداخلات مشابه همراه با تمرین قدرتی، می‌توانند اطلاعات دقیق‌تری فراهم آورد. در واقع، دوره خارج از فصل برنامه‌ریزی شده، ممکن است تغییرات مطلوبی در توان بی‌هوازی و شاخص خستگی ورزشکاران متعاقب مداخلات مورد استفاده در مطالعه حاضر ایجاد نماید. از سوی دیگر، در مطالعه دیگری، بهبود توان بی‌هوازی در زنان ورزشکار متعاقب چهار هفته تمرین هوازی با شدت‌های مختلف BFR گزارش شده است (امانی شلمزاری و دیگران، ۲۰۱۹). در مجموع، بر اساس نتایج مطالعات، محققین معتقد هستند که استرس متابولیک بالاتر و افزایش ذخائر گلیکوژن در اثر افزایش شدت BFR، عامل مهمی در بهبود توان بی‌هوازی متعاقب تمرین می‌باشد (شوگا[2] و دیگران، ۲۰۱۲؛ تکسیرا[3] و دیگران، ۲۰۱۸؛ واتسون[4] و دیگران، ۲۰۰۶)

نتایج مطالعه حاضر، نشان‌دهنده عدم تغییر معنی‌دار سرعت دویدن ۱۰ و ۳۰ متر پس از پنج هفته تمرین استقامت در سرعت تولیدی با BFR در تناوب‌های استراحتی است. در حالی که سرعت دویدن ۳۰ متر در اثر تمرین استقامت در سرعت تولیدی بدون BFR و تمرین معمول فوتبال بهبود معنی‌داری پیدا کرد، اما سرعت دویدن ۱۰ متر پس از این تمرین، اُفت معنی‌داری داشت. تمرین استقامت در سرعت تولیدی قادر به بهبود سرعت دویدن در مسیرهای کوتاه مانند مسیرهای ۱۰ و ۳۰ متری هستند. بر همین اساس، انجام این تمرین در گروه تمرین بدون BFR، از دلایل احتمالی بهبود سرعت دویدن ۳۰ متر است (ایا و دیگران، ۲۰۱۰؛ اینگبریگسن و دیگران، ۲۰۱۳). بهرینگر[5] و دیگران (۲۰۱۷) بهبود سرعت دویدن ۱۰۰ متر را متعاقب شش هفته تمرین سرعتی با شدت کم به همراه BFR در پسران دانش‌آموز مشاهده کرده‌اند. از دلایل احتمالی این ناهمسویی، می‌توان در درجه اول سطح آمادگی جسمانی آزمودنی‌ها اشاره کرد. احتمالاً آزمودنی‌ها با سطح آمادگی جسمانی بالاتر، به منظور بهبود سرعت دویدن به مدت زمان تمرین بیشتر و تمرین اختصاصی‌تر نیاز دارند. همچنین مسیر و مسافت تمرین مورد استفاده در مطالعه بهرینگر و دیگران (۲۰۱۷) با آزمون نهایی مورد استفاده مشابه بود، اما در مطالعه حاضر تمرین و آزمون نهایی مشابه نبودند. بنابراین شباهت آزمون پایانی با تمرین اجرا شده در مطالعه بهرینگر و دیگران (۲۰۱۷) و عدم شباهت آن در مطالعه حاضر، نیز می‌تواند به عنوان عاملی دیگر در ناهمسویی نتایج این دو مطالعه مد نظر قرار گیرد.

از آنجا که شرکت‌کنندگان مطالعه حاضر، افراد دارای سطح بالای آمادگی جسمانی بودند، پیشنهاد می‌شود جهت بررسی دقیق سطح آمادگی جسمانی بر متغیرهای وابسته مورد بررسی، در مطالعات آینده از آزمودنی‌هایی با سطوح متفاوت آمادگی جسمانی و سطوح متفاوت سابقه ورزشی در گروه‌های مختلف با برنامه تمرین مشابه استفاده شود. همچنین با توجه به طرح این موضوع در مطالعات که ایجاد برخی سازگاری‌ها متعاقب این تمرین، احتمالاً به زمان بیشتری نیاز دارد، لذا جهت تحلیل دقیق‌تر نتایج، انجام مطالعه با برنامه تمرین مشابه با زمان‌بندی متفاوت پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تمرین استقامت در سرعت تولیدی منجر به بهبود VO_2max، عملکرد هوازی و سرعت دویدن ۳۰ متر در مردان تمرین‌کرده می‌شود. همچنین در صورت استفاده از BFR در تناوب‌های استراحتی همراه با این تمرین، VO_2max و عملکرد هوازی بهبود بیشتری خواهند داشت، اما با توجه به کاهش سطوح سرمی VEGF و HIF-1α در گروه‌های مختلف تحقیق، مطالعات بیشتری در خصوص بررسی دلایل بهبود شاخص‌های عملکردی همراه با کاهش سطح متغیرهای بیوشیمیایی متعاقب تمرین استقامت در سرعت تولیدی مورد نیاز است.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در تحقیق حاضر وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

بدین‌وسیله از تمام اعضای کادر فنی و بازیکنان تیم‌های فوتبال آرمان‌سازه، گسترش فولاد و ابومسلم ثامن شهر مشهد جهت همکاری در اجرای مراحل عملی تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین نویسندگان مقاله از کارشناسان محترم بیوشیمی مرکز تحقیقات سلولی مولکولی غدد درون‌ریز، پژوهشکده علوم غدد درون‌ریز، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، خانم‌ها لاله حقوقی راد و هدی قدکساز، جهت انجام سنجش‌های آزمایشگاه، قدردانی می‌کنند.

1. Aksoy
2. Suga
3. Teixeira
4. Watson
5. Behringer

منابع

Abe, T., Fujita, S., Nakajima, T., Sakamaki, M., Ozaki, H., Ogasawara, R., … & Ishii, N. (2010). Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO2max in young men. *Journal of Sports Science & Medicine, 9**(3)***, **452-468.**

Akdoğan, E., Yılmaz, I., Köklü, Y., Alemdaroğlu, U., & Cerrah, A.O. (2021). The effect of isolated or combined small-sided games and speed endurance training on physical performance parameters in young soccer players. *Kinesiology, 53***(1), 78-85.**

Aksoy, Y. & Agaoglu, S.A. (2017). The comparison of sprint reaction time and anaerobic power of young football players, volleyball players and wrestlers. *Kinesiologia Slovenica, 23**(2), 5-14***.**

Amani, A.R., Sadeghi, H., & Afsharnezhad, T. (2018). Interval training with blood flow restriction on aerobic performance among young soccer players at transition phase. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine, 7***(2), 5-12.**

Amani-Shalamzari, S., Rajabi, S., Rajabi, H., Gahreman, D.E., Paton, C., Bayati, M., ... & Knechtle, B. (2019). Effects of blood flow restriction and exercise intensity on aerobic, anaerobic, and muscle strength adaptations in physically active collegiate women. *Frontiers in Physiology*, *10*, **810.**

Andrade, V.L., Zagatto, A. M., Kalva-Filho, C.A., Mendes, O.C., Gobatto, C.A., Campos, E. Z., & Papoti, M. (2015). Running-based anaerobic sprint test as a procedure to evaluate anaerobic power. *International Journal of Sports Medicine*, *36***(14), 1156-1162.**

Arazi, H., Keihaniyan, A., EatemadyBoroujeni, A., Oftade, A., Takhsha, S., Asadi, A., & Ramirez-Campillo, R. (2017). Effects of heart rate vs. speed-based high intensity interval training on aerobic and anaerobic capacity of female soccer players. *Sports*, *5***(3), 57.**

Bangsbo, J., Mohr, M., & Krustrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, *24***(7), 665-674.**

Barbero-Alvarez, J.C., Subiela, J.V., Granda-Vera, J., Castagna, C., Gómez, M., & Del Coso, J. (2015). Aerobic fitness and performance in elite female futsal players. *Biology of Sport*, *32***(4), 339-334.**

Beato, M., Bianchi, M., Coratella, G., Merlini, M., & Drust, B. (2018). Effects of plyometric and directional training on speed and jump performance in elite youth soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *32***(2), 289-296.**

Behringer, M., Behlau, D., Montag, J.C., McCourt, M.L., & Mester, J. (2017). Low-intensity sprint training with blood flow restriction improves 100-m dash. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *31***(9), 2462-2472.**

Bennett, H., & Slattery, F. (2019). Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity and performance: A systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *33***(2), 572-583.**

Chittibabu, B. (2014). Effect of high intensity interval training on and anaerobic capacity and fatigue index of male hand-ball players. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, *3***(4), 18-23.**

Christopher, J., Beato, M., & Hulton, A.T. (2016). Manipulation of exercise to rest ratio within set duration on physical and technical outcomes during small-sided games in elite youth soccer players. *Human Movement Science*, *48***, 1-6.**

Czarkowska-Paczek, B., Bartlomiejczyk, I., & Przybylski, J. (2006). The serum levels of growth factors: PDGF, TGF-beta and VEGF are increased after strenuous physical exercise. *Journal of Physiology and Pharmacology. 57***(2), 189-197.**

da Fonseca, P.H.S., Marins, J.C.B., & Silva, A.T.D. (2007). Validation of anthropometric equations for the estimation of body density in professional soccer players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, *13*, **135e-138e.**

Daussin, F.N., Zoll, J., Dufour, S.P., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., ... & Richard, R. (2008). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *295*(**1**), **R264-272.**

de Oliveira, M.F.M., Caputo, F., Corvino, R.B., & Denadai, B.S. (2016). Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *26*(**9**), **1017-1025.**

Egginton, S. (2011). Physiological factors influencing capillary growth. *Acta Physiologica*, *202*(**3**), **225-239.**

Evans, C., Vance, S., & Brown, M. (2010). Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles. *Journal of Sports Sciences*, *28*(**9**), **999-1007.**

Farrell, J.W., Blackwood, D.J., & Larson, R.D. (2018). Four weeks of muscular endurance resistance training does not alter fatigue index. *International Journal of Kinesiology and Sports Science, 6*(**3**), **32-37.**

Fransson, D., Nielsen, T.S., Olsson, K., Christensson, T., Bradley, P.S., Fatouros, I.G., ... & Mohr, M. (2018). Skeletal muscle and performance adaptations to high-intensity training in elite male soccer players: speed endurance runs versus small-sided game training. *European Journal of Applied Physiology*, *118*(**1**), **111-121.**

Haugen, T.A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic performance testing of professional soccer players 1995–2010. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *8*(**2**), **148-156.**

Horiuchi, M., & Okita, K. (2012). Blood flow restricted exercise and vascular function. *International Journal of Vascular Medicine*, *2012*, **543218.**

Hosseini-Kakhak S.A., Kianigul, M., Haghighi, A.H., Nooghabi, M.J., & Scott, B. R. (2020). Performing soccer-specific training with blood flow restriction enhances physical capacities in youth soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*. Online ahead of print.

Iaia, F., & Bangsbo, J. (2010). Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *20*(**s2**), **11-23.**

Iaia, F.M., Fiorenza, M., Perri, E., Alberti, G., Millet, G.P., & Bangsbo, J. (2015). The effect of two speed endurance training regimes on performance of soccer players. *PloS One*, *10*(**9**), **e0138096.**

Ingebrigtsen, J., Shalfawi, S.A., Tønnessen, E., Krustrup, P., & Holtermann, A. (2013). Performance effects of 6 weeks of aerobic production training in junior elite soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(**7**), **1861-1867.**

Jackson, A.S., & Pollock, M.L. (1985). Practical assessment of body composition. *The Physician and Sportsmedicine, 13*(**5**), **76-90.**

Karsten, B., Larumbe-Zabala, E., Kandemir, G., Hazir, T., Klose, A., & Naclerio, F. (2016). The effects of a 6-week strength training on critical velocity, anaerobic running distance, 30-M sprint and Yo-Yo intermittent running test performances in male soccer players. *PloS One*, *11*(**3**), **e0151448.**

Kataoka, R., Vasenina, E., Hammert, W.B., Ibrahim, A.H., Dankel, S.J., & Buckner, S.L. (2022). Muscle growth adaptations to high-load training and low-load training with blood flow restriction in calf muscles. *European Journal of Applied Physiology*, *122***(3), 623-634.**

Kraus, R.M., Stallings III, H.W., Yeager, R.C., & Gavin, T.P. (2004). Circulating plasma VEGF response to exercise in sedentary and endurance-trained men. *Journal of Applied Physiology, 96***(4), 1445-1450.**

Lara, B., Salinero, J.J., Giraldez-Costas, V., & Del Coso, J. (2021). Similar ergogenic effect of caffeine on anaerobic performance in men and women athletes. *European Journal of Nutrition*, *60***(7), 4107-4114.**

Larkin, K.A., MacNeil, R.G., Dirain, M., Sandesara, B., Manini, T.M., & Buford, T.W. (2012). Blood flow restriction enhances post–resistance exercise angiogenic gene expression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *44***(11), 2077-2083.**

Loboda, A., Jozkowicz, A., & Dulak, J. (2012). HIF-1 versus HIF-2—is one more important than the other?. *Vascular Pharmacology*, *56***(5-6), 245-251.**

Loenneke, J.P., Fahs, C.A., Rossow, L.M., Abe, T., & Bemben, M.G. (2012). The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Medical Hypotheses*, *78***(1), 151-154.**

Maloney, J.P., Silliman, C.C., Ambruso, D.R., Wang, J., Tuder, R.M., & Voelkel, N.F. (1998). In vitro release of vascular endothelial growth factor during platelet aggregation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 275***(3), H1054-H1061.**

Michailidis, Y., Chatzimagioglou, A., Mikikis, D., Ispirlidis, I., & Metaxas, T. (2019). Maximal oxygen consumption and oxygen muscle saturation recovery following repeated anaerobic sprint test in youth soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *60***(3), 355-360.**

Mitchell, E.A., Martin, N.R., Turner, M.C., Taylor, C.W., & Ferguson, R.A. (2019). The combined effect of sprint interval training and post-exercise blood flow restriction on critical power, capillary growth, and mitochondrial proteins in trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, *126***(1), 51-59.**

Mohr, M., & Krustrup, P. (2016). Comparison between two types of anaerobic speed endurance training in competitive soccer players. *Journal of Human Kinetics, 51***(1), 183-192.**

Nourshahi, M., Taheri Chadorneshin, H., & Ranjbar, K. (2013). The stimulus of angiogenesis during exercise and physical activity. *Quarterly of the Horizon of Medical Sciences*, *18***(5), 286-296. [In Persian]**

Olfert, I.M., Breen, E.C., Mathieu-Costello, O., & Wagner, P.D. (2001a). Chronic hypoxia attenuates resting and exercise -induced VEGF, flt-1, and flk-1 mRNA levels in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology, 90***(4), 1532-1538.**

Olfert, I.M., Breen, E.C., Mathieu-Costello, O., & Wagner, P.D. (2001b). Skeletal muscle capillarity and angiogenic mRNA levels after exercise training in normoxia and chronic hypoxia. *Journal of Applied Physiology, 91***(3), 1176-1184.**

Ravnholt, T., Tybirk, J., Jørgensen, N.R., & Bangsbo, J. (2018). High-intensity intermittent "5–10–15" running reduces body fat, and increases lean body mass, bone mineral density, and performance in untrained subjects. *European Journal of Applied Physiology*, *118***(6), 1221-1230.**

Roberts, A.D., Billeter, R., & Howald, H. (1982). Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *International Journal of Sports Medicine*, *3***(01), 18-21.**

Silva, J.C.G., Pereira Neto, E.A., Pfeiffer, P.A.S., Neto, G.R., Rodrigues, A.S., Bemben, M.G., ... & Cirilo-Sousa, M.S. (2019). Acute and chronic responses of aerobic exercise with blood flow restriction: a systematic review. *Frontiers in Physiology*, *10*, **1239.**

Sloth, M., Sloth, D., Overgaard, K., & Dalgas, U. (2013). Effects of sprint interval training on VO2max and aerobic exercise performance: a systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *23***(6), e341-e352.**

Suga, T., Okita, K., Takada, S., Omokawa, M., Kadoguchi, T., Yokota, T., ... & Tsutsui, H. (2012). Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, *112***(11), 3915-3920.**

Suzuki, J. (2009). L-arginine and L-ornithine supplementation facilitates angiogenesis and causes additional effects on exercise-induced angiogenesis in hind-leg muscles. *Advances in Exercise and Sports Physiology*, *15***(3), 101-108.**

Taylor, C.W., Ingham, S.A., & Ferguson, R.A. (2016). Acute and chronic effect of sprint interval training combined with post-exercise blood-flow restriction in trained individuals. *Experimental Physiology*, *101***(1), 143-154.**

Teixeira, E.L., Barroso, R., Silva-Batista, C., Laurentino, G.C., Loenneke, J.P., Roschel, H., ... & Tricoli, V. (2018). Blood flow restriction increases metabolic stress but decreases muscle activation during high-load resistance exercise. *Muscle & Nerve*, *57***(1), 107-111.**

Tønnessen, E., Hem, E., Leirstein, S., Haugen, T., & Seiler, S. (2013). Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989–2012. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *8***(3), 323-329.**

Ursprung, W., & Smith, J.D. (2017). The effects of blood flow restriction training on VO2max and 1.5 mile run performance. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*, 2**(9), 108.**

Verheul, H.M., Hoekman, K., Luykx-de Bakker, S., Eekman, C.A., Folman, C.C., Broxterman, H.J., & Pinedo, H.M. (1997). Platelet: transporter of vascular endothelial growth factor. *Clinical Cancer Research*, *3***(12), 2187-2190.**

Watson, P., Black, K.E., Clark, S.C., & Maughan, R.J. (2006). Exercise in the heat: effect of fluid ingestion on blood-brain barrier permeability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *38***(12), 2118-2124.**

Wilson, J.M., Lowery, R.P., Joy, J.M., Loenneke, J.P., & Naimo, M.A. (2013). Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27***(11), 3068-3075.**