Journal of Sport and Exercise Physiology
2024, 17(1): 1-13

Orginal Article

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

Vahid Rabiei, Mohamad Fashi*

Department of Biological Sciences in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: Improvements in 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, and blood lactate.

Materials and Methods: Eighteen young healthy males (age, 28.72±14.14 years and body mass index 24.27±1.34 kg/m^2) with at least 6 months experience of weightlifting training, were voluntarily selected and randomly divided into two groups of weightlifting+added respiratory dead space (WARDS, n = 9) and weightlifting training (n = 9). Both groups performed selected weightlifting training three sessions per week in the first to fourth weeks, four sessions per week in the fifth to sixth weeks and five sessions per week in the seventh to tenth weeks at an intensity corresponding to 80% of one-repetition maximum and rate of perceived exertion (RPE) 14 to 16. However, the WARDS group were breathing through a device that increased respiratory dead space volume to 1200-ml during the training. The anthropometric measurements and blood samples were taken before and after the first and last training session to determine carbon dioxide, HCO_3- and lactate levels. For between-group comparisons repeated measures of ANOVA with between-group subjects was used.

Results: No significant difference was observed between the two groups for body mass index (P=0.510), body weight (P=0.714) and body fat percentage (P=0.942). Changes in the CO_2 (P=0.045) and lactate (P≥0.001) levels were significantly different in the mask group compared to non-mask group. No significant difference was observed between the 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 last training session (P=0.019), while, lactate increased after the first and the last training session (P=0.001) and $HCO3^-$ after the first session (P=0.029) and the last training session (P=0.045) in the training group with mask.

Conclusions: 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 tolerance. 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 adaptations in various directions such as hypertrophy, performance improvement.

Keywords: Carbon Dioxide, Bicarbonate, Weightlifting Training, Resistance Training

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 in weightlifters. J Sport Exerc Physiol. 2024;17(1):1-13.

* Corresponding Author Email Address: 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

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
۱۴۰۳، دوره ۱۷، شماره ۱، صفحه‌های ۱-۱۳

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرین وزنه‌برداری همراه با فضای مردهٔ تنفسی افزایش‌یافته بر ظرفیت تامپونی و لاکتات خون وزنه‌برداران

وحید ربیعی، محمد فشی*

گروه علوم زیستی در ورزش، دانشکدهٔ 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، جایی که با استفاده از فضای مردهٔ تنفسی افزایش‌یافته در تمرین استقامتی تأثیرات مفید آن گزارش شده است. با وجود این، به‌کار گرفتن فضای مردهٔ تنفسی افزایش‌یافته در تمرین مقاومتی بررسی نشده است. هدف از این پژوهش بررسی اثر فضای مردهٔ تنفسی افزایش‌یافته در تمرین وزنه‌برداری بر کربن دی‌اکسید، بی‌کربنات و لاکتات خون بود.

مواد و روش‌ها: ۱۸ مرد جوان سالم (سن ۱۴/۱۴ ± ۲۸/۷۲ سال و شاخص تودهٔ بدن ۱/۳۴± ۲۴/۲۷ کیلوگرم بر مترمربع) با کمتر از شش ماه سابقهٔ تمرین وزنه‌برداری، به‌طور داوطلبانه انتخاب و به‌طور تصادفی به دو گروه تمرین وزنه‌برداری + ماسک (۹ نفر) و تمرین وزنه‌برداری به‌تنهایی (۹ نفر) تقسیم شدند. هر دو گروه، تمرین 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 درصد یک تکرار بیشینه و میزان درک فشار ۱۴تا ۱۶ انجام دادند. گروه تمرین با ماسک از طریق دستگاهی تنفس می‌کردند که حجم فضای مردهٔ تنفسی را در طول تمرین به ۱۲۰۰ میلی‌لیتر افزایش می‌داد. اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک و نمونه خون برای تعیین سطوح کربن دی‌اکسید، بی‌کربنات و لاکتات قبل و بعد از جلسه اول و آخر دوره تمرینی گرفته شد. به‌منظور تعیین تفاوت‌های بین گروه‌ها از روش آماری تحلیل واریانس مکرر استفاده شد.

نتایج: تفاوت معناداری بین دو گروه با ماسک و بدون ماسک در شاخص تودهٔ بدن (P=۰/۵۱۰)، وزن بدن (P=۰/۷۱۴) و درصد چربی بدن (P=۰/۹۴۲) دیده نشد. تغییرات ایجادشده در مقادیر دی‌اکسید کربن خون (P =۰/۰۴۵) و لاکتات (P <۰/۰۰۱) در گروه با ماسک معنادار بود. تفاوت معناداری بین هر دو گروه برای بی‌کربنات (P = ۰/۹۴۷) دیده نشد. در نتیجه مقایسهٔ پاسخ‌های متغیرهای تمرینی، افزایش معناداری در دی‌اکسید کربن تنها پس از جلسهٔ آخر(P=۰/۰۱۹)، لاکتات پس از جلسات اول و آخر (P=۰/۰۰۱) و بی‌کربنات پس از جلسات اول (P=۰/۰۲۹) و آخر (P=۰/۰۴۵) در گروه با ماسک دیده شد.

نتیجه‌گیری: استفاده از فضای مردهٔ تنفسی افزایش‌یافته با حجم ۱۲۰۰ میلی‌لیتر طی تمرین وزنه‌برداری روش ساده‌ای برای بهبود ظرفیت بافرینگ و افزایش لاکتات است. جلسات تمرینی وزنه‌برداری با این راهبرد، دشوارتر تلقی نمی‌شوند و می‌توانند جایگزینی برای روش‌های تمرینی شناخته‌شده ارائه دهند تا ورزشکاران از سازگاری‌های برآمده از آن‌ها در جهات مختلف نظیر حجیم‌شدگی و بهبود عملکرد بهره ببرند.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسید کربن، بی‌کربنات، تمرینات وزنه‌برداری، تمرین مقاومتی

نحوه استناد به این مقاله: ربیعی و، فشی م. تأثیر تمرین وزنه‌برداری همراه با فضای مردهٔ تنفسی افزایش‌یافته بر ظرفیت تامپونی و لاکتات خون وزنه‌برداران. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی.۱۴۰۳؛۱۷(۱):۱-۱۳.

* رایانامه نویسنده مسئول: m_fashi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱

مقدمه

تمرین مقاومتی طولانی‌مدت سبب افزایش تودهٔ عضلانی می‌شود (۱، ۲). به‌خوبی روشن است که حجیم‌شدگی عضلانی (هایپرتروفی) به‌واسطهٔ تمرین مقاومتی توسط یک آبشار پیچیده از مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیک و کاتابولیک تسهیل می‌شود (۳). مطابق با اصل اندازهٔ هنمن، برای به اوج رساندن حجیم‌شدگی در تمرین مقاومتی باید بار زیاد در تمرین اعمال شود (۳). شدت بیش از ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه (1RM) که در تمرین وزنه‌برداری دیده می‌شود، برای دستیابی به میزان شایان توجه حجیم‌شدگی لازم است (۴، ۵). تمرین یک‌ضرب و دوضرب به‌عنوان حرکات اصلی این ورزش، مجموعه‌ای از حرکات کل بدن و چندمفصلی با انقباضات شدت بالا هستند. طی این حرکات، وزنه‌بردار به توان خروجی بی‌نظیری در مقایسه با ورزشکاران رشته‌های دیگر دست پیدا می‌کند (۶). دستگاه انرژی برتر در این حرکات دستگاه فسفاژن است، چراکه اجرای یک حرکت ۴-۵ ثانیه طول می‌کشد، اما اجرای نوبت‌هایی با تکرارهای زیاد از یک حرکت، دستگاه گلیکولیز بی‌هوازی را نیز درگیر می‌کند و تناوب استراحتی بین نوبت‌ها برای دفع کامل لاکتات ناکافی است و بدین‌ترتیب لاکتات افزایش می‌یابد (۷). همان‌طورکه پژوهش‌های گوناگون نشان داده‌اند، لاکتات به‌عنوان متابولیت سوخت‌وساز بی‌هوازی (۸) در بدن پیام‌های گوناگونی را به راه می‌اندازد؛ لاکتات بیان‌کنندهٔ نیاز متابولیک است و با تحریک عامل رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) 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 تمرین مقاومتی است (۸) که با تحریک میوژنز (۱۶) و افزایش ترشح تستوسترون (۸)، سبب بهبود حجیم‌شدگی عضلانی می‌شود.

برخی پژوهش‌ها به بررسی تأثیرات تغییر در ترکیب هوای استنشاقی با استفاده از انواع گوناگون مخلوط گازی مانند افزایش میزان کربن دی‌اکسید (CO_2) در هوای استنشاقی پرداخته‌اند (۱۷)؛ استفاده از ماسک‌های تمرینی سبب افزایش مقاومت تنفسی (۱۸، ۱۹) یا افزایش حجم فضای مردهٔ تنفسی (ARDS) (۲۰، ۲۱) می‌شود. دستگاهی که برای ARDS استفاده می‌شود، یک ماسک و لوله با طول مشخص است، اما دریچه‌ای برای افزایش مقاومت تنفسی ندارد. هنگام تنفس از طریق این دستگاه، مقداری هوای بازدمی در این فضا باقی می‌ماند و با هوای تازهٔ دمیده‌شده مخلوط می‌شود. با افزایش حجم فضای مردهٔ تنفسی، فشار سهمی CO_2 در خون و آلوئول افزایش می‌یابد که با افزایش مربوطه در مقادیر CO_2 خون، تهویهٔ ریوی و اسیدوز تنفسی (۲۲) مشخص می‌شود. یافته‌های در دسترس دربارهٔ ARDS این موضوع را تأیید کرده‌اند (۲۶-۲۳). همچنین پژوهش‌ها نشان داده‌اند بی‌کربنات (HCO_3^-) طی تمرین ARDS در پی افزایش فشار سهمی CO_2 خون، افزایش می‌یابد؛ واکنشی که توسط کربنیک انیدراز انجام می‌گیرد و CO_2 و آب را به HCO_3^- و هیدروژن (H^+) تبدیل می‌کند (۲۷، ۲۸). دستگاه HCO_3^-از مهم‌ترین بافرهای شیمیایی خارج‌سلولی است و حدود ۶۲ درصد H^+ را که در طول تمرین شدید وارد خون می‌شود، خنثی می‌کند (۲۹). سازوکارهای احتمالی برای بهبود عملکرد در نتیجهٔ افزایش غلظت بافر خارج‌سلولی، افزایش جریان H^+ از عضلات به خون است (۱۰). با افزایش غلظت HCO_3^- سازگاری ایجاد می‌شود که به بهبود ظرفیت بافرینگ و تأخیر در اسیدوز (۳۰) می‌انجامد که توانایی تولید انرژی از طریق سوخت‌وساز بی‌هوازی را افزایش می‌دهد (۳۱)؛ در نتیجهٔ توسعهٔ سوخت‌وساز بی‌هوازی طی تمرین ARDS میزان لاکتات نیز افزایش پیدا می‌کند (۳۱، ۳۲).

بنابراین بررسی تغییرات بافرینگ و غلظت لاکتات در طول یک دوره تمرین وزنه‌برداری ضروری به‌نظر 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 تمرین ARDS به‌خوبی روشن شده است (۱۸-۲۱)؛ اما ادبیات علمی جامعی دربارهٔ مطالعهٔ ARDS در انواع متفاوت تمرین مقاومتی وجود ندارد (۳۳) و بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده به تمرین هوازی یا سرعتی اختصاص یافته‌اند (۱۸-۲۱)؛ بنابراین هدف از این پژوهش تعیین تغییرات ظرفیت بافرینگ و لاکتات طی یک دوره تمرین وزنه‌برداری با تنفس ARDS و مقایسهٔ آن با شرایط بدون تغییر ترکیب هوای تنفسی بود. گمان بر این بود که استفاده از ARDS و استنشاق غلظت بالای CO_2 طی تمرین وزنه‌برداری بتواند موجب بهبود ظرفیت بافرینگ و افزایش میزان لاکتات خون شود.

روش پژوهش

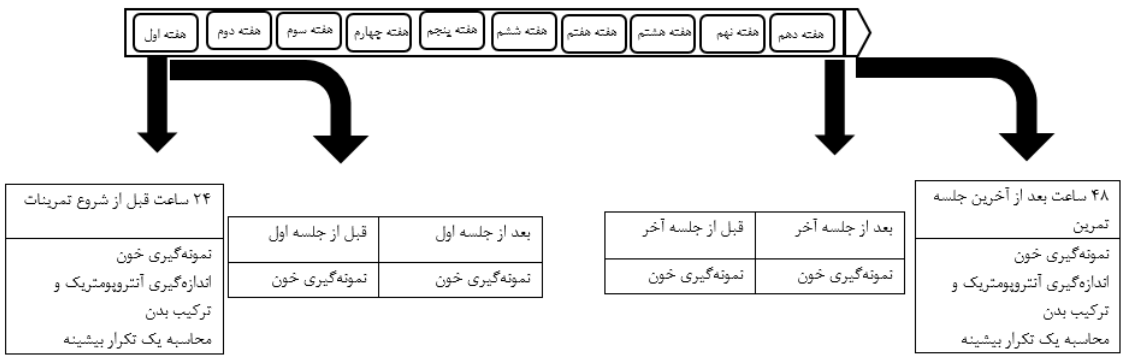
نمونه‌های پژوهش: این پژوهش یک کارآزمایی کنترل‌شدهٔ تصادفی است که در دانشگاه شهید بهشتی و بر پایهٔ سیاههٔ کانسورت ۲۰۱۲ (CONSORT 2012) انجام گرفت (۲۸). تصادفی‌سازی در بلوک‌هایی در توالی‌های چهارتایی با استفاده از رایانه و به کمک یک دستیار پژوهش بر اساس شاخص تودهٔ بدن (BMI) انجام شد. تخصیص‌های درمانی متوالی در بسته‌های مهروموم‌شده و شماره‌گذاری‌شده قرار گرفت و پس از ارزیابی اولیه توسط این دستیار پژوهشی در گروه‌ها توزیع شد. همهٔ مراحل نمونه‌گیری، اجرای روش‌های تمرینی و بررسی‌های آماری توسط افرادی 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 (نسخهٔ ۳.۱.۹.۲) و بر اساس داده‌های منتشرشدهٔ قبلی محاسبه شد. پیش‌بینی شد که حجم نمونهٔ بین ۱۸ تا ۲۰ می‌تواند ۸۰ درصد قدرت آماری با خطای آلفای ۰/۰۵ در مقایسهٔ تأثیر تمرین با ماسک و لوله نسبت به بدون ماسک و لوله ارائه کند. معیارهای ورود شامل دست‌کم شش ماه سابقهٔ تمرین وزنه‌برداری، نداشتن سابقهٔ بیماری مزمن (دیابتی، فشارخون بالا، بیماری‌های مزمن ریوی و ...)، نداشتن سابقهٔ مصرف سیگار در شش ماه گذشته، نداشتن آسیب یا عوارض اسکلتی عضلانی و پیروی نکردن از برنامه‌های کاهش وزن یا رژیم غذایی بود. به افراد واجد شرایط در خصوص روش تمرین اطلاعات لازم داده شد و در زمینهٔ خطرها و مزایای احتمالی مربوط به تحقیق مطلع شدند. این پژوهش در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۲۲ به تأیید کمیتهٔ اخلاق پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی (IR.SBU.REC.1400.208) رسیده است و دارای کد ثبت کارآزمایی بالینی به شمارهٔ (IRCT20220620055232N1) نیز است. آزمودنی‌ها به‌طور تصادفی و بر اساس BMI (۲۰ ≤ BMI ≤۲۵) در دو گروه تمرین با ماسک (weightlifting+added respiratory dead space) (۱۰نفر = تعداد) و گروه تمرین بدون ماسک (weightlifting training) (۱۰نفر = 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 پیش و پس از روش را تکمیل کردند، تجزیه‌وتحلیل شد. معیارهای خروج از پژوهش: آسیب‌های اسکلتی عضلانی، بیماری‌های ریوی عفونی و ویروسی و استفاده از هرگونه دارو بدون اطلاع قبلی بود. افزون بر این، اگر آزمودنی در بیش از یک‌سوم 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)	۲/۱۷ ± ۲۸/۳	۳/۸۳ ± ۲۲/۲	۳/۰۲ ۲۸/۲ ±
قد (سانتی‌متر)	۹/۴۷ ± ۱۷۴/۵	۷/۰۳ ± ۱۷۹/۷	۸ /۵۲ ±۱۷۷/ ۱
BW (Kg)	۸/۸۶ ± ۷۴/۹	۸/۴۷ ± ۷۷/۸	۸/۵۴ ± ۷۶/۳
BMI (Kg/m^2)	۱/۵۹ ± ۲۴/۵	۱/۰۷ ± ۲۴	۱/۳۴ ± ۲۴/۲
BFP (%)	۱/۱۱ ± ۱۳/۷	۱/۴۴ ± ۱۳/۵	۱ /۲۵ ±۱۳/۶

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

روش اجرای پژوهش: به‌منظور آشناسازی و هماهنگی با روش تمرینی، شرکت‌کنندگان به مدت دو هفته و سه جلسه تمرین در هفته تمرین وزنه‌برداری را زیر نظر مربی انجام دادند، سپس به مدت هشت هفته تمرین اصلی وزنه‌برداری شامل حرکات یکضرب‌سرپا (power snatch)، دوضرب‌سرپا با پوش (power clean and push jerk)، یکضرب‌تکنیک (squat snatch) و دوضرب‌تکنیک با قیچی (squat clean and split jerk) را 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 دورهٔ تمرین از ماسک استفاده کردند. ابزاری که سبب افزایش فضای مردهٔ تنفسی می‌شد، ماسک اکسیژن بود که لولهٔ ونتیلاتور به قطر ۲/۵ سانتی‌متر و طول ۲۰۴ سانتی‌متر برای ارائهٔ ۱۰۰۰ میلی‌لیتر فضای مرده به آن بسته شده بود (۲۹) و توسط گروه WARDS در طول تمرین از آن استفاده شد. حجم فضای مردهٔ تنفسی برای تمامی شرکت‌کنندگان یکسان بود و با پر کردن ماسک و لوله با آب و سپس انتقال آن به استوانهٔ مدرج اندازه‌گیری شد، همان‌طورکه توسط دانک و همکاران (۲۰۲۰) استفاده شد (۳۰). در کل زمان پژوهش، تغذیهٔ آزمودنی‌ها از طریق برنامهٔ غذایی که با توجه به پرسشنامهٔ عادت غذایی و یادآمد ۲۴ ساعته و همچنین، نیازهای تغذیه‌ای آزمودنی‌ها مشخص می‌شود، کنترل شد. طرح کلی پژوهش در شکل ۱ و روش تمرینی در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱. طرح کلی پژوهش

جدول۲. روش تمرین وزنه‌برداری

زمان	تعداد جلسات در هفته	نوع فعالیت	شدت (درصد 1RM)	تکرار × ست	شدت (RPE)
هفتهٔ اول - دوم	۳	هماهنگی و تمرین	۸۰	۶-۸ × ۵	۱۴-۱۶
هفتهٔ سوم-چهارم	۳	تمرین اصلی	۸۰	۶-۸ × ۵	۱۴-۱۶
هفتهٔ پنجم-ششم	۴	تمرین اصلی	۸۰	۶-۸ × ۵	۱۴-۱۶
هفتهٔ هفتم-دهم	۵	تمرین اصلی	۸۰	۶-۸ × ۵	۱۴-۱۶

*مقدار 1RM آزمودنی‌ها هر دو هفته با انجام تست یک تکرار بیشینه (1RM) سنجیده شده و درصد شدت تمرین براین اساس محاسبه می‌شود. RPE: میزان درک فشار

برای برآورد بیشینهٔ قدرت در حرکات یک‌ضرب و دوضرب ابتدا آزمودنی با انتخاب وزنه‌های بسیار سبک خود را گرم کرد و سپس طبق برآورد خود آزمودنی وزنه‌ای انتخاب شد که بتواند دست‌کم یک بار یا ۱۰ بار آن را به‌صورت کامل و درست بلند کند. با جای‌گذاری مقدار وزنه و تعداد تکرارها در فرمول زیر (فرمول برزیسکی)، قدرت بیشینهٔ آزمودنی در هر حرکت به‌دست آمد (۳۱):

1RM(kg) =

[(تعداد تکرارها×۰/۰۲۷۸)- ۱/۰۲۷۸]/(kg) مقدار وزنه

ترکیب بدن شرکت‌کنندگان با استفاده از دستگاه ارزیابی ترکیب بدن (Jawon Medical، کرهٔ جنوبی) اندازه‌گیری شد و ارزیابی مهارت وزنه‌برداری در انجام حرکات اصلی توسط مربیان مجرب تعیین شد. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه دوباره اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک در همان شرایط و با همان روش‌ها توسط پژوهشگر انجام گرفت. به‌منظور کنترل شدت تمرین از تابلو مقیاس بورگ (۶ تا ۲۰ امتیازی) به‌منظور اندازه‌گیری میزان RPE هنگام فعالیت استفاده شد.

روش‌های آزمایشگاهی: نمونهٔ خون در شش مرحله (۲۴ ساعت پیش از شروع تمرین، یک ساعت پیش و بلافاصله پس از جلسهٔ اول در هفتهٔ اول، یک ساعت پیش و بلافاصله پس از آخرین جلسه در هفتهٔ دهم و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه) در حالت نشسته گرفته شد. برای ارزیابی عوامل CO_2 و HCO_3^- از آزمایش تحلیل گازهای خون شریانی (ABG) و توسط متخصصان آزمایشگاه انجام شد (۳۲). نمونهٔ خون برای آزمایش ABG با استفاده از سوزن استریل شمارهٔ ۲۵ یا ۲۶ (متصل به سرنگ هپارینه) و ورود آن به داخل یک شریان سطحی رادیال به‌دست آمد. نمونهٔ خون گرفته‌شده به‌سرعت به آزمایشگاه فرستاده شد. برای تجزیه‌وتحلیل نمونه‌های گاز خون از دستگاه خودکار ارزیابی گازهای خونی استفاده شد و نتایج در عرض ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به‌دست آمد (۳۳). برای سنجش سطوح سرمی لاکتات خون از آزمون‌های آزمایشگاهی و کیت پارس‌آزمون (ساخت ایران) و دستگاه آتو آنالایزر کوباس میرا (ساخت سوئیس) استفاده شد، نمونه‌های خونی برای سنجش لاکتات در لوله‌های

حاوی هپارین به‌منظور جلوگیری از لخته شدن نگهداری و با سرعت ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و تا زمان آزمایش در دمای ۲۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد.

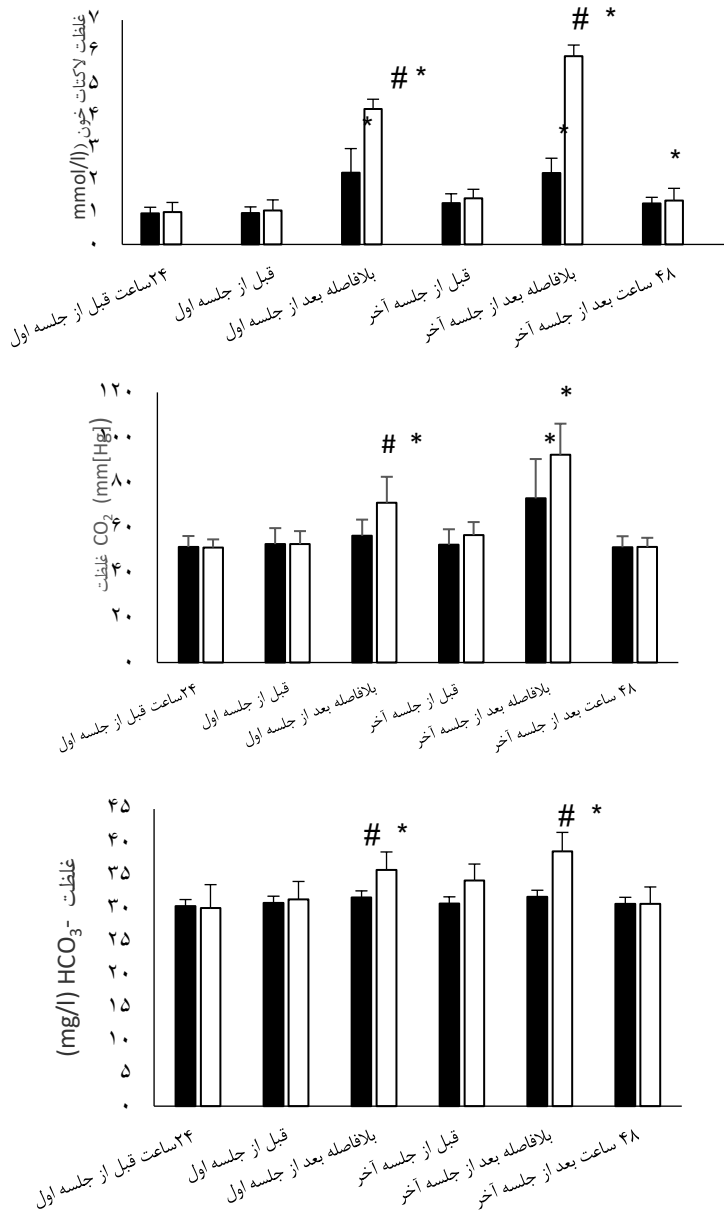
تحلیل آماری: داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 25 (IBM Corp. Armonk, NY, USA) و سطح معناداری ۰/۰۵ تجزیه‌وتحلیل شدند. برای توصیف داده‌ها از شاخص‌های آماری میانگین و انحراف استاندارد استفاده شد. به‌منظور تعیین توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون شاپیرو- ویلک و برای بررسی تفاوت معناداری بین متغیرهای گروه‌ها از آزمون آنووای مکرر با عامل بین‌گروهی و در صورت معنادار شدن تفاوت‌های بین‌گروهی از آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد.

نتایج

نتایج نشان می‌دهد تنفس از طریق لوله و تیوب در شرکت‌کنندگان بدون شکایت شدید و عوارض جانبی، به‌خوبی تحمل می‌شود و از این نظر مطالعه دارای مداخلهٔ 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 شرکت‌کننده که توانستند پژوهش را به پایان برسانند، در جدول ۳ و نتایج متغیرهای پژوهش در نمودار ۱ گزارش شده است. نتایج آزمون آنووای مکرر تفاوت معناداری را بین دو گروه WARDS و WT در شاخص وزن بدن، ترکیب بدن و درصد چربی بدن نشان نداد. سازگاری ایجادشده در مقادیر لاکتات (P = ۰/۰۰۵) در گروه WARDS معنادار بود. تفاوت معناداری بین دو گروه برای HCO_3- (P = ۰/۹۴۷) وCO_2 (P =۱/۰۰۰) دیده نشد. در نتیجهٔ مقایسهٔ پاسخ‌های متغیرهای تمرینی، افزایش معناداری در CO_2 تنها پس از جلسهٔ اول (P=۰/۰۰۶)، لاکتات پس از جلسات اول و دهم (P<۰/۰۰۱; P<۰/۰۰۱) و HCO_3- پس از جلسات اول (P=۰/۰۲۹) و دهم (P=۰/۰۴۵) در گروه WARDS مشاهده شد.

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

متغیر	گروه	پیش‌آزمون X±SD	پس‌آزمون X±SD	درصد تغییرات	ارزش P	
					درون‌گروهی	بین‌گروهی
BW (Kg)	WARDS	۷۴/۹ ± ۸/۸۶	۷۶/۴ ± ۹/۶۳	۲/۰۱	۰/۹۸۳	۰/۷۱۴
	WT	۷۷/۸ ± ۸/۴۷	۷۹/۵ ± ۸/۳۹	۲/۱۸	۰/۹۷۷	
BMI (Kg/m^2)	WARDS	۲۴/۵ ± ۱/۵۹	۲۵/۰ ± ۱/۶۲	۱/۹۵	۰/۸۸۳	۰/۵۱۰
	WT	۲۴/۰ ± ۱/۰۷	۲۴/۵ ± ۱/۰۸	۲/۲۰	۰/۸۴۴	
BFP (%)	WARDS	۱۳/۷ ± ۱/۱۱	۱۳/۴ ± ۰/۹۸	-۲/۴۶	۰/۹۲۹	۰/۹۴۲
	WT	۱۳/۵ ± ۱/۴۴	۱۳/۵ ± ۱/۲۲	-۰/۲۹	۱/۰۰۰	



شکل ۱. تغییرات غلظت لاکتات، CO2 و -HCO3 پس از تمرین WARDS نبست به تمرین WT. *تغییرات درون‌گروهی، # تغییرات بین‌گروهی ($P \leq ۰/۰۵$)

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ۱۰ هفته تمرین وزنه‌برداری با روش ARDS در جهت افزایش ظرفیت بافرینگ و لاکتات وزنه‌برداران جوان انجام گرفت. نتایج بیانگر آن بود که روش به‌کاررفته به بهبود ظرفیت بافرینگ و تأخیر در اسیدوز منجر می‌شود و همان‌طورکه گمان می‌رفت، افزایش میزان CO_2 تنفسی در هنگام تمرین 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 شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تمرین وزنه‌برداری با روش ARDS ممکن است روش تمرینی بسیار مؤثر و کارامدی باشد که می‌تواند به ورزشکارانی که در پی سود بردن از نتایج حاصل از آن نظیر حجیم‌شدگی و بهبود عملکرد هستند، کمک کند.

هنگام تمرین در شرایط افزایش CO_2 تنفسی، بدن در تلاش است به‌گونه‌ای میزان CO_2 اضافی را حذف کند. در پژوهش زاتون و همکاران (۲۰۲۰) آزمودنی‌ها با استفاده از روش ARDS طی نه روز و به مدت ۱۰ دقیقه فعالیت دوچرخه‌سواری روی چرخ کارسنج انجام دادند. نتایج نشان‌دهندهٔ افزایش فشار CO_2 شریانی و کاهش pH بود. به‌دلیل افزایش سطح CO_2 در لوله و آلوئول‌ها، انتشار CO_2 از خون به آلوئول سرکوب شده و سبب افزایش فشار CO_2 خون می‌شود؛ در نتیجه شیب فشار CO_2 بین خون و آلوئول کاهش می‌یابد و به افزایش CO_2 خون منجر می‌شود (۳۴). در پژوهش دانک 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 تحقیق نویسندگان انتظار افزایش بیشتری در CO_2 در مقایسه با سایر تحقیقاتی داشتند که از ARDS با حجم کمتر (۵۰۰-۶۰۰ میلی‌لیتر) استفاده و اظهار کردند که این افزایش ناچیز ممکن است به‌دلیل 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 این پژوهش حجم ARDS بیشتر (۱۰۰۰ میلی‌لیتر) بود که در تمرین وزنه‌برداری المپیکی (با توجه به ویژگی این رشته به‌عنوان یک فعالیت شدید) استفاده شد، بنابراین گمان می‌رود آزمودنی‌ها بیشترین تلاش خود را به‌کار بردند و تحمل بالایی نسبت به CO_2 نشان دادند؛ چراکه سطوح CO_2 و HCO_3^- در پاسخ به تمرین وزنه‌برداری در هر دو گروه بالا بود.

یکی دیگر از اهداف تحقیق حاضر بررسی ظرفیت بافرینگ با راهبرد ARDS بود. در واقع هدف از افزایش CO_2، تقویت دستگاه بافرینگ و افزایش تحمل شدت تمرین است. دستگاه بافر بی‌کربنات، سازوکار مهمی است که سلول‌ها از آن برای افزایش ظرفیت بافرینگ استفاده می‌کنند (۳۶)؛ همان‌طورکه پیشتر بیان شد در پی افزایش CO_2 تنفسی، مقدار HCO_3^- افزایش می‌یابد (۸، ۳۵) و به دفع H^+ تولیدشده از عضلات کمک می‌کند (۲۸)؛ بنابراین افزایش HCO_3^- می‌تواند منبع سازگاری باشد و به تأخیر در اسیدوز منجر شود، همچنین می‌تواند برای تنظیم pH و توسعهٔ تولید انرژی از طریق سوخت‌وساز بی‌هوازی مفید باشد (۳۱). در پژوهش دانک و همکاران (۲۰۲۰) اجرای فعالیت رکاب زدن روی چرخ کارسنج با راهبرد ARDS سبب افزایش میزان HCO_3^- شد و افراد توانستند میزان کار را بدون خستگی بیشتر افزایش دهند (۳۴) که مشابه نتایج این پژوهش بود. در پژوهش حاضر میزان HCO_3^- در گروه WARDS پس از جلسات اول (۱۴/۲۵ درصد) و دهم (۱۲/۹۰ درصد) افزایش یافته بود و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه همواره در سطح بالاتری نسبت به گروه WT بود (۲/۰۹ درصد).

نتایج پژوهش حاضر بیانگر افزایش معنادار میزان لاکتات در گروه WARDS نسبت به گروه WT بلافاصله پس از جلسات اول (۲۹۹/۰۵ درصد) و دهم (۳۰۷/۶۳ درصد) بود. متغیر لاکتات ۴۸ ساعت پس از تمرین همواره دارای سطح بالاتری نسبت به پیش از تمرین در گروه WARDS (۳۵/۶۴ درصد) بود. با 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 به راه‌اندازی مسیرهای پیام‌رسانی

گوناگون منجر شود. در پژوهش ریوس و همکاران (۲۰۲۱) غلظت لاکتات خون در ۳۲ ورزشکار وزنه‌بردار ارزیابی شد. میانگین غلظت لاکتات، ۲۲/۴۶ میلی‌گرم در دسی‌لیتر برای ورزشکاران در حالت استراحت و به‌طور متوسط ۹۸/۳۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر در غلظت نهایی، پس از تمرین شدید به‌دست آمد و بیان کردند که غلظت لاکتات طی تمرین وزنه‌برداری افزایش می‌یابد (۳۸). در پژوهش هاتونو و همکاران (۲۰۱۷) از مکمل بی‌کربنات سدیم برای افزایش دستگاه بافرینگ استفاده شد. بی‌کربنات سدیم با افزایش ظرفیت بافرینگ، محیط داخل‌سلولی را تغییر داده و جریان خون لاکتات و H^+ را از سلول‌ها افزایش می‌دهد و با کاهش سطح H^+ و لاکتات در عضله، اثر منفی کاهش PH داخل‌سلولی را بر گلیکولیز عضلانی به تعویق می‌اندازد. با دفع بهتر H^+ ناشی از سوخت‌وساز بی‌هوازی، ورزشکاران فعالیت بی‌هوازی را برای مدت طولانی‌تری انجام خواهند داد (۳۹). نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق هاتونو مطابقت داشت که در گروه WARDS افزایش (۱۲/۹۰درصد) CO_2 و (۷۴/۴۰ درصد) HCO_3^- به افزایش (۳۰۷/۶۳ درصد) مقادیر لاکتات منجر شد. به‌طور مشابه در پژوهش بنجامین و همکاران (۲۰۱۳) بیان شده است که افزایش pH درون‌سلولی از دلایل اصلی خستگی عضلات اسکلتی محسوب می‌شود و نشان دادند افزایش دیده‌شده در شاخص‌های بی‌کربنات و ظرفیت بافرینگ، با توانایی دفع H^+ بیشتر سبب می‌شود ورزشکاران تکرارهای بیشتری را در شدت‌های بالاتر انجام دهند (۴۰). با توجه به ماهیت شدید تمرین وزنه‌برداری (۶) آزمودنی‌ها در تحقیق حاضر نیز توانستند جلسات تمرینی خود را از سه روز به پنج روز در هفته افزایش دهند و به‌نظر می‌رسد افزایش ظرفیت بافرینگ و دفع بهتر H^+ علت این امر بوده است.

استفاده از ARDS با حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر طی تمرین وزنه‌برداری روش ساده‌ای برای بهبود ظرفیت بافرینگ و افزایش لاکتات است. جلسات تمرینی وزنه‌برداری با راهبرد ARDS دشوارتر تلقی نمی‌شوند و می‌توانند جایگزینی برای روش‌های تمرینی شناخته‌شده ارائه دهند و ورزشکاران از سازگاری‌های حاصل از آن‌ها در جهات مختلف نظیر حجیم‌شدگی و بهبود عملکرد بهره ببرند. از آنجایی که پژوهش حاضر به بررسی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر فضای مردهٔ تنفسی افزایش‌یافته پرداخته است، دستکاری سایر شاخص‌های دستگاه اعمال‌شده نظیر قطر لوله یا طول لوله برای بررسی نتایج بهتر، پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

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

حمایت مالی

مقالهٔ حاضر حاصل رسالهٔ 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 و نویسندهٔ اول در فرایند میدانی تحقیق و نظارت مشارکت داشته‌اند. نوشتار و اصلاح توسط هر سه نویسنده انجام‌گرفته است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی در خصوص این مقاله وجود ندارد.

منابع

1. Hausenblas HA, Fallon EA. Exercise and body image: A meta-analysis. Psychology and health. 2006;21(1):33-47.

2. Wolfe RR. The underappreciated role of muscle in health and disease. The American journal of clinical nutrition. 2006;84(3):475-82.

3. Albajalan D, Rostamzadeh N, Sheikholeslamivatani D. Hypertrophic and hormonal responses to one session of resistance training with two different protocols in men's sprint runner. Journal of Sport and Exercise Physiology.2023;16(2): 1-13. [In persian]

4. 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.

5. 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.

6. Garhammer J. Power production by Olympic weightlifters. Medicine and science in sports and exercise.1980; 12(1);54-60.

7. Gupta S, Goswami A. Blood lactate concentration at selected of olympic modes weightlifting. Indian J Physiol Pharmacol. 2001;45(2):239-44.

8. Nalbandian M, Takeda M. Lactate as a signaling molecule that regulates exercise-induced adaptations. Biology. 2016;5(4):38.

9. Hassanzadeh F, Bizheh N, Moazemi M, Nourshahi M. The effects of eight weeks aerobic training on angiogenes factor and body composition in overweight women. Journal of Sport and Exercise Physiology.2016;9(2):1365-74. [In persian]

10. Ghani QP, Wagner S, Becker HD, Hunt TK, Hussain MZ. Regulatory role of lactate in wound repair. Methods in enzymology. 2004;381:565-75.

11. 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.

12. 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.

13. Formby B, Stern R. Lactate-sensitive response elements in genes involved in hyaluronan catabolism. Biochemical and biophysical research communications. 2003;305(1):203-8.

14. Hunt TK, Aslam R, Hussain Z, Beckert S. Lactate, with oxygen, incites angiogenesis. Oxygen Transport to Tissue XXIX. 2008:73-80.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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 V˙ e of subsequent exercise in humans. Journal of Applied Physiology. 2002;92(3):1159-68.

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, Smołka 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;1(88):287-332.

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.