

Original Article

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

Vahid Rabiei, Mohamad Fashi*

Department of Biological Sciences in Sports and Health, Faculty of Sports and Health Sciences, Shahid Beheshti University, 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. The effect of weightlifting training with added respiratory dead space on buffering capacity and blood lactate of weightlifters. J Sport Exerc Physiol. 2024;17(1):1-?.

*Corresponding Author's 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

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی

۱۴۰۳، دوره ۱۷، شماره ۱

مقاله پژوهشی

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

وحید ربیعی، محمد فشی*

گروه علوم زیستی در ورزش و تندرستی، 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، جایبکه 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 لاکتات خون بود.

مواد و روش‌ها: دو گروه از مردان جوان سالم (سن $14/14 \pm 28/72$ سال و شاخص توده بدن $24/27 \pm 1/34$) 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 به‌تنهایی (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 ۸۰٪ یک تکرار بیشینه و میزان درک فشار ۱۴ تا 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 آنترپومتریکی و نمونه خون برای تعیین سطوح کربن دی اکسید، بیکربنات و لاکتات 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 ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج: تفاوت معنی‌داری بین دو گروه با ماسک و بدون ماسک در شاخص توده بدن ($P=0/510$)، وزن بدن ($P=0/714$)، و درصد چربی بدن ($P=0/942$) مشاهده نشد. سازگاری ایجاد شده در مقادیر دی اکسید کربن خون ($P=0/045$) و لاکتات ($P \leq 0/001$) در گروه با ماسک معنی‌دار بود. تفاوت معنی‌داری بین هر دو گروه برای بیکربنات ($P=0/947$) مشاهده نشد. در نتیجه مقایسه پاسخ‌های متغیرهای تمرینی، افزایش معنی‌داری در دی اکسید کربن تنها بعد از جلسه دهم ($P=0/019$)، لاکتات بعد از جلسه اول و دهم ($P=0/000$) و بیکربنات بعد از جلسه اول ($P=0/029$) و جلسه دهم ($P=0/045$) 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 لاکتات است. جلسات تمرینی وزنه‌برداری با این استراتژی، دشوارتر تلقی نمی‌شوند و می‌توانند جایگزینی برای پروتکل‌های تمرینی شناخته‌شده ارائه دهند تا ورزشکاران از سازگاری‌های حاصل از آن‌ها در جهات مختلف نظیر هایپرتروفی و بهبود عملکرد بهره ببرند.

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

مقدمه

تمرینات مقاومتی طولانی مدت باعث افزایش توده عضلانی می‌شوند (۱، ۲). به خوبی روشن است که هایپرتروفی به واسطه تمرین مقاومتی توسط یک آبشار پیچیده از مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیک و کاتابولیک تسهیل می‌شود (۳). مطابق با اصل اندازه‌همن، برای به اوج رساندن هایپرتروفی در تمرینات مقاومتی باید بار زیاد در تمرینات اعمال شدت بیش از ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه (IRM) که در تمرینات وزنه‌برداری مشاهده می‌شود، برای دستیابی به میزان قابل توجه هایپرتروفی لازم است (۴، ۵). تمرینات یک‌ضرب و دوضرب به‌عنوان حرکات اصلی این ورزش، مجموعه‌ای از حرکات کل بدن و چند مفصلی با انقباضات شدت بالا هستند. طی این حرکات، وزنه‌بردار به توان خروجی بی‌نظیری در مقایسه با ورزشکاران رشته‌های دیگر دست‌پیدا می‌کند (۶). سیستم انرژی غالب در این حرکات سیستم فسفاژن است چراکه اجرای یک حرکت ۴-۵ ثانیه طول می‌کشد، اما اجرای ست‌هایی با تکرارهای زیاد از یک حرکت، سیستم گلیکولیز بی‌هوازی را نیز درگیر می‌کند و فواصل استراحتی بین ست‌ها برای دفع کامل لاکتات ناکافی است و بدین ترتیب لاکتات افزایش می‌یابد (۷). همان‌طور که تحقیقات مختلف نشان داده‌اند لاکتات به‌عنوان متابولیت متابولیسم بی‌هوازی (۸) در بدن سیگنال‌های مختلفی را به راه می‌اندازد؛ لاکتات بیان‌کننده نیاز متابولیک است و با تحریک فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF²) سبب مهاجرت سلول‌های اندوتلیالی 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 میوژنز (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 (CO₂) در هوای استنشاقی پرداخته‌اند (۱۷)؛ استفاده از ماسک‌های تمرینی که باعث افزایش مقاومت تنفسی (۱۸، ۱۹) یا افزایش حجم فضای مرده تنفسی (ARDS) (۲۰، ۲۱) می‌شوند. دستگاهی که برای ARDS استفاده می‌شود، یک ماسک و لوله با طول مشخص است، اما درجه‌ای برای 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 CO₂ در خون و آلوتول افزایش می‌یابد که با افزایش مربوطه در مقادیر CO₂ 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 (HCO₃⁻) نیز طی تمرینات ARDS در پی افزایش فشار سهمی CO₂ خون، افزایش می‌یابد؛ واکنشی که توسط کربنیک انیدراز انجام‌شده و CO₂ و آب را به HCO₃⁻ و هیدروژن (H⁺) تبدیل می‌کند (۲۷، ۲۸). سیستم HCO₃⁻ 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 HCO₃⁻ سازگاری ایجاد می‌شود که منجر به بهبود ظرفیت بافرینگ و تاخیر در اسیدوز (۳۰) می‌شود که توانایی تولید انرژی از طریق متابولیسم بی‌هوازی را افزایش می‌دهد (۳۱)؛ در نتیجه توسعه متابولیسم بی‌هوازی طی تمرینات ARDS میزان لاکتات نیز افزایش پیدا می‌کند (۳۱، ۳۲). بنابراین، بررسی تغییرات بافرینگ و غلظت لاکتات در طول یک دوره تمرین وزنه‌برداری ضروری به نظر می‌رسد و باید نتایج با یافته‌های به‌دست‌آمده در شرایط استاندارد مقایسه شود تا مشخص شود که آیا این رویکرد می‌تواند محرک تمرینی قوی‌تری ارائه دهد یا خیر.

با بررسی پیشینه، بهبود ظرفیت هوازی 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 انجام شده به تمرینات هوازی 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 از ARDS و استنشاق غلظت بالای CO₂ طی تمرینات وزنه‌برداری بتواند باعث بهبود ظرفیت بافرینگ و افزایش میزان لاکتات خون شود.

روش پژوهش

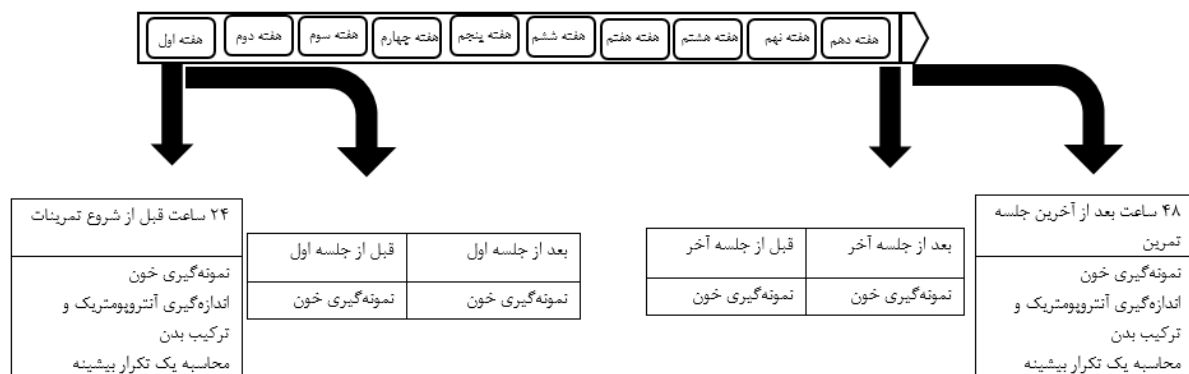
نمونه‌های پژوهش: این پژوهش یک کار آزمایشی کنترل شده تصادفی است که در دانشگاه شهید بهشتی و بر اساس چک‌لیست کانسورت ۲۰۱۲ (CONSORT 2012) انجام شد (۲۸). تصادفی‌سازی در بلوک‌هایی در توالی‌های چهارتایی با استفاده از کامپیوتر و به کمک یک دستیار تحقیق بر اساس شاخص توده بدن (BMI) انجام شد. تخصیص‌های درمانی متوالی در بسته‌های مهروموم شده و شماره‌گذاری شده قرار گرفت و پس از ارزیابی اولیه توسط این دستیار پژوهشی در گروه‌ها توزیع شد. کلیه مراحل نمونه‌گیری، اجرای پروتکل‌های تمرینی و آنالیزهای آماری توسط افراد غیر از مجریان طرح انجام شد. ۳۰ مرد با توجه به فراخوان‌هایی که در سطح باشگاه‌های تخصصی وزنه‌برداری 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. پیش‌بینی شد که حجم نمونه بین ۱۸ تا ۲۰ می‌تواند ۸۰ درصد قدرت آماری با خطای آلفای ۰/۰۵ در مقایسه تأثیر تمرینات با ماسک و لوله نسبت به بدون ماسک و لوله ارائه کند. معیارهای ورود شامل حداقل شش ماه سابقه تمرینات وزنه‌برداری، عدم سابقه بیماری مزمن (دیابتی، فشارخون بالا، بیماری‌های مزمن ریوی و ...)، عدم سابقه سیگار کشیدن در شش ماه گذشته، عدم آسیب یا عوارض اسکلتی عضلانی و پیروی نکردن از برنامه‌های کاهش وزن یا رژیم غذایی بود. به افراد واجد شرایط در مورد پروتکل تمرین اطلاعات لازم داده شد و در مورد خطرات و مزایای احتمالی مربوط به مطالعه مطلع شدند. این مطالعه در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۲۲ به تایید کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی (IR.SBU.REC.1400.208) رسیده است و دارای کد ثبت کار آزمایشی بالینی به شماره (IRCT20220620055232N1) نیز هست. آزمودنی‌ها به‌طور تصادفی و بر اساس BMI (۲۵ ≤ BMI ≤ ۲۰) در دو گروه تمرین با ماسک (weightlifting+added respiratory dead space) (۰ نفر = تعداد) و گروه تمرین بدون ماسک (weightlifting training) (۰ نفر = تعداد) قرار گرفتند (جدول ۱). در نهایت، داده‌های دو شرکت‌کننده که یک نفر به دلایل شخصی در ارزیابی پس‌آزمون شرکت نکرد و یک نفر به تماس‌ها پاسخ نداد، حذف شدند و داده‌های ۱۸ شرکت‌کننده که ارزیابی‌های قبل و بعد از پروتکل را تکمیل کردند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. معیارهای خروج از تحقیق، آسیب‌های اسکلتی عضلانی، بیماری‌های ریوی عفونی و ویروسی و استفاده از هرگونه دارو بدون اطلاع قبلی بود. علاوه بر این، اگر آزمودنی در بیش از یک سوم از جلسات آموزشی شرکت نمی‌کرد، حذف می‌شد.

جدول ۱. ویژگی‌های شرکت‌کنندگان

متغیرها	گروه با ماسک (۹ نفر)	گروه بدون ماسک (۹ نفر)	تعداد کل (۱۸ نفر)
سن (سال)	۲۸/۳ ± ۲/۱۷	۲۲/۲ ± ۳/۸۳	۲۸/۲ ± ۳/۰۲
قد (سانتی‌متر)	۱۷۴/۵ ± ۹/۴۷	۱۷۹/۷ ± ۷/۰۳	۱۷۷/۱ ± ۸/۵۲
BW (Kg)	۷۴/۹ ± ۸/۸۶	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

BW: وزن بدن، BMI: شاخص توده بدن، BFP: درصد چربی بدن

روش اجرای پژوهش: جهت آشناسازی و هماهنگی با پروتکل تمرینی، شرکت کنندگان به مدت دو هفته و سه جلسه تمرین در هفته تمرینات وزنه برداری را زیر نظر مربی انجام دادند، سپس به مدت هشت هفته تمرینات اصلی وزنه برداری را که شامل حرکات یکضرب سرپا (power snatch)، دوضرب سرپا با پوش (power clean and push jerk)، یکضرب تکنیک (squat snatch) و دوضرب تکنیک با فیچی (squat clean and split jerk) است که در هر جلسه تمرین، دو حرکت از این چهار حرکت انجام دادند. تعداد جلسات در هفته از سه روز به پنج روز در هفته افزایش یافت. گروه تمرین با ماسک و لوله در تمام طول دوره تمرین 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 شرکت کنندگان 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 (۲۰۲۰) استفاده شد (۳۰). در کل زمان تحقیق، تغذیه آزمودنی‌ها 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)
هفته اول - دوم	۳	هماهنگی و تمرین	۸۰	۵ × ۶-۸	۱۴-۱۶
هفته سوم-چهارم	۳	تمرین اصلی	۸۰	۵ × ۶-۸	۱۴-۱۶
هفته پنجم-ششم	۴	تمرین اصلی	۸۰	۵ × ۶-۸	۱۴-۱۶
هفته هفتم-دهم	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 یکضرب و دوضرب ابتدا آزمودنی با انتخاب وزنه‌های بسیار سبک خود را گرم کرده و سپس طبق برآورد خود آزمودنی وزنه‌ای انتخاب شد که آزمودنی بتواند حداقل یکبار و حداکثر ۱۰ بار آن را به‌صورت 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).

IRM(kg) = (تعداد تکرارها × ۰/۰۲۷۸ - ۱ / ۰/۲۷۸) / مقدار وزنه (kg)

همچنین ترکیب بدن شرکت کنندگان با استفاده از دستگاه ارزیابی ترکیب بدن (Jawon Medical کره جنوبی) اندازه گیری شد و ارزیابی مهارت وزنه برداری در انجام حرکات اصلی توسط مربیان مجرب تعیین شد. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه مجدداً اندازه گیری های آنترپومتریک در همان شرایط و با همان روش ها توسط محقق انجام گردید. به منظور کنترل شدت تمرین از تابلو مقیاس بورگ (۶ تا ۲۰ امتیازی) به منظور اندازه گیری میزان RPE در حین فعالیت استفاده شد.

روش های آزمایشگاهی: نمونه خون در شش مرحله (۲۴ ساعت قبل از شروع تمرین، 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 CO₂ و HCO₃⁻ 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 نمونه های گاز خون از آنالیزهای خودکار گاز خون استفاده شد و نتایج در عرض ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به دست آمد (۳۳). برای سنجش سطوح سرمی لاکتات خون از تست های آزمایشگاهی و کیت پارس آزمون (ساخت ایران) و دستگاه اتو آنالیزر کوباس میرا (ساخت سوئیس) استفاده گردید، نمونه های خونی برای سنجش لاکتات در لوله های 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- درجه ی سانتی گراد نگهداری شد.

تحلیل آماری: داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 25 (IBM Corp. Armonk, NY, USA) و سطح معنی داری ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شدند. برای توصیف داده ها از شاخص های آماری میانگین و انحراف استاندارد استفاده شد. جهت تعیین نرمال بودن داده ها از آزمون شاپیرو-ویلک و برای بررسی تفاوت معنی داری بین متغیرهای گروه ها از آزمون آنوا مکرر با عامل بین گروهی و در صورت معنی دار شدن تفاوت های بین گروهی از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده گردید.

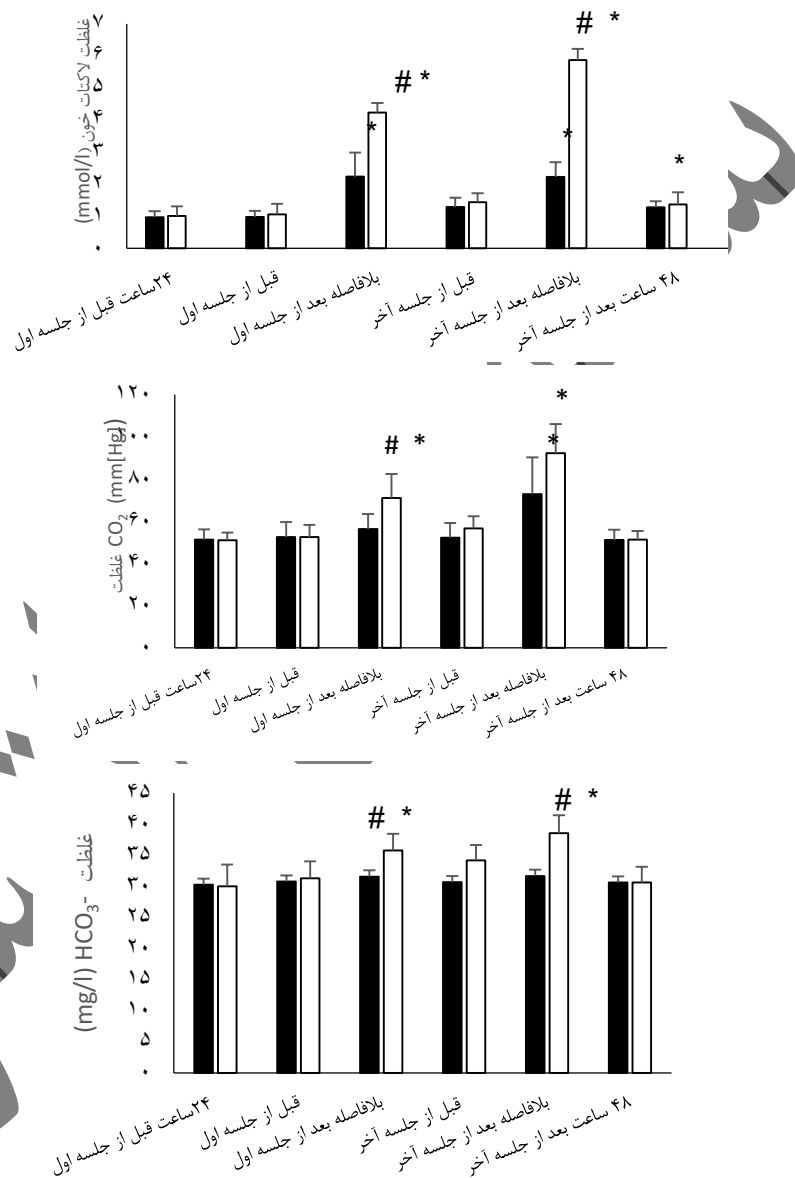
نتایج

نتایج نشان می دهد تنفس از طریق لوله و تیوب در شرکت کنندگان بدون شکایت شدید و عوارض جانبی، به خوبی تحمل می شود و از این نظر مطالعه دارای مداخله ایمن بود. یک نفر در گروه WARDS و یک نفر در گروه WT در جریان مداخله از پژوهش خارج شدند. تغییرات ترکیب بدن برای ۱۸ شرکت کننده 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 معنی داری 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 = ۰/۰۰۵) در گروه WARDS معنی دار بود. تفاوت معنی داری بین دو گروه برای HCO₃⁻ (P = ۰/۹۴۷) و CO₂ (P = ۱/۰۰۰) مشاهده نشد. در نتیجه مقایسه پاسخ های متغیرهای تمرینی، افزایش معنی داری در CO₂ تنها بعد از جلسه اول (P = ۰/۰۰۶)، لاکتات بعد از جلسه اول و دهم (P = ۰/۰۰۰) و HCO₃⁻ بعد از جلسه اول (P = ۰/۰۲۹) و جلسه دهم (P = ۰/۰۴۵) 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±SD	پس آزمون X±SD	درصد تغییرات	ارزش P
BW (Kg)	WARDS	۷۴/۹ ± ۸/۸۶	۷۶/۴ ± ۹/۶۳	۲/۰۱	۰/۹۸۳
	WT	۷۷/۸ ± ۸/۴۷	۷۹/۵ ± ۸/۳۹	۲/۱	۰/۹۷۷

۰/۵۱۰	۰/۸۸۳	۱/۹۵	۲۵/۰ ± ۱/۶۲	۲۴/۵ ± ۱/۵۹	WARDS	BMI (Kg/m ²)
	۰/۸۴۴	۲/۲۰	۲۴/۵ ± ۱/۰۸	۲۴/۰ ± ۱/۰۷	WT	
۰/۹۴۲	۰/۹۲۹	-۲/۴۶	۱۳/۴ ± ۰/۹۸	۱۳/۷ ± ۱/۱۱	WARDS	BFP (%)
	۱/۰۰۰	-۰/۲۹	۱۳/۵ ± ۱/۲۲	۱۳/۵ ± ۱/۴۴	WT	



■ گروه بدون ماسک WT
□ گروه با ماسک WARDS

شکل ۱. تغییرات غلظت لاکتات، CO₂ و HCO₃⁻ بعد از تمرینات WARDS نسبت به تمرینات WT. *تغییرات درون گروهی، # تغییرات بین گروهی (P ≤ ۰/۰۵).

بحث و نتیجه گیری

تحقیقی حاضر برای اولین بار بررسی اثرات ۱۰ هفته تمرین وزنه‌برداری با روش ARDS در جهت افزایش ظرفیت بافرینگ و لاکتات 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 وزنه‌برداری، سبب افزایش CO_2 و HCO_3^- خون شد که بیانگر افزایش ظرفیت بافرینگ در گروه WARDS است. همچنین بهبود ظرفیت بافرینگ سبب افزایش میزان لاکتات 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.

در حین تمرین در شرایط افزایش CO_2 تنفسی، بدن در تلاش است به‌گونه‌ای میزان CO_2 اضافی را حذف کند. در تحقیق 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 آلوئول‌ها، انتشار CO_2 از خون به آلوئول سرکوب شده و باعث افزایش فشار CO_2 خون می‌شود؛ در نتیجه، شیب فشار CO_2 بین خون و آلوئول 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، نویسندگان انتظار افزایش بیشتری در CO_2 در مقایسه با سایر مطالعاتی داشتند که از ARDS با حجم کمتر (۵۰۰-۶۰۰ 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 المپیک (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 شدت تحمل تمرینات است. سیستم بافر بی‌کربنات، ساز و کار مهمی است که سلول‌ها از آن برای افزایش ظرفیت بافرینگ استفاده می‌کنند (۳۶)؛ همان‌طور که قبلاً بیان شد به دنبال افزایش CO_2 تنفسی، مقدار HCO_3^- افزایش می‌یابد (۸، 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 بی‌هوازی 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 بیشتری 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 (۱۲/۹۰٪) افزایش یافته بود و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه همواره در سطح بالاتری نسبت به گروه WT بود (۲/۰۹٪).

نتایج پژوهش حاضر بیانگر افزایش معنی‌دار میزان لاکتات در گروه WARDS نسبت به گروه WT بلافاصله بعد از جلسه اول (۲۹۹/۰۵٪) و جلسه دهم (۳۰۷/۶۳٪) بود. متغیر لاکتات ۴۸ ساعت بعد از تمرین همواره دارای سطح بالاتری نسبت به قبل از تمرین در گروه WARDS (۳۵/۶۴٪) بود. علیرغم اینکه لاکتات اغلب به‌عنوان متابولیت نهایی مسیر گلیکولیتیک در نظر گرفته می‌شود (۳۷)، باید بیش از یک محصول گلیکولیز در نظر گرفته شود؛ در واقع لاکتات می‌تواند منجر به راه‌اندازی سیگنال‌های مختلفی شود. در تحقیق Rios و همکاران (۲۰۲۱) غلظت لاکتات خون در ۳۲ ورزشکار وزنه‌بردار ارزیابی شد. میانگین غلظت لاکتات، ۲۲/۴۶ میلی‌گرم در دسی لیتر برای ورزشکاران در حالت استراحت و به‌طور متوسط ۹۸/۳۰ میلی‌گرم در دسی لیتر در غلظت نهایی، پس از تمرینات شدید به دست آمد و بیان کردند که غلظت لاکتات 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 لاکتات و H^+ را از

سلول‌ها افزایش می‌دهد و با کاهش سطح H^+ و لاکتات در عضله، اثر منفی کاهش PH داخل سلولی را بر گلیکولیز عضلانی به تعویق می‌اندازد. با دفع بهتر H^+ ناشی از متابولیسم بی‌هوازی، ورزشکاران فعالیت بی‌هوازی را برای مدت طولانی‌تری انجام خواهند داد (۳۹). نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق Hartono مطابقت داشت که در گروه WARDS افزایش CO_2 (۱۲/۹۰٪) و HCO_3^- (۷۴/۴۰٪) منجر به افزایش (۳۰۷/۶۳٪) مقادیر لاکتات شد. به‌طور مشابه در تحقیق Benjamin و همکاران (۲۰۱۳) بیان شده است که افزایش pH درون‌سلولی 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 وزنه‌برداری (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 بهتر H^+ علت این امر بوده است.

استفاده از ARDS با حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر در طی تمرینات وزنه‌برداری یک روش ساده برای بهبود ظرفیت بافرینگ و افزایش لاکتات است. جلسات تمرینی وزنه‌برداری با استراتژی ARDS دشوارتر تلقی نمی‌شوند و می‌توانند جایگزینی برای پروتکل‌های تمرینی شناخته‌شده ارائه دهند و ورزشکاران از سازگاری‌های حاصل از آن‌ها در جهات مختلف نظیر هایپرتروفی، 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 اعمال‌شده 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 نویسندگان

نویسندگان 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 منافی 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, ديار, زاده ر, ناصر, وطنی شا. پاسخ‌های هایپرتروفی و هورمونی به یک جلسه تمرین مقاومتی با دو پروتکل متفاوت در مردان دوندۀ سرعتی. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱: ۲۰۲۳-۱۳.
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;۱۲(۱):۵۴-۶۰.
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, فتانه, بیژنه, معظمی, نور شاهی. تأثیر هشت هفته تمرین هوازی بر عامل رگزایی و ترکیب بدن در زنان دارای اضافه وزن. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۶: ۲۰۱۶; ۹(۲): ۱۳۶۵-۷۴.
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.

- 23 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.
- 24 Toklu A, Kayserilioğlu A, Ünal M, Özer Ş, Aktaş Ş. Ventilatory and metabolic response to rebreathing the expired air in the snorkel. *International journal of sports medicine.* 2003;24(03):162-5.
- 25 Moosavi SH, Guz A, Adams L. Repeated exercise paired with “imperceptible” dead space loading does not alter \dot{V}_E of subsequent exercise in humans. *Journal of Applied Physiology.* 2002;92(3):68-73.
- 26 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.
- 27 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.
- 28 Arthurs G, Sudhakar M. Carbon dioxide transport. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain.* 2005;5(6):207-10.
- 29 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.
- 30 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.
- 31 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.
- 32 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.
- 33 Zatoń M, Smółka Ł. Circulatory and respiratory response to exercise with added respiratory dead space. *Human Movement.* 2011;1(12):88-94.
- 34 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.
- 35 Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews.* 2008.
- 36 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.
- 37 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.
- 38 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.
- 39 Hartono S, Sukadiono S. The effects of sodium bicarbonate and sodium citrate on blood pH, HCO₃⁻, lactate metabolism and time to exhaustion. *Jurnal Sport Mont.* 2017;12(1):13-6.
- 40 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.