

Journal of Sport and Exercise Physiology

Spring 2024/Vol.17/Issue.1

Original Article

The effect of weightlifting training with added respiratory dead space on buffering capacity and blood lactate of weightlifters

Vahid Rabiei¹, Mohamad Fashi^{1*}, Hamid Allah Hasanloei²

1. Department of Biological Sciences in Sports and Health, Faculty of Sports and Health Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Department of Behavioral Sciences, Cognitive and Sports technology, Faculty of Sports and Health Sciences, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: Improvement of performance based on buffering capacity has been of great interest, where beneficial effects have been reported by using added respiratory dead space (ADRS) in endurance training. However, the use of ADRS in resistance training has not been investigated. The aim of this study was to investigate the effects of added respiratory dead space in weightlifting training on carbon dioxide, bicarbonate, blood lactate.

Materials and Methods: Two groups of young healthy males (age 28.72 ± 14.14 and body mass index 24.27 ± 1.34) with at least 6 months of experience in weightlifting training, were voluntarily selected and randomly divided into two groups: weightlifting + added respiratory dead space ($n = 9$) and Weightlifting training ($n = 9$). Both groups performed selected weightlifting training three sessions a week in the first to fourth weeks, four sessions a week in the fifth to sixth weeks and five sessions a week in the seventh to tenth weeks with an intensity of 80% one-repetition maximum and RPE of 14 to 16. However, the WARDS group were breathing through a device that increased respiratory dead space volume to amount of 1200-ml during the training. The anthropometric measurements and blood samples were taken to determine carbone dioxide, HCO_3^- and lactate levels. To determine the differences between groups, a statistical analysis of general linear models with repeated measures and a meaningful Bonferroni test were used to determine the difference between the groups. A significance level of less than 0.05 was considered.

Results: No significant difference was observed between the two groups with and without masks in body mass index ($P=0.510$), body weight ($P=0.714$) and body fat percentage ($P=0.942$). The adaptations created in the values of CO_2 ($P=0.045$) and lactate ($P\geq 0.001$) was significant in the group with mask. No significant difference was observed between two groups for HCO_3^- ($P=0.947$). As a result of comparing the responses of training variables, there was a significant increase in CO_2 only after the tenth session ($P=0.019$), lactate after the first and tenth sessions ($P=0.000$) and HCO_3^- after the first session ($P=0.029$) and the tenth session ($P=0.045$) in the group with mask.

Conclusion: Using an added respiratory dead space with a volume of 1200 ml during weightlifting training is a simple method to improve buffering capacity and increase lactate. Weightlifting training sessions are not considered more difficult with this strategy and can provide an alternative to well-known training protocols, and athletes can benefit from the resulting adaptations in various directions such as hypertrophy, performance improvement.

Keywords: Carbon Dioxide, Testosterone, Bicarbonate

How to cite this article: Rabiei V, Fashi M, Hasanloei H. The effect of weightlifting training with added respiratory dead space on buffering capacity and blood lactate of weightlifters. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2024;17(1):1-?.

*Corresponding Author; E-mail: m_fashi@sbu.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2024.233889.1201>

Received: 23/11/2023

Revised: 06/02/2024

Accepted: 10/02/2024

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات وزنهبرداری همراه با فضای مرده تنفسی افزایش یافته بر ظرفیت تامپونی و لاكتات خون وزنهبرداران

وحید ربیعی^۱، محمد فشی^{۱*}، حمید الله حسنلوئی^۲

۱. گروه علوم زیستی در ورزش و تندرستی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. گروه علوم رفتاری، شناختی و فناوری ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: بهبود عملکرد بر پایه ظرفیت تامپونی بسیار مورد توجه قرار گرفته است، جاییکه با استفاده از فضای مرده تنفسی افزایش یافته در تمرینات استقامتی اثرات مفید آن گزارش شده است. با این وجود، به کار گرفتن فضای مرده تنفسی افزایش یافته در تمرینات مقاومتی مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از این مطالعه بررسی اثر فضای مرده تنفسی افزایش یافته در تمرینات وزنهبرداری بر کربن دی اکسید، بیکربنات و لاكتات خون بود.

مواد و روش‌ها: دو گروه از مردان جوان سالم (سن $۱۴/۱۴ \pm ۲/۲۲$ سال و شاخص توده بدن $۳۴/۲۷ \pm ۱/۳۴$) با حداقل ۶ ماه سابقه تمرینات وزنهبرداری، بهطور داوطلبانه انتخاب و بهطور تصادفی به دو گروه: تمرین وزنهبرداری + ماسک (تعداد ۹ نفر) و تمرین وزنهبرداری بهنهایی (تعداد ۹) تقسیم شدند. هر دو گروه، تمرینات منتخب وزنهبرداری را سه جلسه در هفته، در هفته‌های اول تا چهارم؛ چهار جلسه در هفته، در هفته‌های پنجم تا ششم و پنج روز در هفته، در هفته‌های هفتم تا دهم با شدت ۸٪ یک تکرار بیشینه و میزان درک فشار $۱۴/۱۶$ انجام دادند. گروه تمرین با ماسک از طریق دستگاهی تنفس می‌کردند که حجم فضای مرده تنفسی را در طول تمرین به ۱۲۰۰ میلی‌لیتر افزایش می‌داد. اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک و نمونه خون برای تعیین سطوح کربن دی اکسید، بیکربنات و لاكتات گرفته شد. جهت تعیین تفاوت‌های میان گروه‌ها از روش آماری تحلیل واریانس مکرر و در صورت معنی‌داری از آزمون بونفرونی برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها استفاده شد. سطح معنی‌داری کوچکتر از 0.05 درنظر گرفته شد.

نتایج: تفاوت معنی‌داری بین دو گروه با ماسک و بدون ماسک در شاخص توده بدن ($P=0.05/0.10$)، وزن بدن ($P=0.07/0.14$)، و درصد چربی بدن ($P=0.09/0.42$) مشاهده نشد. سازگاری ایجاد شده در مقادیر دی اکسید کربن خون ($P=0.04/0.45$) و لاكتات ($P=0.00/0.01$) در گروه با ماسک معنی‌دار بود. تفاوت معنی‌داری بین هر دو گروه برای بیکربنات ($P=0.09/0.47$) مشاهده نشد. در نتیجه مقایسه پاسخ‌های متغیرهای تمرینی، افزایش معنی‌داری در دی اکسید کربن تنها بعد از جلسه دهم ($P=0.019/0.029$)، لاكتات بعد از جلسه اول و دهم ($P=0.000/0.000$) و بیکربنات بعد از جلسه اول ($P=0.045/0.029$) در گروه با ماسک مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: استفاده از فضای مرده تنفسی افزایش یافته با حجم ۱۲۰۰ میلی‌لیتر در طی تمرینات وزنهبرداری یک روش ساده برای بهبود ظرفیت بافرینگ و افزایش لاكتات است. جلسات تمرینی وزنهبرداری با این استراتژی، دشوارتر تلقی نمی‌شوند و می‌توانند جایگزینی برای پروتکل‌های تمرینی شناخته شده ارائه دهند تا ورزشکاران از سازگاری‌های حاصل از آن‌ها در جهات مختلف نظیر هایپرترووفی و بهبود عملکرد بهره ببرند.

واژه‌های کلیدی: دی اکسید کربن، تستوسترون، بیکربنات، تمرین مقاومتی

* نویسنده مسئول: m_fashi@sbu.ac.ir

مقدمه

تمرینات مقاومتی طولانی مدت باعث افزایش توده عضلانی می‌شوند (۱، ۲). به خوبی روش است که هایپرتروفی به واسطه تمرین مقاومتی توسط یک آبشار پیچیده از مسیرهای پیامرسانی آنابولیک و کاتابولیک تسهیل می‌شود (۳). مطابق با اصل اندازه همنم^۱، برای به اوج رساندن هایپرتروفی در تمرینات مقاومتی باید بار زیاد در تمرینات اعمال (۳). شدت بیش از ۷۰ درصد یک تکرار پیشینه (IRM) که در تمرینات وزنهبرداری مشاهده می‌شود، برای دستیابی به میزان قابل توجه هایپرتروفی لازم است (۴، ۵). تمرینات یک ضرب و دو ضرب به عنوان حرکات اصلی این ورزش، مجموعه‌ای از حرکات کل بدن و چند مفصلی با انتباختات شدت بالا هستند. طی این حرکات، وزنهبردار به توان خروجی بی‌نظیری در مقایسه با ورزشکاران رشته‌های دیگر دست پیدا می‌کند (۶). سیستم انرژی غالب در این حرکات سیستم گلیکولیز بی‌هوایی را نیز در گیر می‌کند و فواصل استراحتی بین سنتها برای دفع کامل لاکتات ناکافی است و بدین ترتیب لاکتات افزایش می‌یابد (۷). همان‌طور که تحقیقات مختلف نشان داده‌اند لاکتات به عنوان متابولیت متابولیسم بی‌هوایی (۸) در بدن سیگنال‌های مختلفی را به راه می‌اندازد؛ لاکتات بیان کننده نیاز متابولیک است و با تحریک فاکتور رشد اندوتیال عروقی (VEGF^۸) سبب مهاجرت سلول‌های اندوتیالی می‌شود (۹) که تولید رگ‌های خونی را افزایش می‌دهد (۱۰-۱۵)؛ همچنین تصور می‌شود لاکتات مولکولی آنابولیک برای رشد عضلات در تمرینات مقاومتی است (۸) که با تحریک میوژن (۱۶) و افزایش ترشح تستوسترون (۸)، سبب بهبود هایپرتروفی می‌شود.

برخی تحقیقات به بررسی اثرات تغییر در ترکیب هوای استنشاقی با استفاده از انواع مختلف مخلوط گازی مانند افزایش میزان کربن دی‌اکسید (CO_2) در هوای استنشاقی پرداخته‌اند (۱۷)، استفاده از ماسک‌های تمرینی که باعث افزایش مقاومت تنفسی (۱۸، ۱۹) یا افزایش حجم فضای مرده تنفسی (ARDS^۹) (۲۰، ۲۱) می‌شوند. دستگاهی که برای ARDS استفاده می‌شود، یک ماسک و لوله با طول مشخص است، اما در چهاری افزایش مقاومت تنفسی ندارد. هنگام تنفس از طریق این دستگاه، مقداری هوای بازدمی در این فضا باقی می‌ماند و با هوای تازه دمیده شده مخلوط می‌شود. با افزایش حجم فضای مرده تنفسی، فشار سهمی CO_2 در خون و آلوئول افزایش می‌یابد که با افزایش مربوطه در مقدار CO_2 خون، تهویه ریوی و اسیدوز تنفسی (۲۲) مشخص می‌شود. تحقیقات انجام‌شده در خصوص ARDS این موضوع را تایید کرده‌اند (۲۳-۲۶). همچنین تحقیقات نشان داده‌اند بیکربنات (HCO_3^-) نیز طی تمرینات ARDS در پی افزایش فشار سهمی CO_2 خون، افزایش می‌یابد، و اکنشی که توسط کربنیک اندیراز انجام‌شده و CO_2 و آب را به HCO_3^- و هیدروژن (H^+) تبدیل می‌کند (۲۷، ۲۸). سیستم HCO_3^- یکی از مهمترین بافرهای شیمیایی خارج سلولی است و تقریباً ۶۲ درصد H^+ که در طول تمرینات شدید وارد خون می‌شود را خنثی می‌کند (۲۹). سازوکارهای احتمالی برای بهبود عملکرد در نتیجه افزایش غلظت بافر خارج سلولی، افزایش جریان H^+ از عضلات به خون است (۱۰). با افزایش غلظت HCO_3^- سازگاری ایجاد می‌شود که منجر بهبود ظرفیت بافرینگ و تاخیر در اسیدوز (۳۰) می‌شود که توانایی تولید انرژی از طریق متابولیسم بی‌هوایی را افزایش می‌دهد (۳۱)؛ درنتیجه توسعه متابولیسم بی‌هوایی طی تمرینات ARDS میزان لاکتات نیز افزایش پیدا می‌کند (۳۲، ۳۱). بنابراین، بررسی تغییرات بافرینگ و غلظت لاکتات در طول یک دوره تمرین وزنهبرداری ضروری به نظر می‌رسد و باید نتایج با یافته‌های به دست آمده در شرایط استاندارد مقایسه شود تا مشخص شود که آیا این رویکرد می‌تواند محرك تمرینی قوی‌تری ارائه دهد یا خیر.

با بررسی پیشینه، بهبود ظرفیت هوایی طی تمرینات ARDS به خوبی روشن شده است (۱۸-۲۱) اما ادبیات علمی جامعی در خصوص مطالعه ARDS در انواع متفاوت تمرینات مقاومتی وجود ندارد (۳۳) و بیشتر تحقیقات انجام‌شده به تمرینات هوایی یا سرعتی اختصاص یافته‌اند (۱۸-۲۱)؛ بنابراین، هدف از این تحقیق تعیین تغییرات ظرفیت بافرینگ و لاکتات طی یک دوره تمرینات وزنهبرداری با تنفس ARDS و مقایسه آن با شرایط بدون تغییر ترکیب هوای تنفسی بود. ما فرض کردیم که استفاده

^۱ Henneman
^۲ One-repetition maximum
^۳ Vascular endothelial growth factor
^۴ Carbone dioxide
^۵ Added respiratory dead space

از ARDS و استنشاق غلظت بالای CO₂ طی تمرينات وزنهبرداری بتواند باعث بهبود ظرفیت بافرينگ و افزایش ميزان لاكتات خون شود.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: اين پژوهش يك کار آزمایي کنترل شده تصادفي است که در دانشگاه شهید بهشتی و بر اساس چکليست CONSORT 2012 (CONSORT 2012) انجام شد (۲۸). تصادفي سازی در بلوك‌هایي در توالي های چهارتايی با استفاده از کامپيوتر و به کمک يك دستيار تحقيق بر اساس شاخص توده بدن (BMI) انجام شد. تخصيص‌های درمانی متواли در بسته‌های مهره‌momشده و شماره‌گذاري شده قرار گرفت و پس از ارزیابی اولیه توسط اين دستيار پژوهشی در گروه‌ها توزيع شد. کلیه مراحل نمونه‌گیری، اجرای پروتکل‌های تمرينی و آنالیزهای آماری توسط افراد غير از مجریان طرح انجام شد. ۳۰ مرد با توجه به فراخوان‌هایي که در سطح باشگاه‌های تخصصي وزنهبرداري نصب شده بود، اعلام آمادگی کردند که ۲۰ مرد سالم با توجه به معیارهای ورودی انتخاب شدند. حجم نمونه با استفاده از نرمافزار G*power (نسخه ۳.۱.۹.۲) و بر اساس داده‌های منتشر شده قبلی محاسبه شد. پيش‌بیني شد که حجم نمونه بين ۱۸ تا ۲۰ می‌تواند درصد قدرت آماری با خطای آلفای ۰/۰۵ در مقاييسه تأثير تمرينات با ماسک و لوله نسبت به بدون ماسک و لوله ارائه کند. معیارهای ورود شامل حداقل شش ماه سابقه تمرينات وزنهبرداری، عدم سابقه بيماري مزمن (ديابت، فشارخون بالا، بيماري‌های مزمن ريوی و ...)، عدم سابقه سيگار کشيدن در شش ماه گذشته، عدم آسيب يا عوارض اسكلتي عضلانی و پيروي نکردن از برنامه‌های کاهش وزن يا رژيم غذائي بود. به افراد واحد شرایط در مورد پروتکل تمرين اطلاعات لازم داده شد و در مورد خطرات و مزاياي احتمالي مربوط به مطالعه مطلع شدند. اين مطالعه در تاريخ ۱۴۰۰/۰۸/۲۲ به تاييد کميته اخلاق پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی (IR.SBU.REC.1400.208) رسيده است و داراي کد ثبت کار آزمایي باليني به شماره (IRCT20220620055232N1) نيز هست. آزمودن‌ها بهطور تصادفي و بر اساس BMI (≤ 25) در دو گروه تمرين با ماسک (weightlifting+added respiratory dead space) (۱۰ نفر = تعداد) و گروه تمرين بدون ماسک (weightlifting training) (۱۰ نفر = تعداد) قرار گرفتند (جدول ۱). در نهاييت، داده‌های دو شركت‌كينده که يك نفر به دلایل شخصی در ارزیابی پس‌آزمون شرکت نکرد و يك نفر به تماس‌ها پاسخ نداد، حذف شدند و داده‌های ۱۸ شرکت‌كينده که ارزیابی‌های قبیل و بعد از پروتکل را تكمیل کردند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. معیارهای خروج از تحقیق، آسيب‌های اسكلتي عضلانی، بيماري‌های ريوی عفونی و ويروسی و استفاده از هرگونه دارو بدون اطلاع قبلی بود. علاوه بر اين، اگر آزمودن در بيش از يك سوم از جلسات آموزشی شرکت نمی‌کرد، حذف می‌شد.

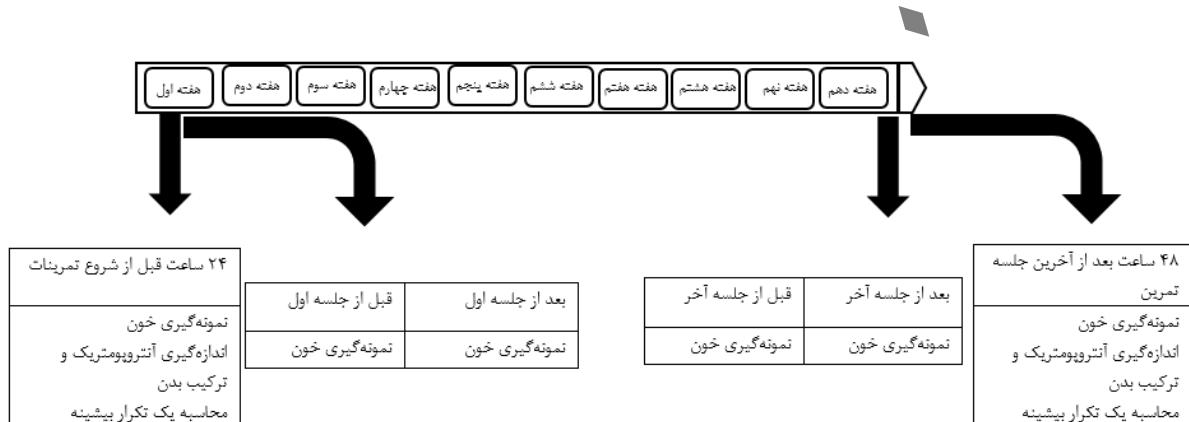
جدول ۱. ویژگی‌های شرکت‌کنندگان

متغيرها	گروه با ماسک (۹ نفر)	گروه بدون ماسک (۶ نفر)	تعداد کل (۱۵ نفر)
سن (سال)	۲۸/۳ ± ۲/۱۷	۲۲/۲ ± ۳/۸۳	۲۸/۲ ± ۳/۰۲
قد (سانتي متر)	۱۷۴/۵ ± ۹/۴۷	۱۷۹/۷ ± ۷/۰۳	۱۷۷/۱ ± ۸/۵۲
BW (Kg)	۷۴/۹ ± ۸/۱۶	۷۷/۸ ± ۸/۴۷	۷۶/۳ ± ۸/۵۴
BMI (Kg/m ²)	۲۴/۵ ± ۱/۵۹	۲۴ ± ۱/۰۷	۲۴/۲ ± ۱/۳۴
BFP (%)	۱۳/۷ ± ۱/۱۱	۱۳/۵ ± ۱/۴۴	۱۳/۶ ± ۱/۲۵

زن بدن، BMI: شاخص توده بدن، BFP: درصد چربی بدن

روش اجرای پژوهش: جهت آشناسازی و هماهنگی با پروتکل تمرينات وزنهبرداری، شركت‌کنندگان به مدت دو هفته و سه جلسه تمرين در هفته تمرينات وزنهبرداری را زير نظر مري انجام دادند، سپس به مدت هشت هفته تمرينات اصلی وزنهبرداری را که شامل حرکات يکضرب سرپا (power snatch)، دو ضرب سرپا با پوش (power clean and push jerk)، يک ضرب تکنيك (squat snatch) و دو ضرب تکنيك با قيچي (squat clean and split jerk) است که در هر جلسه تمرين، دو حرکت از اين چهار حرکت انجام دادند. تعداد جلسات در هفته از سه روز به پنج روز در هفته افزایش یافت. گروه تمرين با ماسک و لوله در تمام طول دوره‌ی تمرين از

ماسک استفاده کردند. ابزاری که باعث افزایش فضای مرده تنفسی می‌شد، ماسک اکسیژن که لوله ونتیلاتور به قطر ۲/۵ سانتی‌متر و طول ۲۰۴ سانتی‌متر برای ارائه ۱۰۰۰ میلی‌لیتر فضای مرده به آن بسته شده بود (۲۹) و توسط گروه WARDS در طول تمرینات از آن استفاده شد. حجم فضای مرده تنفسی برای تمامی شرکت‌کنندگان یکسان بود و با پر کردن ماسک و لوله با آب و سپس انتقال آن به یک استوانه مدرج اندازه‌گیری شد، همان‌طور که توسط Danek و همکاران (۲۰) استفاده شد (۳۰). در کل زمان تحقیق، تغذیه‌آزمودنی‌ها از طریق برنامه غذایی که با توجه به پرسشنامه عادت غذایی و یاد آمد ۲۴ ساعته و همچنین نیازهای تغذیه‌ای آزمودنی‌ها مشخص می‌شود، کنترل شد. طرح کلی تحقیق در شکل ۱ و پروتکل تمرینی در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱. طرح کلی تحقیق

جدول ۲. پروتکل تمرین وزنه برداری

زمان	تعداد جلسات در هفته	نوع فعالیت	شدت (درصد IRM)	تکرار × ست	شدت
RPE)					
همانگی و تمرین	۳	همانگی و تمرین	۸۰	۵ × ۶-۸	۱۴-۱۶
تمرین اصلی	۳	تمرین اصلی	۸۰	۵ × ۶-۸	۱۴-۱۶
تمرین اصلی	۴	تمرین اصلی	۸۰	۵ × ۶-۸	۱۴-۱۶
تمرین اصلی	۵	تمرین اصلی	۸۰	۵ × ۶-۸	۱۴-۱۶

* مقدار IRM آزمودنی‌ها هر دو هفته با انجام تست یک تکرار بیشینه (IRM) سنجیده می‌شود و درصد شدت تمرینات براین اساس محاسبه می‌شود.

RPE: میزان درک فشار

برای برآورد حداکثر قدرت در حرکات یک ضرب و دو ضرب ابتدا آزمودنی با انتخاب وزنه‌های بسیار سیک خود را گرم کرده و سپس طبق برآورد خود آزمودنی وزنه‌ای انتخاب شد که آزمودنی بتواند حداقل یکبار و حداکثر ۱۰ بار آن را به صورت کامل و صحیح بلند کند. با جای‌گذاری مقدار وزنه و تعداد تکرارها در فرمول زیر (فرمول برزیسکی)، قدرت بیشینه آزمودنی در هر حرکت به دست آمد (۳۱).

$$\text{IRM(kg)} = \frac{1}{[1 / 0.278 - (0 / 0.278)]}$$

همچنین ترکیب بدن شرکت کنندگان با استفاده از دستگاه ارزیابی ترکیب بدن (Jawon Medical، کره جنوبی) اندازه‌گیری شد و ارزیابی مهارت وزنه‌برداری در انجام حرکات اصلی توسط مربیان مجبوب تعیین شد. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه مجدداً

اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک در همان شرایط و با همان روش‌ها توسط محقق انجام گردید. به منظور کنترل شدت تمرين از تابلو مقیاس بورگ (۶ تا ۲۰ امتیازی) به منظور اندازه‌گیری میزان RPE در حین فعالیت استفاده شد.

روش‌های آزمایشگاهی: نمونه خون در شش مرحله (۲۴ ساعت قبل از شروع تمرين، یک ساعت قبل و بلافاصله بعد از جلسه اول در هفته اول، یک ساعت قبل و بلافاصله بعد از آخرین جلسه در هفته دهم و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه) در حالت نشسته گرفته شد. برای ارزیابی فاکتورهای CO_2 و HCO_3^- از آزمایش تحلیل گازهای خون شریانی (ABG) و توسط متخصصین آزمایشگاه انجام شد (۳۲). نمونه خون برای آزمایش ABG با استفاده از یک سوزن استریل شماره ۲۵ یا ۲۶ (متصل به سرنگ هپارینه) و ورود آن به داخل یک شریان سطحی رادیال به دست آمد. نمونه خون گرفته شده به سرعت به آزمایشگاه فرستاده شد. برای تجزیه و تحلیل نمونه‌های گاز خون از آنالایزرهای خودکار گاز خون استفاده شد و نتایج در عرض ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به دست آمد (۳۳). برای سنجش سطوح سرمی لاکتات خون از تست‌های آزمایشگاهی و کیت پارس آزمون (ساخت ایران) و دستگاه آتو آنالایزر کوباس میرا (ساخت سوئیس) استفاده گردید، نمونه‌های خونی برای سنجش لاکتات در لوله‌های حاوی هپارین به منظور جلوگیری از لخته شدن نگهداری شد و با سرعت ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و تا زمان آزمایش در دمای ۲۰- درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شد.

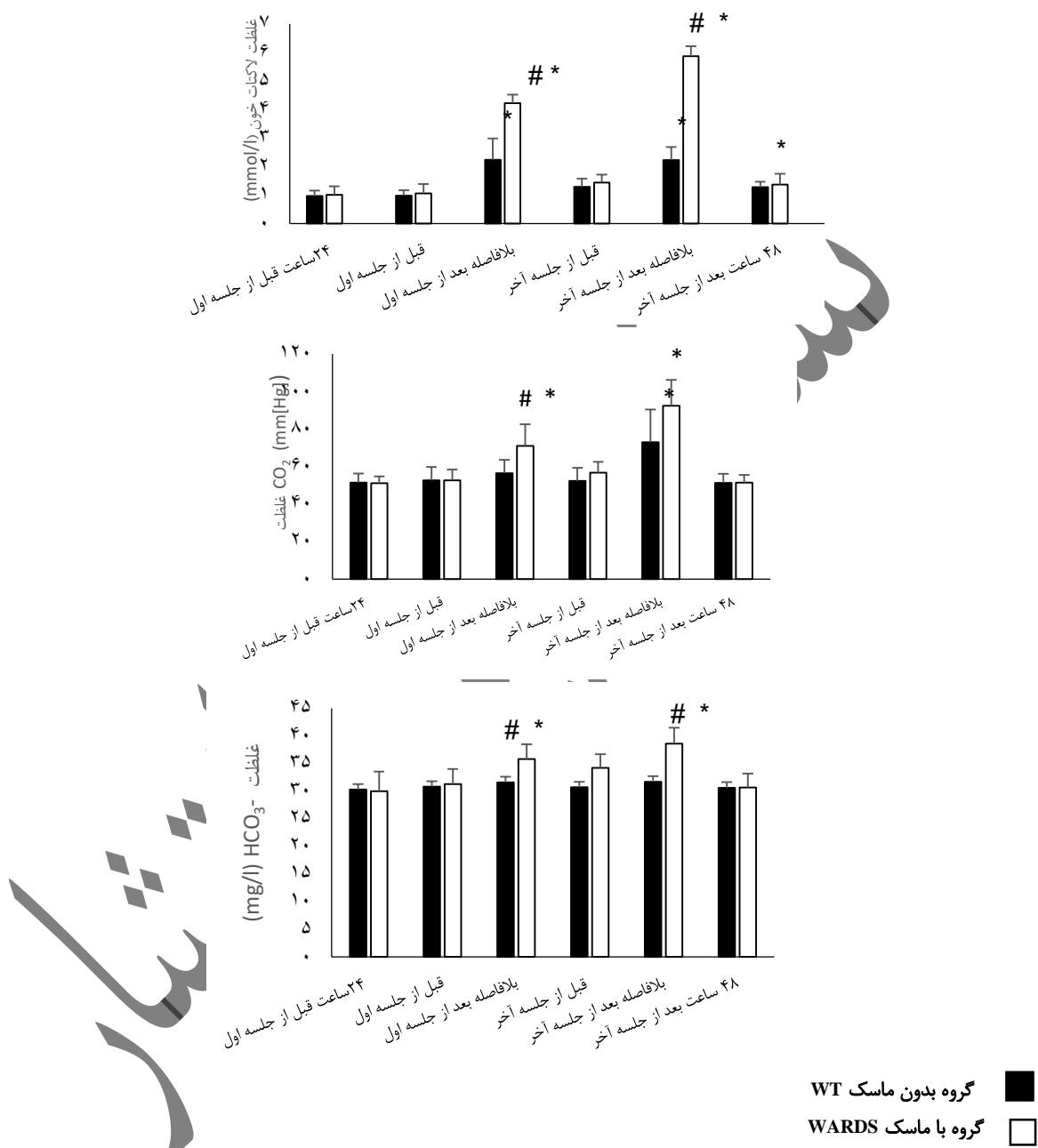
تحلیل آماری: داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 25 (IBM Corp. Armonk, NY, USA) و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شدند. برای توصیف داده‌ها از شاخص‌های آماری میانگین و انحراف استاندارد استفاده شد. جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو- ولیک و برای بررسی تفاوت معنی‌داری بین متغیرهای گروه‌ها از آزمون آنوا مکرر با عامل بین گروهی ω در صورت معنی‌دار شدن تفاوت‌های بین گروهی از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده گردید.

نتایج

نتایج نشان می‌دهد تنفس از طریق لوله و تیوب در شرکت کنندگان بدون شکایت شدید و عوارض جانبی، به خوبی تحمل می‌شود و از این نظر مطالعه دارای مداخله ایمن بود. یک نفر در گروه WARDS و یک نفر در گروه WT در حریان مداخله از پژوهش خارج شدند. تغییرات ترکیب بدن برای ۱۸ شرکت‌کننده که توانستند تحقیق را به پایان برسانند در جدول ۳ و نتایج متغیرهای تحقیق در نمودار ۱ گزارش شده است. نتایج آزمون آنوا مکرر تفاوت معنی‌داری بین دو گروه WARDS و WT در شاخص وزن بدن، ترکیب بدن و درصد چربی بدن نشان نداد. سازگاری ایجاد شده در مقادیر لاکتات ($P=0/005$) در گروه WARDS معنی‌دار بود. تفاوت معنی‌داری بین دو گروه برای HCO_3^- ($P=0/947$) و CO_2 ($P=0/000$) مشاهده نشد. در نتیجه مقایسه پاسخ‌های متغیرهای تمرينی، افزایش معنی‌داری در CO_2 تنها بعد از جلسه اول ($P=0/006$)، لاکتات بعد از جلسه اول و دهم ($P=0/000$) و HCO_3^- بعد از جلسه اول ($P=0/029$) و جلسه دهم ($P=0/045$) در گروه WARDS مشاهده شد.

جدول ۳. نتایج آماری متغیرهای ترکیب بدن در ابتدای جلسه اول و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه

متغیر	گروه	پیش آزمون $X \pm SD$	پس آزمون $X \pm SD$	درصد تغییرات	ارزش P	بین گروهی	درون گروهی
BW (Kg)	WARD	۷۴/۹ \pm ۸/۸۶	۷۶/۴ \pm ۹/۶۳	۲/۰۱	۰/۹۸۳	۰/۷۱۴	۰/۹۷۷
	WT	۷۷/۸ \pm ۸/۴۷	۷۹/۵ \pm ۸/۳۹	۲/۱	۰/۹۷۷		
BMI (Kg/m^2)	WARD	۲۴/۵ \pm ۱/۵۹	۲۵/۰ \pm ۱/۶۲	۱/۹۵	۰/۸۸۳	۰/۵۱۰	۰/۸۴۴
	WT	۲۴/۰ \pm ۱/۰۷	۲۴/۵ \pm ۱/۰۸	۲/۲۰	۰/۸۴۴		
BFP (%)	WARD	۱۳/۷ \pm ۱/۱۱	۱۳/۴ \pm ۰/۹۸	-۲/۴۶	۰/۹۲۹	۰/۹۴۲	۱/۰۰۰
	WT	۱۳/۵ \pm ۱/۴۴	۱۳/۵ \pm ۱/۲۲	-۰/۲۹	۱/۰۰۰		



شکل ۱. تغییرات غلظت لاكتات، CO_2 و HCO_3^- بعد از تمرینات WARDs نسبت به تمرینات WT. *تغییرات درون گروهی، # تغییرات بین گروهی ($P \leq 0.05$).

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیقی حاضر برای اولین بار بررسی اثرات ۱۰ هفته تمرین وزنه برداری با روش ARDS در جهت افزایش ظرفیت بافرینگ و لاكتات وزنه برداران جوان را مورد بررسی قرار داد. نتایج بیانگر آن بود که روش به کار رفته منجر به بهبود ظرفیت بافرینگ و تاخیر در اسیدوز می‌شود و همان‌طور که انتظار می‌رفت افزایش میزان CO_2 تنفسی در حین تمرینات وزنه برداری، سبب افزایش

HCO_3^- و CO_2 خون شد که بیانگر افزایش ظرفیت بافرینگ در گروه WARDS است. همچنین بهبود ظرفیت بافرینگ سبب افزایش میزان لاكتات گردید. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تمرین وزنه‌برداری با روش ARDS ممکن است یک روش تمرینی بسیار مؤثر و کارآمد باشد که می‌تواند به ورزشکارانی که به دنبال سود بردن از نتایج حاصل از آن نظیر هایپرتروفی و بهبود عملکرد هستند، کمک کند.

Zatoń و همکاران (۲۰۲۰)، آزمودنی‌ها تحقیق را با استفاده از روش ARDS طی نه روز و به مدت ۱۰ دقیقه فعالیت دوچرخه‌سواری بر روی یک دوچرخه ارگومتر انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده افزایش فشار CO_2 شریانی و کاهش pH بود. به دلیل افزایش سطح CO_2 در لوله و آلولوں‌ها، انتشار CO_2 از خون به آلولوں سرکوب شده و باعث افزایش فشار CO_2 خون می‌شود؛ درنتیجه، شیب فشار CO_2 بین خون و آلولوں کاهش می‌یابد و منجر به افزایش CO_2 خون می‌شود (۳۴). در تحقیق Danek و همکاران (۲۰۲۰) با افزایش میزان CO_2 با روش ARDS، میانگین pH خون کاهش و غلظت CO_2 و HCO_3^- افزایش یافت (۳۴). در این مطالعه، نویسنده‌گان انتظار افزایش بیشتری در CO_2 در مقایسه با سایر مطالعاتی داشتند که از ARDS با حجم کمتر (۶۰۰-۵۰۰ میلی‌لیتر) استفاده کردند و اظهار داشتند که این افزایش ناچیز ممکن است به دلیل تفاوت در میزان تلاش افراد، تحمل فردی به CO_2 ، ظرفیت حیاتی ریه‌ها و حساسیت کمتر گیرنده‌های شیمیایی برای تحریک پاسخ تهویه و حذف CO_2 باشد (۳۵). در تحقیق ما حجم ARDS بیشتر (۱۰۰۰ میلی‌لیتر) بود که در تمرینات وزنه‌برداری المپیکی (با توجه به ویژگی این رشته به عنوان یک فعالیت شدید) مورد استفاده قرار گرفت، بنابراین به‌نظر می‌رسد آزمودنی‌ها حداکثر تلاش خود را به کار بردند و تحمل بالایی نسبت به CO_2 نشان دادند؛ چراکه سطوح CO_2 و HCO_3^- در پاسخ به تمرینات وزنه‌برداری در هر دو گروه بالا بود.

یکی دیگر از اهداف مطالعه حاضر بررسی ظرفیت بافرینگ با استراتژی ARDS بود. در واقع هدف از افزایش CO_2 ، تقویت سیستم بافرینگ و افزایش تحمل شدت تمرینات است. سیستم بافر بی‌کربنات، ساز و کار مهمی است که سلول‌ها از آن برای افزایش ظرفیت بافرینگ استفاده می‌کنند (۳۶)؛ همانطور که قبل از این شد، دنبال افزایش CO_2 تنفسی، مقدار HCO_3^- افزایش می‌یابد (۳۵) و به دفع H^+ تولید شده از عضلات کمک می‌کند (۲۸)؛ بنابراین افزایش HCO_3^- می‌تواند منبع سازگاری باشد و منجر به تاخیر در اسیدوز شود، همچنین می‌تواند برای تنظیم pH و توسعه تولید انرژی از طریق متابولیسم بی‌هوایی مفید باشد (۳۱). در تحقیق Danek و همکاران (۲۰۲۰) اجرای فعالیت رکاب زدن بر روی دوچرخه ارگومتر با استراتژی ARDS سبب افزایش میزان HCO_3^- گردید و افراد توانستند میزان کار را بدون خستگی بیشتر افزایش دهند (۳۴) که مشابه نتایج تحقیق ما بود. در تحقیق حاضر میزان HCO_3^- در گروه WARDS بعد از جلسه اول (۱۴/۲۵٪) و جلسه دهم (۱۲/۹٪) افزایش یافته بود و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه همواره در سطح بالاتری نسبت به گروه WT بود (۲۰/۹٪).

نتایج پژوهش حاضر بیانگر افزایش معنی‌دار میزان لاكتات در گروه WARDS نسبت به گروه WT بلافاصله بعد از جلسه اول (۲۹/۰٪) و جلسه دهم (۳۰/۷٪) بود. متغیر لاكتات ۴۸ ساعت بعد از تمرین همواره دارای سطح بالاتری نسبت به قبل از تمرین در گروه WARDS (۳۵/۶٪) بود. علیرغم اینکه لاكتات اغلب به عنوان متابولیت نهایی مسیر گلیکولیتیک در نظر گرفته می‌شود (۳۷)، باید بیش از یک محصول گلیکولیز در نظر گرفته شود؛ در واقع لاكتات می‌تواند منجر به راهاندازی سیگنال‌های مختلفی شود. در تحقیق Rios و همکاران (۲۰۲۱) غلظت لاكتات خون در ۳۲ ورزشکار وزنه‌بردار ارزیابی شد. میانگین غلظت لاكتات، ۲۲/۴۶ میلی‌گرم در دسی‌لیتر برای ورزشکاران در حالت استراحت و به طور متوسط ۹۸/۳۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر در غلظت نهایی، پس از تمرینات شدید به دست آمد و بیان کردند که غلظت لاكتات طی تمرینات وزنه‌برداری افزایش می‌یابد (۳۸). در تحقیقات Hartono و همکاران (۲۰۱۷) از مکمل بی‌کربنات سدیم برای افزایش سیستم بافرینگ استفاده شد. بی‌کربنات سدیم با افزایش ظرفیت بافرینگ، محیط داخل سلولی را تغییر می‌دهد و جریان خون لاكتات و H^+ را از سلول‌ها افزایش می‌دهد و با کاهش سطح H^+ و لاكتات در عضله، اثر منفی کاهش pH داخل سلولی را بر گلیکولیز عضلانی به تعویق می‌اندازد. با دفع بهتر H^+ ناشی از متابولیسم بی‌هوایی، ورزشکاران فعالیت بی‌هوایی را برای مدت طولانی‌تری انجام خواهند داد (۳۹). نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق Hartono مطابقت داشت که در گروه WARDS افزایش CO_2 (۱۲/۹٪)

و ($\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{O}$) منجر به افزایش (۳۰٪/۶۳٪) مقادیر لاكتات شد. به طور مشابه در تحقیق Benjamin و همکاران (۲۰۱۳) بیان شده است که افزایش pH درون سلولی یکی از دلایل اصلی خستگی عضلات اسکلتی محسوب می‌شود و نشان دادند افزایش مشاهده شده در شاخص‌های بی‌کربنات و ظرفیت بافرینگ، با توانایی دفع H^+ بیشتر سبب شده ورزشکاران تکرارهای بیشتری را در شدت‌های بالاتر انجام دهند (۴۰٪). با توجه به ماهیت شدید تمرینات وزنه برداری (۶٪ آزمودنی‌ها در مطالعه حاضر نیز توانستند جلسات تمرینی خود را از سه روز به پنج روز در هفته افزایش دهند و به نظر می‌رسد افزایش ظرفیت بافرینگ و دفع H^+ علت این امر بوده است.

استفاده از ARDS با حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در طی تمرینات وزنه برداری یک روش ساده برای بهبود ظرفیت بافرینگ و افزایش لاكتات است. جلسات تمرینی وزنه برداری با استراتژی ARDS دشوارتر تلقی نمی‌شوند و می‌توانند جایگزینی برای پروتکل‌های تمرینی شناخته شده ارائه دهند و ورزشکاران از سازگاری‌های حاصل از آن‌ها در جهات مختلف نظیر هایپرترووفی، و بهبود عملکرد بهره ببرند. از آنجایی که تحقیق حاضر به بررسی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر فضای مرده تنفسی افزایش یافته پرداخته است، دستکاری سایر پارامترهای دستگاه اعمال شده نظیر قطر لوله و یا طول لوله برای بررسی نتایج بهتر، پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

از تمامی شرکت‌کنندگان در پژوهش که کمال همکاری را با پژوهشگران و عوامل اجرایی داشتند، قدردانی می‌شود.

حامی/حامیان مالی

مقاله حاضر حاصل رساله دکتری دانشگاه شهید بهشتی است و در بخشی با حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور، معاونت علمی ریاست جمهوری انجام شده است.

مشارکت نویسنده‌گان

نویسنده‌گان اول و دوم در طرح موضوع، مفاهیم و مقدمات، نویسنده اول در فرایند میدانی تحقیق و نظارت مشارکت داشته‌اند. نوشتار و اصلاح توسط هر سه نویسنده مقاله انجام گرفته است.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافعی در خصوص این مقاله وجود ندارد.

منابع

- .۱ Hausenblas HA, Fallon EA. Exercise and body image: A meta-analysis. Psychology and health. 2006;21(1):33-47.
- .۲ Wolfe RR. The underappreciated role of muscle in health and disease. The American journal of clinical nutrition. 2006;84(3):475-82.
- .۳ الباجلان مع، دیار، زاده ر، ناصر، وطنی شا. پاسخ‌های هایپرترووفی و هورمونی به یک جلسه تمرین مقاومتی با دو بروتکل متفاوت در مردان دونده سرعتی. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۳-۲۰۲۳:۱.

- .۴ Kurobe K, Huang Z, Nishiwaki M, Yamamoto M, Kanehisa H, Ogita F. Effects of resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength. *Clinical physiology and functional imaging*. 2015;35(3):197-202.
- .۵ Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*. 2002;34(2):364-80.
- .۶ Garhammer J. Power production by Olympic weightlifters. *Medicine and science in sports and exercise*. ۱۹۸۰-۱۹۸۴;(1)۱۲;۱۹۸۰.
- .۷ Gupta S, Goswami A. Blood lactate concentration at selected of olympic modes weightlifting. *Indian J Physiol Pharmacol*. 2001;45(2):239-44.
- .۸ Nalbandian M, Takeda M. Lactate as a signaling molecule that regulates exercise-induced adaptations. *Biology*. 2016;5(4):38.
- .۹ زاده م، فقانه، بیژه، معظمی، نور شاهی. تأثیر هشت هفته تمرین هوایی بر عامل رگزایی و ترکیب بدن در زنان دارای اضافه وزن. *نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی*. ۱۳۶۵;۲۰(۲):۷۴-۹.
- .۱۰ Ghani QP, Wagner S, Becker HD, Hunt TK, Hussain MZ. Regulatory role of lactate in wound repair. *Methods in enzymology*. 2004;381:565-75.
- .۱۱ Constant JS, Feng JJ, Zabel DD, Yuan H, Suh DY, Scheuenstuhl H, et al. Lactate elicits vascular endothelial growth factor from macrophages: a possible alternative to hypoxia. *Wound Repair and Regeneration*. 2000;8(5):353-60.
- .۱۲ Beckert S, Farrahi F, Aslam RS, Scheuenstuhl H, Königsrainer A, Hussain MZ, et al. Lactate stimulates endothelial cell migration. *Wound repair and regeneration*. 2006;14(3):321-4.
- .۱۳ Formby B, Stern R. Lactate-sensitive response elements in genes involved in hyaluronan catabolism. *Biochemical and biophysical research communications*. 2003;305(1):203-8.
- .۱۴ Hunt TK, Aslam R, Hussain Z, Beckert S. Lactate, with oxygen, incites angiogenesis. *Oxygen Transport to Tissue XXIX*. 2008;73-80.
- .۱۵ Liu Q, Berchner-Pfannschmidt U, Möller U, Brecht M, Wotzlaw C, Acker H, et al. A Fenton reaction at the endoplasmic reticulum is involved in the redox control of hypoxia-inducible gene expression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2004;101(12):4302-7.
- .۱۶ Oishi Y, Tsukamoto H, Yokokawa T, Hirotsu K, Shimazu M, Uchida K, et al. Mixed lactate and caffeine compound increases satellite cell activity and anabolic signals for muscle hypertrophy. *Journal of applied physiology*. 2015;118(6):742-9.
- .۱۷ Østergaard L, Kjær K, Jensen K, Gladden L, Martinussen T, Pedersen PK. Increased steady-state and larger O₂ deficit with CO₂ inhalation during exercise. *Acta Physiologica*. 2012;204(3):371-81.
- .۱۸ 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. *Journal of sports science & medicine*. 2016;15(2):379.
- .۱۹ Barbieri JF, Gáspari AF, Teodoro CL, Motta L, Castaño LAA, Bertuzzi R, et al. The effect of an airflow restriction mask (ARM) on metabolic, ventilatory, and electromyographic responses to continuous cycling exercise. *PLoS One*. 2020;15(8):e0237010.
- .۲۰ Szczepan S, Michalik K, Borkowski J, Zatoń K. Effects of swimming with added respiratory dead space on cardiorespiratory fitness and lipid metabolism. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2020;19(1):95.
- .۲۱ Szczepan S, Danek N, Michalik K, Wróblewska Z, Zatoń K. Influence of a six-week swimming training with added respiratory dead space on respiratory muscle strength and pulmonary function in recreational swimmers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(16):5743.
- .۲۲ Kato T, Tsukanaka A, Harada T, Kosaka M, Matsui N. Effect of hypercapnia on changes in blood pH, plasma lactate and ammonia due to exercise. *European journal of applied physiology*. 2005;95(5):400-8.
- .۲۳ Michalik K, Zalewski I, Zatoń M, Danek N, Bugajski A. High intensity interval training with added dead space and physical performance of amateur triathletes. *Pol J Sports Med*. 2018;34:247-55.

- .۲۴ Toklu A, Kayserilioğlu A, Ünal M, Özer S, Aktaş S. Ventilatory and metabolic response to rebreathing the expired air in the snorkel .International journal of sports medicine. 2003;24(03):162-5.
- .۲۵ Moosavi SH, Guz A, Adams L. Repeated exercise paired with “imperceptible” dead space loading does not alter V'_{e} of subsequent exercise in humans. Journal of Applied Physiology. 2002;92(3):68-1159:
- .۲۶ Khayat RN, Xie A, Patel AK, Kaminski A, Skatrud JB. Cardiorespiratory effects of added dead space in patients with heart failure and central sleep apnea. Chest. 2003;123(5):1551-60.
- .۲۷ Samuel R. A Graphical Tool for Arterial Blood Gas Interpretation using Standard Bicarbonate and Base Excess. Indian J Med Biochem. 2018;22(1):85-9.
- .۲۸ Arthur G, Sudhakar M. Carbon dioxide transport. Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain. 2005;5(6):207-10.
- .۲۹ Medbo J, Tabata I. Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. Journal of Applied Physiology. 1993;75(4):1654-60.
- .۳۰ Saunders B, Sale C, Harris RC, Sunderland C. Effect of sodium bicarbonate and Beta-alanine on repeated sprints during intermittent exercise performed in hypoxia. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2014;24(2):196-205.
- .۳۱ Woorons X, Mollard P, Pichon A, Duvallet A, Richalet J-P, Lamberto C. Effects of a 4-week training with voluntary hypoventilation carried out at low pulmonary volumes. Respiratory physiology & neurobiology. 2008;160(2):123-30.
- .۳۲ Hollidge-Horvat M, Parolin M, Wong D, Jones N, Heigenhauser G. Effect of induced metabolic acidosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 1999;277(4):E647-E58.
- .۳۳ Zatoń M, Smołka Ł. Circulatory and respiratory response to exercise with added respiratory dead space. Human Movement. 2011;1(12):88-94.
- .۳۴ Danek N, Michalik K, Smolarek M, Zatoń M. Acute Effects of Using Added Respiratory Dead Space Volume in a Cycling Sprint Interval Exercise Protocol: A Cross-Over Study. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(24):9485.
- .۳۵ Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. Physiological reviews. 2008.
- .۳۶ Lee JY, Alexeyev M, Kozhukhar N, Pastukh V, White R, Stevens T. Carbonic anhydrase IX is a critical determinant of pulmonary microvascular endothelial cell pH regulation and angiogenesis during acidosis. American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology. 2018;315(1):L41-L51.
- .۳۷ Kes MM, Van den Bossche J, Griffioen AW, Huijbers EJ. Oncometabolites lactate and succinate drive pro-angiogenic macrophage response in tumors. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Cancer. 2020;1874(2):188427.
- .۳۸ Ríos DCZ, Miramar AJM, Paz YM, Padilla ICR. Lactate: a biological marker of physical activity in colombian weightlifting athletes. Revista Brasileira de Medicina do Esporte. 2021;27:65-9.
- .۳۹ Hartono S, Sukadiono S. The effects of sodium bicarbonate and sodium citrate on blood pH, HCO_3^- , lactate metabolism and time to exhaustion. Jurnal Sport Mont. 2017;12(1):13-6.
- .۴۰ Carr BM, Webster MJ, Boyd JC, Hudson GM, Scheett TP. Sodium bicarbonate supplementation improves hypertrophy-type resistance exercise performance. European journal of applied physiology. 2013;113(3):743-52.