Journal of Applied Exercise Physiology

Volume 22. Issue 43. Spring & Summer 2026. Pages 115 to 136.

Research Paper

Acute Cardiovascular and Perceived Exertion Responses to Resistance Exercise with Blood Flow Restriction, Training Mask, and Military Gas Mask in Young Male Military Personnel

Aboalfazl Rahmani [*1], Esmail Karami [2]

[1] Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Humanities, Imam Javad University, Yazd, Iran.
[2] Exercise Physiology Research Center, Life Style Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

10.22080/jaep.2026.31848.2257

Received:
May 22, 2026
Accepted:
June 28, 2026

Abstract

Background and Objectives: This study aimed to investigate the effects of resistance exercise performed under blood flow restriction (BFR), training mask, and military gas mask conditions on cardiovascular acute responses and ratings of perceived exertion (RPE) in young male military personnel. Given the importance of physical readiness and the physiological demands of military operations, understanding cardiovascular and perceptual responses to resistance exercise under these conditions may provide valuable insights for optimizing military physical training programs.

Materials and Methods: This study employed a randomized crossover design involving 12 physically trained male military personnel (age: 27.75 ± 6.45 years; body mass index: 25.41 ± 3.43 kg/m²). Each participant completed four resistance exercise conditions in a randomized order: conventional resistance exercise (control), blood flow restriction (BFR), training mask, and military gas mask. The experimental sessions were separated by washout periods ranging from 72 hours to one week to minimize potential carryover effects. Each session consisted of four sets of squat exercises comprising a total of 65 repetitions. Cardiovascular and physiological variables, including heart rate, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, mean arterial pressure, oxygen cost, and RPE, were assessed before and immediately after exercise.

Results: Significant time effects were observed for heart rate, systolic blood pressure, rate-pressure product (RPP), and mean arterial pressure ($p = 0.001$). Perceived exertion and RPP showed significant condition, time, and interaction effects ($p = 0.001$). Diastolic blood pressure increased significantly only with the military gas mask ($p = 0.002$). The training mask elicited the highest perceived exertion, whereas the military gas mask showed the highest RPP. Mean arterial pressure increased significantly in all conditions except blood flow restriction.

Conclusion: Resistance exercise performed with training masks, military gas masks, or blood flow restriction elicited significant acute cardiovascular and perceptual responses in young male military personnel. The training mask was associated with the highest perceived exertion, whereas the military gas mask showed the highest rate-pressure product. These findings suggest distinct physiological responses across exercise conditions; however, further research is needed to establish their long-term effects on cardiovascular adaptations and physical performance.

Keywords:
Blood Flow Restriction; Training Mask; Military Gas Mask; Cardiovascular Responses; Rating of Perceived Exertion; Resistance Exercise

*Corresponding Author: Aboalfazl Rahmani
Email: Rahmaniabolfazl22@gmail.com

Volume 22. Issue 43. Autumn and Winter 2025. Pages 115 to 136.

Extended Abstract

1. Introduction

Physical fitness and tolerance to physiological stress are essential for military operational readiness. Resistance training (RT) improves muscular strength and physical performance, although cardiovascular and perceptual responses may vary with exercise intensity and restrictive equipment. Blood flow restriction (BFR) training increases local metabolic stress during low-load exercise and may facilitate physiological adaptations (1). Cardiovascular indices, including heart rate (HR), blood pressure (BP), and rate-pressure product (RPP), provide valuable information regarding hemodynamic responses and myocardial workload (3). In military settings, respiratory protective equipment, particularly military gas masks, may increase breathing resistance and perceived exertion. Similarly, commercially available altitude training masks alter breathing resistance without necessarily inducing systemic hypoxia. Despite increasing interest in these approaches, their comparative acute cardiovascular and perceptual effects during resistance exercise remain insufficiently investigated in military populations. Therefore, this study aimed to compare the acute effects of conventional resistance exercise, BFR, training masks, and military gas masks on cardiovascular responses and ratings of perceived exertion (RPE) in young male military personnel.

2. Methods

This randomized crossover study involved 12 healthy, physically active male military personnel (age: 27.75 ± 6.45 years; body mass index: 25.41 ± 3.43 kg/m²). Following medical screening and familiarization, anthropometric and cardiovascular measurements were obtained, and one-repetition maximum (1RM) was estimated using the Wathan equation. Over four consecutive weeks, participants completed four resistance exercise conditions in randomized order: conventional resistance exercise (control), BFR, training mask, and military gas mask. Sessions were separated by washout periods of 72 hours to one week.

The exercise protocol consisted of four sets of dumbbell squats (20 repetitions in the first set and 15 in each subsequent set), with 30-second rest intervals. Exercise intensity was 10–30% of 1RM in the experimental conditions and 75–80% of 1RM in the control condition. Repetition tempo was standardized at four seconds (two seconds concentric and two seconds eccentric). Each session included 10-minute warm-up and cool-down periods. BFR was applied using pneumatic thigh cuffs (Anhouma, Iran), with pressure estimated from resting brachial systolic blood pressure. The training mask (Phantom Athletics P2-1000, Austria) was adjusted to the manufacturer's altitude-equivalent setting of 4,900 m. The military gas mask was worn throughout the warm-up and main exercise period. Sessions were conducted in the afternoon under standardized dietary restrictions.

HR, systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), mean arterial pressure (MAP), and RPP were assessed before and immediately after exercise. RPP, an indirect indicator of myocardial oxygen demand, was calculated as HR × SBP / 100, while MAP was calculated as DBP + (SBP − DBP)/3. RPE was assessed using the Borg 6–20 scale. Data were analyzed using SPSS version 23, the Shapiro–Wilk test, mixed-model ANOVA, repeated-measures

Volume 22. Issue 43. Spring & Summer 2026. Pages 115 to 136.

ANOVA, and Bonferroni-adjusted comparisons, with significance set at $p \leq 0.05$. Ethical approval was obtained from the Sport Sciences Research Institute (SSRI.REC-2308-2407 [R2]).

3. Results

Significant main effects of exercise condition and time, and a condition-by-time interaction, were observed for RPE ($p = 0.001$). RPE increased progressively across exercise sets, reaching its highest values with the training mask. No significant difference was observed between the second and third sets under BFR.

HR increased significantly after exercise in all conditions ($p = 0.001$), without significant overall condition or interaction effects. However, post-exercise comparisons revealed significant differences between BFR and the training mask ($p = 0.046$) and between BFR and the military gas mask ($p = 0.026$). SBP increased significantly following exercise across all conditions ($p = 0.001$), with no significant condition or interaction effects. DBP showed no significant overall effects; however, a significant post-exercise increase occurred with the military gas mask ($p = 0.002$).

RPP demonstrated significant condition, time, and interaction effects ($p = 0.001$), increasing after exercise in all conditions. The highest RPP values were observed with the military gas mask, although between-condition differences were also present before exercise. MAP showed a significant time effect ($p = 0.001$), increasing after conventional exercise, training mask, and military gas mask conditions, but not under BFR. No significant condition or interaction effects were observed for MAP.

Overall, the training mask was associated with the highest perceived exertion, whereas the military gas mask exhibited the highest RPP values, indicating distinct acute perceptual and cardiovascular response patterns.

4. Conclusion

Resistance exercise performed under BFR, training mask, and military gas mask conditions elicited significant acute cardiovascular and perceptual responses in young male military personnel. The training mask was associated with the greatest perceived exertion, whereas the military gas mask exhibited the highest RPP values. These findings suggest that respiratory equipment and BFR may modify the acute physiological demands of resistance exercise. However, differences in exercise intensity between control and experimental conditions should be considered when interpreting these responses. Further longitudinal studies are needed to establish whether these acute effects translate into cardiovascular adaptations, improved physical performance, or enhanced military operational readiness.

Funding

The authors declare that no financial support or funding was received for this study.

Authors' Contribution

Abolfazl Rahmani contributed to the conceptualization and design of the study, scientific supervision of its implementation, preparation of the original manuscript draft, and critical revision and final editing of the manuscript. Esmail Karami contributed to data collection, statistical analysis, and manuscript review and editing. Both authors reviewed and approved the final version of the manuscript and accept

Volume 22. Issue 43. Autumn and Winter 2025. Pages 115 to 136.

responsibility for the accuracy, integrity, and accountability of all aspects of the research.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflicts of interest related to this study.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the Department of Physical Education and Sport Sciences at Imam Javad University and Imam Ali Officers' University for their institutional support and collaboration.

پژوهشی

پاسخ‌های حاد قلبی‌عروقی و درک فشار فعالیت به یک جلسه تمرین مقاومتی همراه با محدودیت جریان خون، ماسک تمرینی و ماسک گاز نظامی در مردان جوان نظامی

ابوالفضل رحمانی [۱*]، اسماعیل کرمی [۲]

[۱] استادیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه امام جواد، یزد، ایران
[۲] مرکز تحقیقات فیزیولوژی ورزشی، پژوهشکده سبک زندگی، دانشگاه علوم پزشکی بقیةالله (عج)، تهران، ایران.

10.22080/jaep.2026.31848.2257

تاریخ دریافت:
۰۱ خرداد ۱۴۰۵
تاریخ پذیرش:
۰۷ تیر ۱۴۰۵

کلیدواژه ها:
تمرین مقاومتی، محدودیت جریان خون، ماسک تمرینی، ماسک گاز نظامی، پاسخ‌های قلبی‌عروقی، درک فشار فعالیت

چکیده

زمینه و هدف: آمادگی جسمانی و توانایی تحمل فشارهای فیزیولوژیکی از مؤلفه‌های مهم عملکرد نیروهای نظامی به شمار می‌روند. استفاده از تجهیزات محدودکننده جریان خون و ماسک‌های تنفسی هنگام فعالیت ورزشی می‌تواند پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ادراکی متفاوتی ایجاد کند. پژوهش حاضر با هدف بررسی پاسخ‌های حاد قلبی‌عروقی و میزان درک فشار فعالیت به یک جلسه تمرین مقاومتی همراه با محدودیت جریان خون، ماسک تمرینی و ماسک گاز نظامی در مردان جوان نظامی انجام شد.

مواد و روش‌ها : پژوهش حاضر با طرح متقاطع تصادفی‌شده و با مشارکت ۱۲ مرد نظامی آموزش‌دیده با میانگین سن ۶/۴۵ ± ۲۷/۷۵ سال و شاخص توده بدنی ۳/۴۳ ± ۲۵/۴۱ کیلوگرم بر مترمربع انجام شد. شرکت‌کنندگان به‌ترتیب تصادفی، چهار وضعیت تمرینی شامل تمرین مقاومتی مرسوم (کنترل)، تمرین همراه با محدودیت جریان خون، تمرین با ماسک تمرینی و تمرین با ماسک گاز نظامی را تجربه کردند. هر جلسه شامل چهار ست حرکت اسکوات با مجموع ۶۵ تکرار بود و فاصله بین جلسات ۷۲ ساعت تا یک هفته در نظر گرفته شد. شاخص‌های ضربان قلب، فشار خون سیستولی و دیاستولی، میانگین فشار شریانی، هزینه اکسیژن و میزان درک فشار فعالیت پیش و بلافاصله پس از اجرای تمرین اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس مختلط تجزیه‌وتحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میزان درک فشار فعالیت، ضربان قلب، فشار خون سیستولی، هزینه اکسیژن و میانگین فشار شریانی در پاسخ به فعالیت مقاومتی تغییرات معناداری داشتند ($p<۰/۰۵$). همچنین، در برخی از شاخص‌ها، اثر اصلی شرایط تمرینی و اثر متقابل زمان و شرایط تمرینی معنادار بود ($p<۰/۰۵$). با این‌حال، تفاوت معناداری در فشار خون دیاستولی بین شرایط تمرینی مشاهده نشد. بیشترین تغییرات فیزیولوژیکی در شرایط استفاده از ماسک تمرینی و ماسک گاز نظامی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری : یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از ماسک تمرینی و ماسک گاز نظامی هنگام فعالیت مقاومتی می‌تواند با افزایش پاسخ‌های حاد قلبی‌عروقی و میزان درک فشار فعالیت همراه باشد. بنابراین، استفاده از این تجهیزات ممکن است به‌عنوان راهکاری مکمل برای افزایش چالش فیزیولوژیکی تمرینات مقاومتی در نیروهای نظامی مطرح شود. بااین‌حال، تعیین اثربخشی این روش‌ها بر سازگاری‌های قلبی‌عروقی و عملکرد جسمانی نیازمند مطالعات مداخله‌ای بلندمدت است.

* **نویسنده مسئول:** ابوالفضل رحمانی
ایمیل: Rahmaniabolfazl22@gmail.com

دوره ۲۲. شماره ۴۳. **بهار و تابستان** ۱۴۰۵. صفحات ۱۱۵ تا ۱۳۶.

۱ مقدمه

آمادگی جسمانی همواره از عوامل کلیدی در موفقیت‌های نظامی بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در توان عملیاتی نیروها ایفا می‌کند. تمرینات منظم ورزشی و نظامی نه‌تنها موجب تقویت قدرت و استقامت بدنی می‌شود، بلکه ظرفیت انجام مأموریت‌ها در شرایط بحرانی را ارتقاء می‌دهد. در این میان، تمرینات مقاومتی به دلیل اثرات مستقیم بر افزایش قدرت و توده عضلانی، جایگاه ویژه‌ای دارند و این اثرات به تغییرات هورمونی و غلظت متابولیت‌ها وابسته‌اند. محدودیت جریان خون (Blood Flow Restriction; BFR) به‌عنوان رویکردی نوین در تمرینات ورزشی و بالینی، با کاهش موقتی خون‌رسانی به عضلات از طریق ابزارهای فشاری، شرایط هایپوکسی موضعی ایجاد می‌کند. این وضعیت فشار فیزیولوژیک و متابولیک بالاتری بر بافت عضلانی تحمیل می‌کند و به‌طور بالقوه منجر به افزایش قدرت، رشد عضلانی و تسهیل فرایند بازتوانی می‌شود (۱, ۲). این ویژگی‌ها، BFR را به گزینه‌ای کاربردی برای ارتقاء عملکرد و آمادگی رزمی نیروهای نظامی بدل کرده است.

ضربان قلب یکی از شاخص‌های پایه و حساس برای ارزیابی پاسخ‌های قلبی-عروقی به فعالیت بدنی است که به‌سادگی از طریق پایش نبض یا ابزارهای پوشیدنی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. این متغیر به‌عنوان نشانگری معتبر برای تعیین شدت و بار تمرینی، اطلاعات مهمی درباره وضعیت عملکرد قلب و سازگاری‌های فیزیولوژیک ارائه می‌کند. تغییرات ضربان قلب بازتابی از تعامل پیچیده میان سیستم‌های عصبی خودمختار و نیازهای متابولیک بدن است و پایش دقیق آن می‌تواند در طراحی بهینه برنامه‌های تمرینی و ارزیابی سازگاری‌های ورزشی مؤثر باشد (۳). حاصل‌ضرب دوگانه شاخصی غیرتهاجمی و معتبر برای برآورد مصرف اکسیژن میوکارد است که از ضرب ضربان قلب در فشار سیستولی به‌دست می‌آید. این شاخص بازتابی از نیاز واقعی قلب به اکسیژن بوده و در مقایسه با عضله اسکلتی، میوکارد در حالت استراحت حدود ۲۰ برابر اکسیژن بیشتری مصرف می‌کند. کاهش RPP بیانگر بهبود کارایی قلب و کاهش بار همودینامیک است، در حالی که افزایش آن می‌تواند نشانه افزایش استرس قلبی و پیش‌ساز اختلالات قلبی-عروقی باشد. پایش مستمر RPP نه‌تنها ابزار مهمی در ارزیابی عملکرد قلب در ورزشکاران و بیماران قلبی است، بلکه می‌تواند به شناسایی زودهنگام خطرات و بهینه‌سازی مداخلات کمک کند (۴).

شواهد علمی نشان می‌دهد که حتی یک جلسه فعالیت ورزشی حاد می‌تواند باعث بروز «افت فشار خون پس از فعالیت» (Post-Exercise Hypotension; PEH) شود. این پدیده که در کمتر از ۵ دقیقه پس از پایان تمرین قابل مشاهده است و ممکن است تا ۲-۳ ساعت ادامه یابد، معمولاً با کاهش میانگین ۱۱ میلی‌متر جیوه در فشار سیستولی و ۴ میلی‌متر جیوه در فشار دیاستولی همراه است. PEH بازتابی از سازگاری فوری سیستم قلبی-عروقی به تحریک ورزشی بوده و به‌عنوان یک مؤلفه کلیدی در برنامه‌های تمرینی و توان‌بخشی قلبی شناخته می‌شود (۵). همچنین، PEH دیده‌ای شناخته‌شده است که حتی پس از یک جلسه فعالیت حاد می‌تواند باعث کاهش موقت فشار خون در حالت استراحت تا چند ساعت شود. مکانیزم‌های این پاسخ عمدتاً شامل کاهش برانگیختگی سمپاتیک به میزان تقریبی ۳۰٪، گشادشدن عروق عضلات فعال از طریق تجمع متابولیت‌ها، و تغییرات همودینامیک مرکزی است. شرایط هایپوکسی، با تشدید اتساع عروقی، می‌تواند شدت PEH را افزایش دهد. در تمرینات مقاومتی، نوع انقباض (ایستا یا پویا) و متغیرهایی همچون سن، جنس، وضعیت آمادگی و خصوصیات رشته ورزشی، بر الگوی پاسخ‌های قلبی-عروقی تأثیرگذارند. تمرینات ایستا معمولاً افزایش قابل‌توجه‌تری در فشار خون ایجاد می‌کنند، در حالی که در تمرینات پویا، نوسانات فشار و ضربان قلب مشاهده می‌شود. این پاسخ‌ها، به‌ویژه در تمرینات با

شدت بالا، در کنار بهبود قدرت عضلانی، می‌توانند سازگاری‌های قلبی-عروقی سودمندی را در بلندمدت به همراه داشته باشند (۶, ۷).

شواهد اخیر نشان می‌دهند که یک جلسه تمرین مقاومتی، چه در قالب انقباض ایستا و چه پویا، می‌تواند به‌طور حاد تعادل سمپاتوواگال را تحت تأثیر قرار دهد. این تغییرات با افزایش موقت ضربان قلب و فشار خون طی فعالیت و کاهش پایدار فشار خون به‌مدت حدود ۱۰ تا ۳۰ دقیقه پس از آن همراه است. این پاسخ‌ها عمدتاً ناشی از افزایش تون پاراسمپاتیک و کاهش فعالیت سمپاتیک، به‌همراه تعدیل مقاومت عروقی محیطی، گزارش شده‌اند. چنین اثراتی نه‌تنها به بهبود سازگاری‌های قلبی-عروقی در ورزشکاران کمک می‌کنند، بلکه می‌توانند به‌عنوان رویکردی عملی برای بهبود سلامت عمومی و کاهش مخاطرات قلبی-عروقی در جمعیت‌های غیرورزشکار نیز به‌کار روند (۸). نتایج حاصل از پژوهش paulo و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد که در تمرینات مقاومتی با نسبت کار-استراحت یکسان، استفاده از نوبت‌های متوسط با فواصل استراحت کوتاه‌تر نسبت به ست‌های طولانی، فشار قلبی-عروقی کمتری ایجاد می‌کند. این الگو با کاهش بار همودینامیک و بهبود بازیافت بین ست‌ها، می‌تواند به‌طور مؤثری ریسک استرس بیش‌ازحد قلب را کاهش دهد. بر این اساس، طراحی پروتکل‌هایی با زمان استراحت کوتاه و حجم تمرین متوسط، به‌عنوان راهبردی کارآمد برای ارتقاء سلامت قلبی-عروقی و بهینه‌سازی عملکرد توصیه می‌شود (۹). همچنین، پژوهش Picon و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که تمرینات مقاومتی با محدودیت جریان خون (BFR) می‌توانند در بیماران مبتلا به پرفشاری خون، افت قابل‌توجه فشار خون پس از فعالیت ایجاد کنند. این اثر که بخشی از پدیده هیپوتانسیون پس از تمرین است، به فعال‌سازی مکانیسم‌های نوروهومورال و کاهش مقاومت عروقی محیطی نسبت داده می‌شود. چنین پاسخ‌هایی، ظرفیت BFR را به‌عنوان یک ابزار تمرینی کم‌بار و ایمن برای بهبود کنترل فشار خون و ارتقاء سلامت قلبی-عروقی بیماران تقویت می‌کند (۱۰).

همچنین، شواهد به‌روز نشان می‌دهد که تمرینات مقاومتی موجب افزایش معنادار فشار خون سیستولی، دیاستولی و متوسط، ضربان قلب، برون‌ده قلبی و مصرف اکسیژن می‌شوند؛ پاسخی که بیانگر تحریک قابل‌توجه سیستم قلبی-عروقی و متابولیک است. هرچند حجم ضربه‌ای اغلب ثابت می‌ماند، اما در تمرینات با شدت بالا و درگیری توده عضلانی بیشتر، کاهش معنادار آن گزارش شده است. این تغییرات احتمالاً ناشی از افزایش تقاضای اکسیژن و مواد مغذی توسط عضلات فعال بوده و طراحی دقیق شدت و نوع فعالیت را برای بهینه‌سازی سلامت قلبی-عروقی ضروری می‌سازد (۱۱). یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که تمرینات مقاومتی با محدودیت جریان خون (BFR) می‌توانند نسبت به روش‌های سنتی با شدت بالا، کاهش بیشتری در فشار خون پس از فعالیت ایجاد کنند. این پاسخ مطلوب احتمالاً ناشی از تغییرات در توزیع خون، کاهش مقاومت عروقی و تحریک همزمان مسیرهای عصبی-هورمونی است. چنین ویژگی‌هایی، جایگاه BFR را به‌عنوان رویکردی نوین و کم‌بار برای بهبود کنترل فشار خون و ارتقاء ظرفیت عملکردی بیماران مبتلا به هایپرتنسیون تقویت می‌کند (۱۲, ۱۳).

واکنش ضربان قلب به شدت تمرین به‌عنوان معیاری برای ارزیابی بار اضافی بر بدن و قلب شناخته می‌شود. افزایش ضربان قلب نشان‌دهنده شدت بالاتر تمرین است و کاهش ضربان قلب پس از فعالیت، بهبود کارآیی قلب و عروق را نشان می‌دهد. تحقیقات نشان می‌دهند که یک جلسه فعالیت ورزشی حاد می‌تواند به‌طور موقت فشار خون استراحتی را کاهش دهد. این نتایج تأثیر مثبت ورزش بر تنظیم فشار خون و اهمیت فعالیت‌های منظم را در مدیریت سلامت قلب و عروق تأیید می‌کنند. درک این واکنش‌ها می‌تواند به توسعه برنامه‌های تمرینی مؤثرتر کمک کند (۶, ۱۴).

دوره ۲۲. شماره ۴۳. **بهار و تابستان** ۱۴۰۵. صفحات ۱۱۵ تا ۱۳۶.

همچنین، Kingsley و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که تمرینات مقاومتی به‌طور کلی تغییری معنادار در ضربان قلب استراحتی ایجاد نمی‌کنند، هرچند در افرادی با اختلال عملکرد خودکار قلبی، این مداخله می‌تواند به بهبود تونوس واگ و شاخص‌های عملکردی کمک کند. این امر اهمیت استفاده هدفمند از تمرین مقاومتی در بهینه‌سازی سلامت قلبی-عروقی گروه‌های پرخطر را برجسته می‌سازد (۱۵). علاوه براین، پاسخ‌های قلبی-عروقی در هیپوکسی سیستمیک شباهت قابل توجهی با شرایط محدودیت جریان خون دارند، به‌گونه‌ای که تحریک سمپاتیک موجب افزایش ضربان و قدرت انقباض قلب شده و توزیع خون به سود اندام‌های حیاتی بازآرایی می‌گردد. این سازوکار تطابقی، بازتاب انعطاف‌پذیری همودینامیک بدن در مواجهه با استرس‌های هیپوکسی است (۱۶). Ramadan و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که استفاده از ماسک شبیه‌ساز ارتفاع در تمرینات مقاومتی موجب افزایش معنادار مصرف اکسیژن، ضربان قلب، تهویه دقیقه‌ای و سطح لاکتات می‌شود. این پاسخ‌ها نشان‌دهنده تحریک هم‌زمان سیستم‌های تنفسی و قلبی-عروقی و پتانسیل این ابزار در ارتقاء سازگاری‌های عملکردی است (۱۷).

با وجود اهمیت بالای پاسخ‌های قلبی-عروقی به‌عنوان شاخصی بنیادین در ارزیابی ایمنی، کارایی و بار فیزیولوژیک فعالیت‌های مقاومتی، پژوهش‌های اندکی به مقایسه نظام‌مند الگوهای متنوع این تمرین‌ها پرداخته‌اند و غالب مطالعات بر مدل‌های سنتی با شدت متوسط یا بالا متمرکز بوده‌اند؛ در نتیجه، تحلیل جامع مزایا و محدودیت‌های رویکردهای نوین مانند تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون (BFR) یا انجام تمرین در شرایط هایپوکسی مصنوعی مغفول مانده است. این خلأ علمی، به‌ویژه در جمعیت‌های عملیاتی حساس همچون نیروهای نظامی، موجب بی‌توجهی نسبی به استفاده از شیوه‌های کم‌شدت ولی دارای بار متابولیک بالا شده است؛ روش‌هایی که می‌توانند هم‌زمان با کاهش فشار مکانیکی بر ساختار اسکلتی-عضلانی، محرک‌های همودینامیک و هورمونی قابل‌توجهی ایجاد کنند. شواهد اخیر نشان می‌دهد که ادغام BFR با تمرینات مقاومتی سبک از طریق افزایش پس‌بار متابولیک و فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ وابسته به فشار و هیپوکسی، باعث ارتقاء اکسیژن‌رسانی بافتی، تقویت ترشح فاکتورهای آنابولیک و بهبود سازگاری‌های قلبی-عروقی می‌شود؛ در حالی که هایپوکسی شبیه‌سازی‌شده نیز توانایی افزایش شدت محرک تنفسی-گردشی بدون نیاز به بار مکانیکی بالا را دارد. این سازوکارها می‌توانند در حفظ یا تقویت توده عضلانی، توان و عملکرد هوازی و بی‌هوازی نقش مؤثری ایفا کنند، که برای نیروهای نظامی و ورزشکاران نخبه در دوره‌های عملیاتی یا فصل‌های رقابتی طولانی بسیار ارزشمند است. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثرات هم‌زمان BFR و هایپوکسی بر شاخص‌های کلیدی عملکرد قلبی _ عرورقی همچون فشار خون، ضربان قلب، محصول فشار-ضربان، نسبت تستوسترون به کورتیزول و سایر پارامترهای فیزیولوژیک در قالب یک مداخله حاد تمرین مقاومتی همراه با ماسک شبیه‌ساز ارتفاع در مردان جوان نظامی طراحی و اجرا شده است، تا بخشی از شکاف پژوهشی این حوزه را پوشش دهد.

۲ مواد و روشها

۲-۱ طرح شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی با طرح نیمه‌تجربی و به‌روش متقاطع تصادفی‌شده بود که طی چهار هفته متوالی اجرا شد. در این طرح، تمامی شرکت‌کنندگان به‌ترتیب تصادفی، چهار وضعیت تمرین مقاومتی شامل شرایط کنترل (بدون مداخله)، استفاده از ماسک نظامی، ماسک شبیه‌ساز ارتفاع و محدودیت جریان خون را تجربه کردند. به‌منظور به‌حداقل‌رساندن اثرات باقی‌مانده ناشی از جلسات پیشین و کاهش احتمال تداخل پاسخ‌های متابولیکی

و هورمونی بین شرایط آزمایشی، فاصله استراحت (Washout Period)بین جلسات ۷۲ ساعت تا یک هفته در نظر گرفته شد. پیشنهاده این پژوهش در کمیته اخلاق در پژوهش پژوهشگاه علوم ورزشی با شماره SSRI.REC-2308-2407 (R2)، به تصویب رسیده است.

۲-۲ آزمودنی‌های پژوهش

آزمودنیهای این پژوهش ۱۲ مرد نظامی فعال و سالم اجرا بودند که سلامت عمومی آنها از طریق غربالگری پزشکی و پرسشنامه‌های استاندارد ارزیابی گردید. پس از مرحله آشنایی با پروتکل و تأیید توانایی انجام تمرینات، ویژگی‌های پایه شامل شاخص‌های انسان‌سنجی، ترکیب بدن، فشار خون و ضربان قلب آنها اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین توان بیشینه عضلات اندام تحتانی، یک تکرار بیشینه (1RM) در حرکت اسکوات (Squat) با استفاده از فرمول واتن به‌دست آمد (۱۸). برای حذف اثرات مداخله‌گر تغذیه‌ای، مصرف کافئین و غذاهای پرچرب تا ۲۴ ساعت پیش از آزمون محدود و دریافت هرگونه خوراکی جز آب در دو ساعت پایانی ممنوع شد (۱۹, ۲۰).

۲-۳ پروتکل تمرین

پروتکل تمرینی شامل ۴ نوبت اسکوات با دمبل (۲۰ تکرار در ست نخست و ۱۵ تکرار در سه نوبت بعدی با ۳۰ ثانیه استراحت) و شدت ۱۰ تا ۳۰ درصد 1RM بود. این روش امکان مقایسه مستقیم پاسخ‌های قلبی-عروقی ناشی از اشکال مختلف محدودیت تنفسی در تمرین مقاومتی را با دقت بالا فراهم کرد (شکل ۱) (۲۱, ۲۲). تمام گروه‌ها پیش و پس از تمرین، به ترتیب ۱۰ دقیقه گرم‌کردن و ۱۰ دقیقه سردکردن استاندارد را اجرا کردند. برای یکسان‌سازی بار مکانیکی و زمانی، مدت هر انقباض با زمان‌سنج کنترل و به‌طور میانگین چهار ثانیه (دو ثانیه مرحله درون‌گرا و دو ثانیه مرحله برون‌گرا) در نظر گرفته شد. شرایط هیپوکسی سیستمیک نیز از طریق استفاده از ماسک نظامی یا تمرینی در طول تمام مراحل (گرم‌کردن و بخش اصلی تمرین) و برای ایجاد محدودیت در جریان خون از کاف فشار رانی (مدل دستی) ساخت شرکت فراهوش الکترونیک آرسام (آنهوما) ایران زیرنظر پارک علم و فناوری فارس استفاده شد. این دقت در کنترل متغیرها، امکان تحلیل خالص اثرات روش‌های تمرین بر پاسخ‌های قلبی-عروقی ناشی از تمرین مقاومتی را فراهم ساخت. به‌منظور تعیین فشار لازم برای جلسات تمرینی با محدودیت جریان خون (BFR)، ابتدا فشار خون سیستولی آزمودنی‌ها در حالت استراحت با استفاده از فشارسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. سپس بر اساس مقدار به‌دست‌آمده، فشار موردنیاز برای انسداد جریان خون در پاها تخمین زده شد. (گفته می‌شود فشار پاها ۱۲۰ درصد فشار بازوست) (۶, ۱). همچنین، شرایط هیپوکسی سیستمیک را به وسیله ماسک تمرینی فانتوم اتلتیکس مدل P2-1000 ساخت کشور اتریش ایجاد کردیم که در ارتفاع ۴۹۰۰ متری (درجه ۴ از ماسک) تنظیم شده بود که در کل مرحله تمرینی (گرم کردن، تمرین اصلی) روی صورت آزمونگر قرار داشت (۲۳). لازم به ذکر است که گروه کنترل تنها روش مرسوم وزنه زدن (۷۵ -۸۰درصد یک تکرار بیشینه) را بدون هیچ محدودیتی اجرا کرد (۲۴). همچنین، برای ایجاد هیپوکسی سیستمیک و موضعی، از ماسک‌های نظامی و تمرینی همراه با کاف محدودیت جریان خون در تمام مراحل تمرینی، از جمله گرم‌کردن و بخش اصلی، استفاده شد. برگزاری تمام جلسات در ساعات بعدازظهر و با فاصله حداقل چهار ساعت از صرف ناهار، با هدف کاهش اثرات مداخله‌گر تغذیه‌ای، به‌دقت کنترل گردید. این ملاحظات، امکان ارزیابی دقیق اثرات ترکیبی محدودیت اکسیژن و فشار مکانیکی کاهش‌یافته بر پاسخ‌های قلبی-عروقی ناشی از تمرین مقاومتی را فراهم ساخت (۱۹, ۱, ۲۴). به‌منظور پایش دقیق‌تر شدت تمرین، از مقیاس درک فشار بورگ (درجه‌بندی ۲۰-۶) در نوبت پایانی تمرین برخی آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی استفاده شد. در این مقیاس، عدد ۶ نشان‌دهنده حالت استراحت و عدد ۲۰ نشان‌دهنده فعالیت بیشینه است. کنترل شدت تمرین با چنین ابزارهای

معتبر، به‌ویژه در فعالیت‌های ورزشی تخصصی، اهمیت بالایی دارد (۱۸)



الف: محدودیت جریان خون



ب: ماسک تمرینی



پ: ماسک نظامی

شکل ۱: استفاده از محدودیت جریان خون (الف)، ماسک تمرینی (ب) و ماسک نظامی (پ)

۴-۲ روش‌های اندازه گیری

اندازه‌گیری شاخص‌های آنتروپومتریک شامل وزن، قد، شاخص توده بدن (Body Mass Index) و نسبت دور کمر به باسن (waist-to-hip) با روش‌های استاندارد و ابزارهای کالیبره شده انجام شد. همچنین، به‌منظور تعیین وضعیت پایه قلبی-عروقی، فشار خون استراحتی با استفاده از فشارسنج جیوه‌ای معتبر (ALPK2، مدل V-300) اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، هزینه اکسیژن میوکارد از طریق شاخص حاصل‌ضرب ضربان قلب در فشار خون سیستولی (RPP) محاسبه گردید که به‌عنوان شاخصی غیرمستقیم از مصرف اکسیژن عضله قلب در نظر گرفته می‌شود (RPP=HR×SBP/100). همچنین، متوسط فشار خون شریانی با استفاده از مقادیر فشار خون سیستولی و دیاستولی و از طریق فرمول محاسبه شد: MAP=DBP+1/3(SBP-DBP)

۵-۲ تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های گردآوری‌شده با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. به‌منظور ارزیابی نرمال بودن توزیع داده‌ها، آزمون شاپیرو-ویلک به کار گرفته شد. برای مقایسه میانگین متغیرهای پژوهش، از تحلیل واریانس مختلط و تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده شد. در موارد مشاهده اثرات معنادار، آزمون تعقیبی بونفرونی به‌منظور تعیین محل دقیق اختلاف‌ها اعمال گردید. کلیه آزمون‌های آماری در سطح معناداری برابر یا کمتر از ۰٫۰۵ انجام پذیرفت تا از دقت استنباط‌ها و اعتبار نتایج اطمینان حاصل شود.

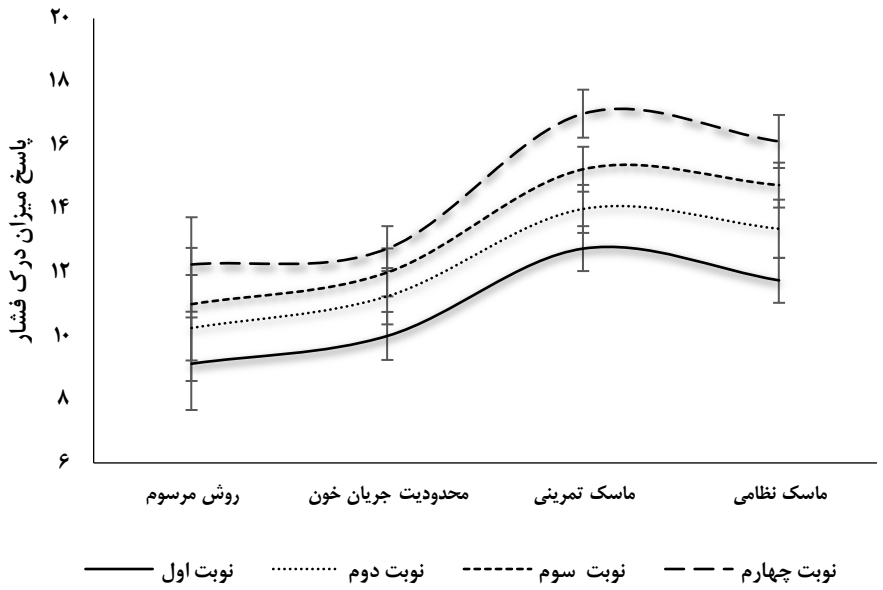
۳ نتایج

شاخص‌های آنتروپومتریکی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها در جدول شماره یک آورده شده است.

جدول ۱. شاخص های آنتروپومتریک و فیزیولوژکی آزمودنی ها (انحراف استاندارد ± میانگین)

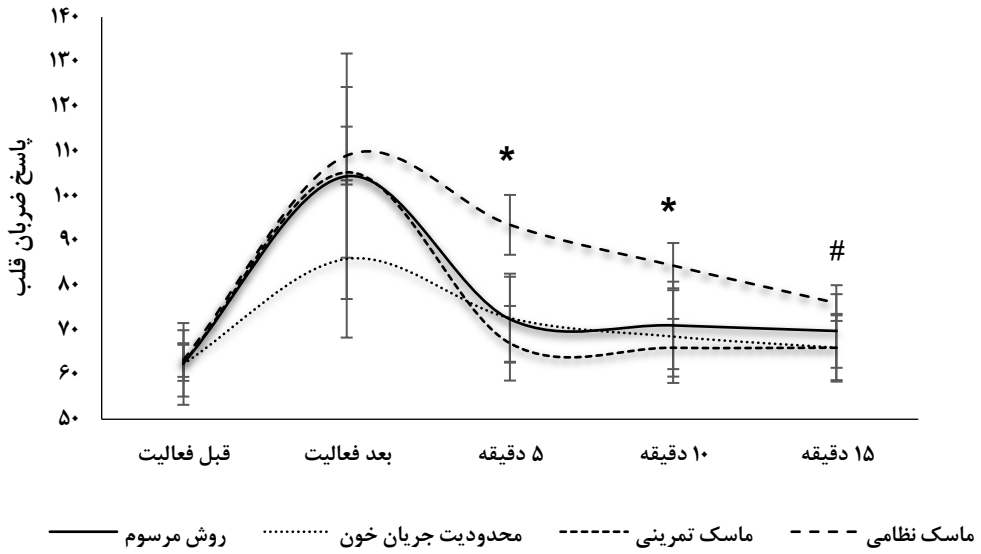
متغیر	انحراف استاندارد ± میانگین
سن (سال)	۲۷/۷۵ ± ۶/۴۵
وزن (کیلوگرم)	۸۳/۰۰ ± ۱۳/۳۴
قد (متر)	۱/۸۰ ± ۰/۰۶
BMI (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۵/۴۱ ± ۳/۴۳
ضربان قلب پایه	۶۱/۲۵ ± ۶/۷۵
فشارخون سیستولیک پایه (میلی لیتر جیوه)	۱۲۱/۵۰ ± ۶/۸۴
فشارخون دیاستولیک پایه (میلی لیتر جیوه)	۶۴/۸۷ ± ۸/۰۲
میزان مصرف اکسیژن میوکارد پایه	۷۴/۳۱ ± ۸/۴۳
متوسط فشار خون شریانی پایه	۸۳/۷۵ ± ۵/۳۱

تحلیل واریانس مختلط نشان داد که پاسخ ادراک فشار تحت تأثیر معنادار عوامل بین‌گروهی، درون‌گروهی و تعاملی قرار گرفت (p=۰/۰۰۱). آزمون بونفرونی نشان داد این اثرات در اغلب شرایط پایدار بوده و تنها بین نوبت دوم و سوم در گروه محدودیت جریان خون اختلافی مشاهده نشد (شکل ۱).



شکل ۱. تغییرات بین‌گروهی و درون‌گروهی میانگین‌های میزان درک فشار در چهار روش تمرینی در زمان‌های مختلف

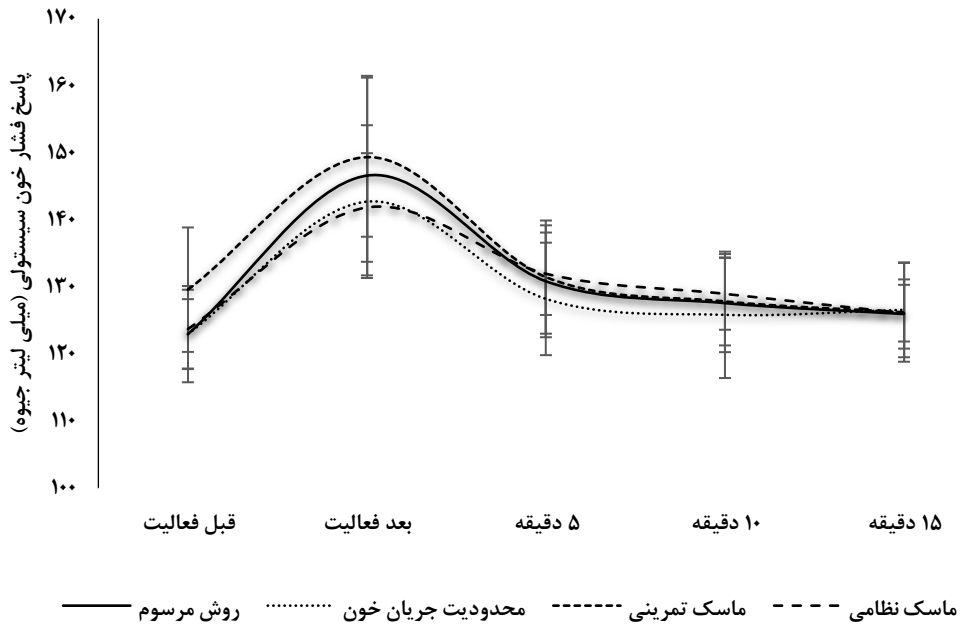
تحلیل واریانس مختلط نشان داد که ضربان قلب دارای تغییرات معنادار درون‌گروهی پس از تمرین است (p=۰/۰۰۱)، درحالی‌که تفاوت بین‌گروهی و تعاملی معنادار نبود. آزمون بونفرونی افزایش معنادار ضربان قلب پس از فعالیت را در تمام مداخلات تأیید کرد؛ تفاوت‌های بین‌گروهی تنها پس از تمرین و بین محدودیت جریان خون با ماسک تمرینی (p=۰/۰۴۶)، و ماسک نظامی (p=۰/۰۲۶) مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که مداخلات مطالعه با روش‌های متفاوت، بهبود قابل‌توجهی در پاسخ ضربان قلب ایجاد کردند (شکل ۲).



شکل ۲. متغیر پاسخ ضربان قلب در چهار روش تمرینی در زمان‌های مختلف. سطح معناداری$p<۰/۰۵$ در نظر گرفته شده است.

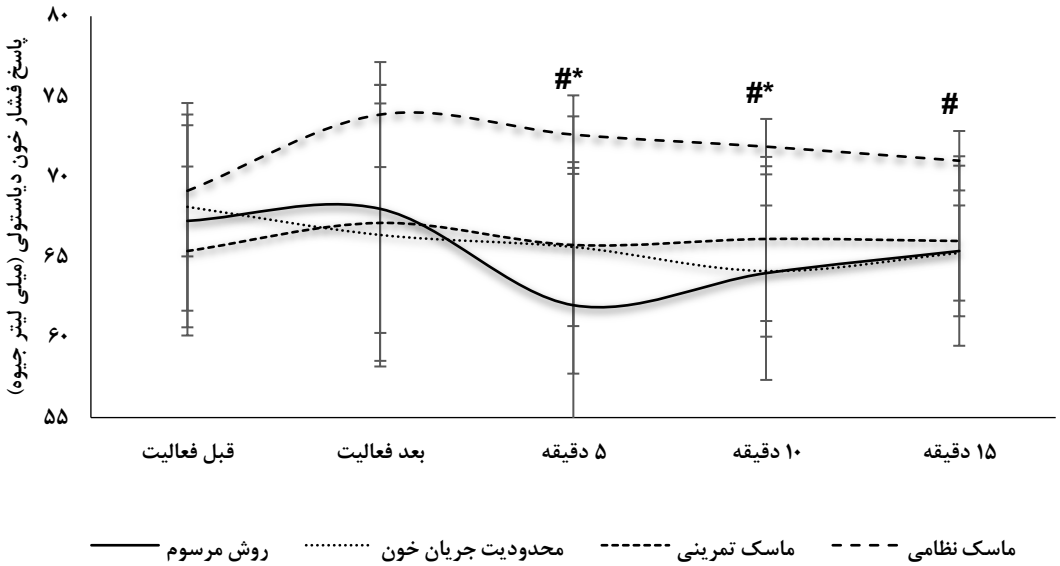
***تفاوت معنی دار روش مرسوم با ماسک نظامی، محدودیت جریان خون با ماسک نظامی و ماسک تمرینی با ماسک نظامی، # تفاوت معنادار محدودیت جریان خون با ماسک نظامی**

تحلیل واریانس مختلط نشان داد که فشار خون سیستولی تنها تغییرات معنادار درون‌گروهی پس از تمرین داشت ($p=۰/۰۰۱$)، در حالی که اثرات بین‌گروهی و تعاملی معنادار نبود. آزمون بونفرونی افزایش معنادار فشار خون سیستولی پس از فعالیت را در همه روش‌ها تأیید کرد، اما هیچ تفاوتی بین روش‌های تمرینی در مقایسه‌های قبل یا بعد از فعالیت مشاهده نشد. این یافته بیانگر آن است که ماهیت مداخله در تغییر روند فشار خون سیستولی نقش تعیین‌کننده‌ای نداشت (شکل ۳).



شکل ۳. متغیر پاسخ فشار خون سیستولی در چهار روش تمرینی در زمان‌های مختلف

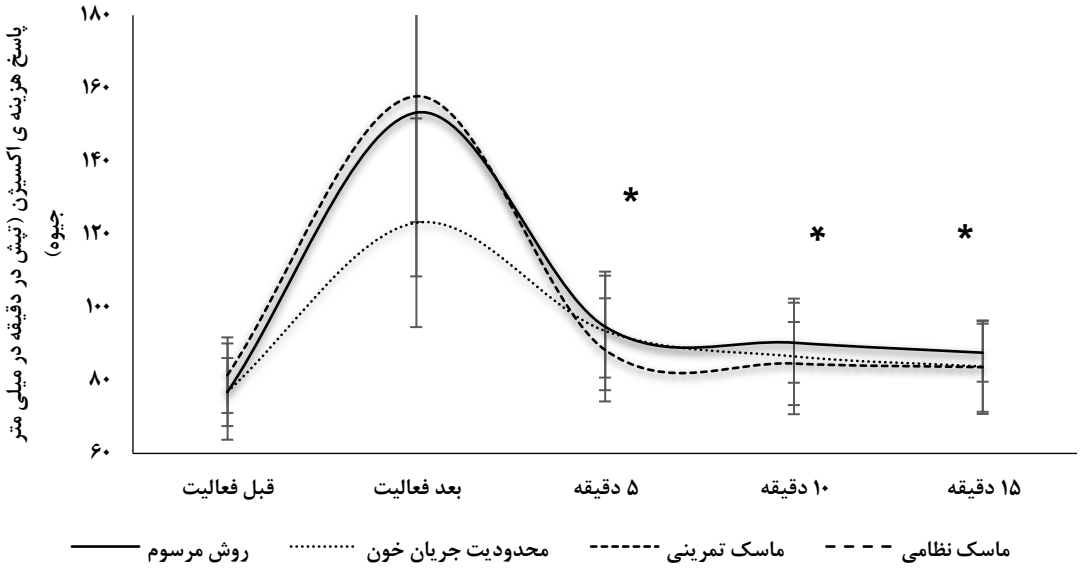
یافته‌ها نشان داد فشار خون دیاستولی فاقد تغییرات معنادار بین‌گروهی، درون‌گروهی و تعاملی بود. تنها در روش ماسک نظامی، افزایش معنادار پس از فعالیت مشاهده شد (p=۰/۰۰۲)، در حالی که سایر روش‌ها تغییری نداشتند. مقایسه‌های پیش و پس‌آزمون نیز تفاوتی بین روش‌های تمرینی نشان نداد، (شکل۴).



شکل ۴. متغیر پاسخ فشار خون دیاستولی در چهار روش تمرینی در زمان‌های مختلف.

*** تفاوت معنی دار روش مرسوم با ماسک نظامی# تفاوت معنادار محدودیت جریان خون با ماسک نظامی**

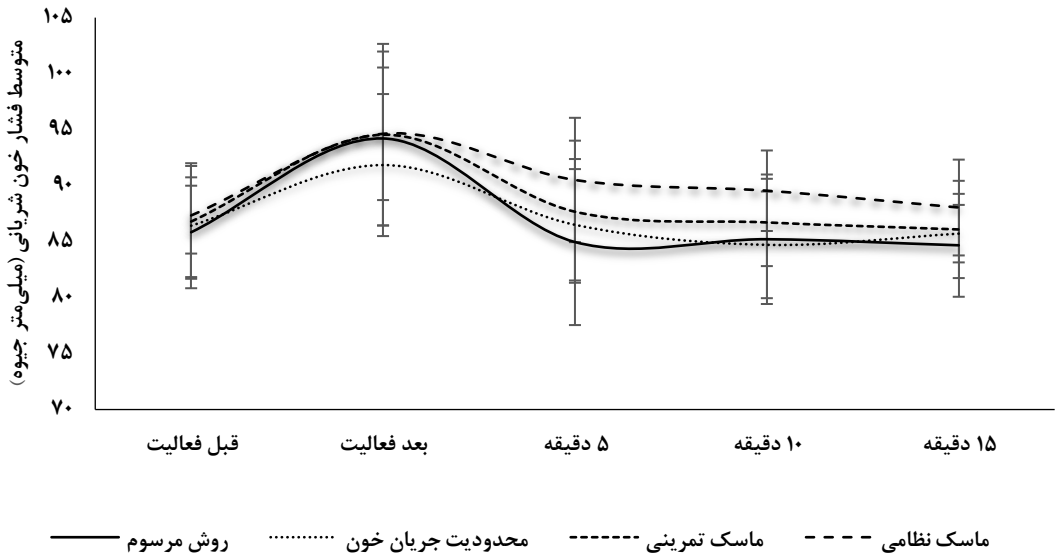
تحلیل واریانس مختلط نشان داد که هزینه اکسیژن میوکارد دارای تغییرات معنادار بین‌گروهی، درون‌گروهی و تعاملی (p=۰/۰۰۱) است. آزمون بونفرونی افزایش معنادار پس از فعالیت را در همه مداخلات تأیید کرد. تفاوت‌های بین‌گروهی پیش از فعالیت عمدتاً بین ماسک نظامی و سایر روش‌ها مشاهده شد و پس از تمرین این اختلاف‌ها در چندین مقایسه، به‌ویژه میان ماسک نظامی و سایر روش‌ها، پایدار ماند. این نتایج نشان می‌دهد که نوع مداخله تأثیر مشخصی بر هزینه اکسیژن دارد (شکل ۵).



شکل ۵. متغیر پاسخ هزینه‌ی اکسیژن میوکارد در چهار روش تمرینی در زمان‌های مختلف.

*** تفاوت معنی دار روش مرسوم با ماسک نظامی، محدودیت جریان خون با ماسک نظامی و ماسک تمرینی با ماسک نظامی.**

تحلیل واریانس مختلط نشان داد متوسط فشار خون شریانی فاقد اختلاف معنادار بین‌گروهی و تعاملی است، اما تغییرات درون‌گروهی معنادار بود (p=۰/۰۰۱). آزمون بونفرونی افزایش پس از تمرین را در گروه‌های روش مرسوم، ماسک تمرینی و ماسک نظامی تأیید کرد، در حالی که گروه محدودیت جریان خون تغییر معناداری نداشت. هیچ تفاوتی بین چهار گروه، پیش یا پس از فعالیت مشاهده نشد (شکل۶).



شکل ۶. متغیر متوسط فشار خون شریانی در چهار وضعیت تمرینی در زمان‌های مختلف

به‌طور در کلی، بررسی میانگین و انحراف معیار متغیرها نشان داد که درک فشار ادراک‌شده در همه روش‌ها با پیشرفت نوبت‌ها روند افزایشی دارد، بیشترین مقادیر در روش ماسک تمرینی ثبت شد. ضربان قلب و فشار خون سیستولی در کلیه شرایط پس از فعالیت نسبت به قبل افزایش معناداری یافتند و سپس طی زمان بازیافت کاهش تدریجی داشتند. فشار خون دیاستولی عمدتاً تغییری اندک داشت، اما در ماسک نظامی افزایش بیشتری پس از فعالیت دیده شد. هزینه اکسیژن میوکارد در همه روش‌ها بعد از فعالیت رشد چشمگیری داشت و در ماسک نظامی بالاترین مقادیر مشاهده شد. متوسط فشار خون شریانی در اغلب روش‌ها، به‌ویژه در ماسک نظامی و روش مرسوم، پس از فعالیت افزایش یافت و سپس به سطوح نزدیک به پیش‌آزمون بازگشت.

۴ بحث

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر محدودیت جریان خون، ماسک تمرینی و ماسک نظامی در حین تمرین مقاومتی بر شاخص‌های قلبی‌عروقی و درک فشار فعالیت در مردان نظامی بود. یافته‌های این مطالعه نشان داد که اجرای تمرین مقاومتی، فارغ از نوع مداخله (مرسوم، با محدودیت جریان خون یا با ماسک‌های هیپوکسی)، منجر به افزایش معنادار درون‌گروهی در ضربان قلب، فشار خون سیستولی و هزینه اکسیژن میوکارد می‌شود. این الگو با شواهد قبلی مبنی بر افزایش برون‌ده قلبی و نیاز اکسیژن میوکارد در پاسخ به فشارهای مکانیکی و متابولیکی تمرین همخوانی دارد. (۲۵, ۲۶). اگرچه فشار خون سیستولیک و فشار متوسط شریانی پس از تمرین در بیشتر روش‌ها افزایش معنی‌داری داشتند، فشار خون دیاستولیک الگوی متفاوتی نشان داد و صرفاً در ماسک نظامی پس از تمرین افزایش یافت؛ این امر می‌تواند ناشی از ترکیب اثر مقاومتی و محدودیت تنفسی با افزایش پس‌بار باشد. نبود تغییرات بین‌گروهی در فشار متوسط شریانی احتمالاً به علت آمادگی جسمانی بالای آزمودنی‌ها و شدت متوسط تمرین بود که اجازه بروز اختلافات آشکار را نمی‌دهد (۲۷). این یافته‌ها اهمیت کنترل شدت و حجم تمرین را در مطالعات همودینامیک نظامی برجسته می‌سازد. الگوهای مشاهده‌شده را می‌توان بر اساس مکانیسم‌های چندعاملی شامل کاهش اکسیژن‌رسانی محیطی، تجمع متابولیت‌ها، تحریک گیرنده‌های شیمیایی و مکانیکی و فعال‌سازی محور سمپاتو آدرنرژیک

توضیح داد (۲۸, ۲۹). افزایش فشار خون سیستولیک و دیاستولیک در تمرینات مقاومتی بخشی ناشی از اثر فشار جانبی عضلات فعال و افزایش مقاومت سیستمیک کلی است؛ در حالی‌که در روش‌های مبتنی بر هایپوکسی یا BFR، کاهش عرضه اکسیژن و افزایش فشار جزئی CO_2 می‌توانند پاسخ‌های قلبی‌عروقی را تشدید کنند. فشار خون سیستولیک در همه روش‌ها پس از تمرین افزایش یافت، ولی تفاوت بین‌گروهی مشاهده نشد. این یافته با مطالعه Tai و همکاران که افت فشار پس از تمرین را گزارش کردند، تا حدودی ناهمخوان است. دلیل این تفاوت می‌تواند به زمان‌گیری اندازه‌گیری، نوع گروه عضلانی و شدت تمرین مربوط باشد (۳۰). همچنین، فشار خون دیاستولیک بدون تغییرات عمده در بیشتر گروه‌ها و افزایش مختصر در ماسک نظامی مشاهده شد. این الگو با نتایج Horiuchi و همکاران جز در شرایط هایپوکسی شدید همسو است، بدین معنا که دیاستول در جمعیت سالم، انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به فشار موقت تمرین دارد و تغییر قابل توجهی نشان نمی‌دهد، مگر در شرایط افزوده‌شدن بار فشاری تنفسی و محدودیت جریان همزمان (۳۱).

VO_2 با تفاوت‌های معنادار بین‌گروهی، درون‌گروهی و تعاملی، بیشترین افزایش را در ماسک نظامی داشت. این یافته با نتایج Porcari و همکاران همخوان است که استفاده از ماسک‌های تمرینی سطح‌بالا موجب افزایش هزینه اکسیژن به دلیل محدودیت تهویه و کاهش کارایی انتقال اکسیژن می‌شود. تفاوت پایدار ماسک نظامی با سایر گروه‌ها بیانگر تأثیر قوی عامل هایپوکسی ترکیبی بر متابولیسم هوازی است (۳۲). علاوه براین، فشار متوسط شریانی در اغلب گروه‌های مداخله تغییرات درون‌گروهی معناداری نشان داد، با این استثناء که در گروه BFR این تغییر معنادار نبود. این الگو با یافته‌های Figueiredo و همکاران همخوان است که تصریح کرده‌اند دامنه تغییرات فشار متوسط شریانی به شدت و ماهیت بار تمرینی وابسته است. به نظر می‌رسد فشار مکانیکی ناشی از BFR در شدت‌های پایین‌تر، نتوانسته است سازوکارهای جبرانی و سازگاری‌های پس‌بار قلبی کافی برای ایجاد تغییر معنادار در فشار متوسط شریانی را فعال کند (۳۳). همچنین، برخلاف گزارش Domingos و همکاران مبنی بر ایجاد افت فشار خون پس از تمرین بیشتر در روش BFR نسبت به شیوه‌های سنتی، یافته‌های مطالعه حاضر چنین الگویی را تأیید نکرد. این ناهمخوانی احتمالا ریشه در تفاوت‌های جمعیت‌شناختی از جمله حضور پرسنل نظامی سالم در مقابل بزرگسالان دارای زمینه‌های بیماری همچنین در طول دوره مداخله و شدت پایین بار تمرینی به‌کاررفته در این تحقیق دارد، که همگی می‌توانند دامنه و پایداری پاسخ همودینامیک را تعدیل کنند (۱۲). الگوی همزمان تغییرات ضربان قلب و فشار خون سیستولیک در این مطالعه، حاکی از افزایش فشار کاری قلبی (RPP) پس از فعالیت در تمام گروه‌ها بود، هرچند این تفاوت‌ها در مقایسه بین‌گروهی پایدار نماند. این روند با نتایج برخی پژوهشگران همخوانی دارد که بیان کرده‌اند پاسخ‌های قلبی-عروقی کوتاه‌مدت بیش از آنکه صرفاً از نوع محدودیت جریان متاثر شود، به شدت تحریکات متابولیک و تهویه‌ای وابسته است (۳۴, ۳۵).

علاوه براین، افزایش تدریجی RPE تا ست پایانی، که در گروه ماسک تمرینی بیشترین مقدار را داشت، با نتایج Picón و همکاران همخوانی دارد که اثر بار تمرینی را بر افزایش فشار ادراک‌شده، بدون تغییر شدید فشار خون سیستولیک و دیاستولیک ، نشان دادند (۱۰). نبود تفاوت معنادار بین نوبت دوم و سوم در BFR احتمالاً به تطابق حاد عصبی-عضلانی و کاهش نسبی تحریک گیرنده‌های مکانیکی برمی‌گردد؛ عاملی که در مطالعات اسکوت و همکاران در مورد BFR نیز گزارش شده است (۲۷). اگرچه الگوهای پاسخ ادراکی بین گروه‌ها در اغلب نوبت‌ها واگرایی داشت، همپوشانی نسبی در برخی مقاطع همانند فقدان تغییر معنادار بین نوبت‌های دوم و

سوم در BFR حاکی از آن است که محدودیت جریان در شدت‌های پایین ممکن است به نقطه اشباع موقت تحریک گیرنده‌های مکانیکی و متابولیک برسد (۳۶). چنین آثار پلاتویی در پاسخ ادراکی در مطالعات Porcari و همکاران نیز گزارش شده است، جایی که محدودیت تنفس طی تمرین کم‌شدت موجب کاهش تدریجی شدت احساس‌شده نسبت به بار واقعی می‌شود (۳۴).

در جمع‌بندی تحلیلی این پژوهش، تمامی شیوه‌های تمرینی مورد بررسی، اعم از مقاومتی مرسوم، محدودیت جریان خون و ماسک‌های هایپوکسی (نظامی و تمرینی)، موجب برانگیختگی قابل توجه سامانه قلبی-عروقی و متابولیکی درون‌گروهی شدند. افزایش منظم ضربان قلب، فشار خون سیستولیک و هزینه اکسیژن میوکارد در تمام روش‌ها، مؤید پاسخ تطبیقی سیستم قلب به بار مکانیکی و متابولیکی بود. در عین حال، فشار خون دیاستولیک رفتار ناهمگنی نشان داد که به‌ویژه در ماسک نظامی، افزایش قوی‌تری مشاهده شد و احتمالاً حاصل هم‌افزایی مقاومت تنفسی با بار مقاومتی عضلانی بود. ثبات نسبی فشار متوسط شریانی بین روش‌ها می‌تواند انعکاسی از آمادگی جسمانی بالای نمونه‌ها و شدت متوسط پروتکل باشد. از دیدگاه مکانیزمی، محرک‌های همزمان شامل کاهش اکسیژن‌رسانی، تجمع متابولیت‌ها، تحریک گیرنده‌های محیطی و فعال‌سازی محور سمپاتیک به‌عنوان عوامل اصلی شکل‌دهنده این پاسخ‌ها قابل شناسایی هستند. الگوهای فشار متوسط شریانی در گروه BFR تغییر معناداری نشان ندادند که می‌تواند ناشی از ناکافی بودن فشار مکانیکی برای برانگیختن سازوکارهای جبرانی باشد. این امر همچنین بیانگر نقش جمعیت‌شناسی، مدت و شدت تمرین در تعیین دامنه پاسخ‌های همودینامیک است. فشار کاری قلبی در تمامی روش‌ها پس از فعالیت افزایش یافت، اما تفاوت‌های بین‌گروهی از پایداری کافی برخوردار نبودند، نمایانگر حساسیت بیشتر به شدت تحریک متابولیک و تهویه‌ای نسبت به ماهیت محدودیت جریان. الگوی ادراک فشار صعودی، با شدت بیشتر در ماسک تمرینی، نشان‌دهنده اثر بار تجمعی بر سیستم عصبی-عضلانی و حسی بود. فقدان تفاوت معنادار در بخش‌هایی از پروتکل برای گروه BFR می‌تواند حاصل اشباع نسبی گیرنده‌های مکانیکی و متابولیک در شدت‌های پایین باشد. این پدیده، مشابه الگوهای «پلاتو» گزارش‌شده در شرایط محدودیت جریان یا تهویه، مؤید این است که فراتر از نقطه‌ای مشخص، تغییرات بار دیگر به‌طور خطی درک نمی‌شوند.

از محدودیت‌های اصلی این پژوهش، کمبود منابع علمی همسو و داده‌های پیشین در زمینه تمرین مقاومتی همراه با استفاده از ماسک‌های تمرینی و نظامی است که تفسیر نتایج و مقایسه آن‌ها را با ادبیات موجود دشوار می‌سازد. همچنین، فرایند گردآوری اطلاعات با عوامل غیرقابل کنترل متعددی مواجه بود که می‌توانستند بر پاسخ‌های فیزیولوژیک و ادراکی شرکت‌کنندگان اثرگذار باشند. از جمله این عوامل، نوسانات ناشی از عدم پایش دقیق رژیم غذایی، تغییرات الگوی خواب و وضعیت‌های روانی پیش از آزمون، به‌عنوان متغیرهای مزاحم محتمل، قابل ذکر است. این موارد می‌توانند موجب افزایش پراکندگی داده‌ها یا کاهش حساسیت آزمون‌های آماری شوند. بنابراین، یافته‌ها باید با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها تفسیر شوند. طراحی مطالعات آتی با کنترل دقیق‌تر این عوامل می‌تواند به افزایش دقت و قابلیت تعمیم نتایج کمک کند. توجه به این ظرایف در چارچوب مطالعات آینده، مسیر روشن‌تری برای شناخت دقیق‌تر اثرات تمرین مقاومتی در شرایط ماسک فراهم خواهد ساخت.

۵ نتیجه‌گیری

نتایج کلی این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب تمرینات مقاومتی با شرایط محدودیت جریان خون، ماسک‌های نظامی و تمرینی و استفاده از حرکات

دوره ۲۲. شماره ۴۳. **بهار و تابستان** ۱۴۰۵. صفحات ۱۱۵ تا ۱۳۶.

شبیه به وظایف عملیاتی می‌تواند پاسخ‌های فیزیولوژیک و عملکردی قابل توجهی ایجاد کند. شواهد حاکی از آن است که فعالیت مقاومتی با شدت پایین در شرایط هایپوکسی سیستمیک، واکنش‌هایی مشابه تمرینات مقاومتی سنتی با وزنه‌های سنگین در افراد جوان رقم می‌زند. با وجود این، تعیین برتری قطعی هر یک از روش‌ها یا تجهیزات خاص در دستیابی به اهداف رزمی یا ورزشی همچنان نیازمند شواهد علمی بیشتری است. دامنه تأثیر این رویکردها ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند وضعیت آمادگی جسمانی، شدت پروتکل، و ویژگی‌های فردی قرار گیرد. ارزیابی جامع‌تر اثرات متابولیکی، هورمونی و عملکردی در قالب تمرینات مقاومتی، سرعتی و استقامتی با و بدون محدودیت‌های مذکور، می‌تواند مسیر توسعه راهبردهای کارآمدتر را روشن سازد. چنین رویکردی علاوه بر ارتقای کارآیی جسمی، می‌تواند اثرات بالقوه‌ای بر تحمل استرس‌های محیطی و عملیاتی داشته باشد. در این راستا، به‌کارگیری طرح‌های پژوهشی طولی و چندگروهی می‌تواند کیفیت شواهد و قابلیت تعمیم نتایج را تقویت کند.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ گونه تعارضی بین نویسندگان وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی دانشگاه امام جواد (ع) و دانشگاه امام علی (ع) به‌دلیل حمایت‌های سازمانی و همکاری‌های ارزشمند در اجرای این پژوهش ابراز می‌دارند.

مشارکت نویسندگان

ابوالفضل رحمانی در ایده‌پردازی، طراحی پژوهش، نظارت علمی بر اجرای مطالعه، نگارش پیش‌نویس اولیه مقاله و بازنگری علمی و ویرایش نهایی آن مشارکت داشت. اسماعیل کرمی در گردآوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری نتایج و بازنگری و ویرایش مقاله نقش داشت. هر دو نویسنده نسخه نهایی مقاله را تأیید کرده و مسئولیت صحت، دقت و یکپارچگی تمامی جنبه‌های پژوهش را بر عهده دارند.

منابع

1. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. Front Physiol. 2019;10:533. doi:10.3389/fphys.2019.00533.
2. Leinonen A. Normobaric hypoxia training in military aviation. Joensuu (Finland): University of Eastern Finland; 2024.
3. Nayak SK, Pradhan B, Mohanty B, Sivaraman J, Ray SS, Wawrzyniak J, et al. A review of methods and applications for a heart rate variability analysis. Algorithms. 2023;16(9):433. doi:10.3390/a16090433.
4. Stamou SS, Mamali A, Papageorgiou E. Impact of physical activity on heart rate, blood pressure and rate-pressure product in healthy elderly. Health Sci J. 2020;14(2):712.
5. Calleja-Romero A, Vicente-Rodríguez G, Garatachea N. Acute effects of long-distance races on heart rate variability and arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis. J Sports Sci. 2022;40(3):248-70. doi:10.1080/02640414.2021.1986276.
6. Rahmani A, Mehrabani J. Cardiovascular responses (HRV, BP, and RPP) following a resistance exercise session with a training mask and blood flow restriction in young male athletes. J Appl Health Stud Sport Physiol. 2025;12(1):95-108.
7. Casonatto J, Goessler KF, Cornelissen VA, Cardoso JR, Polito MD. The blood pressure-lowering effect of a single bout of resistance exercise: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. Eur J Prev Cardiol. 2016;23(16):1700-14. doi:10.1177/2047487316664147.
8. Wong A, Nordvall M, Walters-Edwards M, Lastova K, Francavillo G, Summerfield L, et al. Cardiac autonomic and blood pressure responses to an acute bout of kettlebell exercise. J Strength Cond Res. 2021;35(Suppl 1). doi:10.1519/JSC.0000000000002279.
9. Paulo AC, Tricoli V, Queiroz ACC, Laurentino G, Forjaz CLM. Blood pressure response during resistance training of different work-to-rest ratio. J Strength Cond Res. 2019;33(2):399-407. doi:10.1519/JSC.0000000000002074.
10. Picón MM, Chulvi IM, Cortell-Tormo JM, Tortosa J, Alkhadar Y, Sanchís J, et al. Acute cardiovascular responses after a single bout of blood flow restriction training. Int J Exerc Sci. 2018;11(2):20-31. doi:10.70252/OPQK2380.
11. Spitz RW. The effects of high intensity isometric contractions and low intensity isometric contractions with and without blood flow restriction on blood pressure and discomfort

[thesis]. University (MS): University of Mississippi; 2023.

12. Domingos E, Polito MD. Blood pressure response between resistance exercise with and without blood flow restriction: a systematic review and meta-analysis. Life Sci. 2018;209:122-31. doi:10.1016/j.lfs.2018.08.006.
13. Chulvi-Medrano I, Cortell-Tormo JM, Hernández-Sánchez S, Picón-Martínez M, Rolnick N. Blood flow restriction training in clinical rehabilitation: occlusion pressure methods relative to the limb occlusion pressure. J Sport Rehabil. 2023; 32(4): 361-8. doi:10.1123/jsr.2022-0240.
14. Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, Farquhar WB, Kelley GA, Ray CA, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. Med Sci Sports Exerc. 2004; 36(3): 533-53. doi: 10.1249/01.MSS.0000115224.88514.3A.
15. Kingsley JD, Figueroa A. Acute and training effects of resistance exercise on heart rate variability. Clin Physiol Funct Imaging. 2016; 36(3): 179-87. doi:10.1111/cpf.12223.
16. Huang R, Ma Y, Yang Z, Wang Z, Zeng C, Qin Y, et al. Hemodynamic analysis of blood flow restriction training: a systematic review. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2025; 17(1): 46. doi:10.1186/s13102-025-01084-8.
17. Ramadan W, Xirouchaki CE, Mustafa R, Saad A, Benite-Ribeiro SA. Effect of wearing an elevation training mask on physiological adaptation. J Phys Educ Sport. 2021; 21(3). doi:

10.7752/jpes.2021.03170.

18. Rahmani A, Mirzaei B. The acute effects of resistance exercise with blood flow and respiratory restriction on blood lactate and growth hormone in collegiate wrestlers. Metab Exerc. 2018;8(2):137-50.
19. Grgic J, Venier S, Schoenfeld BJ, Mikulic P. Caffeine ingestion enhances repetition velocity in resistance exercise: a randomized, crossover, double-blind study involving control and placebo conditions. J Hum Kinet. 2020;74:177. doi:10.2478/hukin-2020-0023.
20. Jeukendrup A, Wallis G. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. Int J Sports Med. 2005;26(Suppl 1). doi:10.1055/s-2004-830512.
21. Jiang G, Qin S, Yan B, Girard O. Metabolic and hormonal responses to acute high-load resistance exercise in normobaric hypoxia using a saturation clamp. Front Physiol. 2024;15:1445229. doi:10.3389/fphys.2024.1445229.
22. Norasteh S, Arazi H, Rahmani A. The effect of resistance exercise with blood flow and respiratory restriction on testosterone, cortisol and testosterone/cortisol ratio responses in male wrestlers. J Appl Health Stud Sport Physiol. 2020;6(2):47-55.

23. López-Pérez ME, Romero-Arenas S, Colomer-Poveda D, Keller M, Márquez G. Psychophysiological responses during a cycling test to exhaustion while wearing the elevation training mask. J Strength Cond Res. 2022;36(5):1282-9. doi:10.1519/JSC.0000000000003626.

24. Ehsanbakhsh H, Rahmani A, Karami E, Sabzevarirad R. Investigating the effect of resistance sports exercise with a military and training mask on blood lactate and growth hormone levels in military personnel. J Mil Med. 2024;26(2):2248-57.

25. Pescatello LS, Buchner DM, Jakicic JM, Powell KE, Kraus WE, Bloodgood B, et al. Physical activity to prevent and treat hypertension: a systematic review. Med Sci Sports Exerc. 2019;51(6):1314-23. doi:10.1249/MSS.0000000000001943 .

26. Alemi B, Majlesi S, Nekooei P, Ghasemabad KH, Nekouie P. Changes in heart rate variability and post-exercise blood pressure from manipulating rest intervals between sets of resistance training. J Hum Kinet. 2022; 82:61. doi:10.2478/hukin-2022-0031.

27. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Blood flow restricted exercise for athletes: a review of available evidence. J Sci Med Sport. 2016;19(5):360-7. doi:

10.1016/j.jsams.2015.04.014.

28. Wan HY, Bunsawat K, Jarrett CL, Shields KL, Bisconti AV, Weavil JC, Amann M. Regional cerebral perfusion and sympathetic activation during exercise in hypoxia and hypercapnia: preliminary insight into 'Cushing's mechanism'. J Physiol. 2025 Sep;603(18):5103-5119. doi:

10.1113/JP287181.

29. Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 2019 Jan;49(1):95-108. doi: 10.1007/s40279-018-0994-1. Erratum in: Sports Med. 2019 Jan;49(1):109-111. doi: 10.1007/s40279-018-1013-2.

30. Tai YL, Marshall EM, Parks JC, Mayo X, Glasgow A, Kingsley JD. Changes in endothelial function after acute resistance exercise using free weights. J Funct Morphol Kinesiol. 2018;3(2):32. https://doi.org/10.3390/jfmk3020032

31. Horiuchi M, Ni-I-Nou A, Miyazaki M, Ando D, Koyama K. Impact of resistance exercise under hypoxia on postexercise hemodynamics in healthy young males. nt J Hypertens. 2018; 2018: 1456972. doi: 10.1155/2018/1456972.

32. Porcari JP, Probst L, Forrester K, Doberstein S, Foster C, Cress ML, et al. Effect of wearing the elevation training mask on aerobic capacity, lung function, and hematological

variables. J Sports Sci Med. 2016; 15(2): 379-86.

33. Figueiredo T, Willardson JM, Miranda H, Bentes CM, Reis VM, Simão R. Influence of load intensity on postexercise hypotension and heart rate variability after a strength training session. J Strength Cond Res. 2015; 29(10): 2941-8.

    doi:10.1519/JSC.0000000000000954.

34. Kaufman MP. The exercise pressor reflex in animals. Exp Physiol. 2012; 97(1): 51-8.

    doi:10.1113/expphysiol.2011.057539.

35. Teixeira AL, Fernandes IA, Vianna LC. Cardiovascular control during exercise: the connectivity of skeletal muscle afferents to the brain. Exerc Sport Sci Rev. 2020;48(2):83-91. doi:10.1249/JES.0000000000000218.

36. Thurston TS, Weavil JC, Georgescu VP, Broxterman RM, Wan HY, Birgenheier NM, et al. The role of group III/IV muscle afferents in regulating the hemodynamic response to whole body exercise. FASEB J. 2020;34(Suppl 1):1.

    doi:10.1096/fasebj.2020.34.s1.05401.