

Effect of cooling down through hypoxic-hypercapnia and Normoxia on lactate, fatigue and recovery in elite triathletes and swimmers after an exhausting exercise

Vahid Keshavarz Taghvaei¹, Hamid Rajabi^{*1}, Mahdi Goudarzi², Mohammad Ali Gharaat³

1. Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
2. Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
3. Department of Physical Education, Farhangian University, Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: Cooling-down after an intensive physical activity has been studied widely, while evidences about the role of hypoxia in optimal cooling-down are rarely. Present study aimed to compare the effects of cooling-down through hypoxia-hypercapnia or normoxia on concentration of the blood lactate of elite triathletes and swimmers after an exhaustive swimming activity.

Materials and Methods: Ten elite swimmers from the Triathlon and Swimming Men's National Team (at least 3-year professional swimming training; age: 21.4 ± 4.16 years; height: 187.1 ± 6.3 centimeters; weight: 76.3 ± 6.4 Kilograms) randomly put into hypoxia-hypercapnia or normoxia group. The performance included 4×50 meters all-out swimming with 10 seconds rest between the intervals. Afterward, 8-minute active recovery in hypoxia-hypercapnia group and 8-minute active recovery in normoxia group was performed. Blood lactate level (fingertip donation) and Rate of Fatigue (ROF) measured immediately after the performance; and 5 minutes and 8 minutes after the end of recovery period while utilizing cooling-down through hypoxia-hypercapnia or normoxia. Subjects crossed over the protocol a week later by utilizing the other cooling-down protocol. ANCOVA was used to analyze the data in $p \leq 0.5$ significance level.

Results: cooling-down through hypoxia-hypercapnia has significant effect on reducing blood lactate level after 5 and 8 minutes after the end of performance. Also, ROF was significantly lower after 8 minutes in hypoxia-hypercapnia condition.

It can be concluded that cooling-down through hypoxia-hypercapnia positively assists to better recovery after exhaustive swimming activity.

Conclusion: It seems that cooling-down in hypoxia-hypercapnic conditions as a new solution more efficiently effects on recovery. Further studies are needed to understand possible mechanisms of this recovery method.

Keywords: Active cooling- Down, Recovery, Hypoxia, Fatigue, Elite Swimmer

How to cite this article: Keshavarz Taghvaei V, Rajabi H, Goudarzi M, Gharaat M A. Effect of cooling down through hypoxic-hypercapnia and Normoxia on lactate, fatigue and recovery in elite triathletes and swimmers after an exhausting exercise. 2025;18(2):?-?.

*Corresponding Author's E-mail: hrajabi@khu.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.237665.1315>

Received: 22/11/2024

Revised: 07/02/2025

Accepted: 21/02/2025

Copyright: © 2025 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/>).

تأثیر سرد کردن هایپوکسی هایپرکپنی و نورموکسی بر لاکتات، خستگی و بازگشت به حالت اولیه سه‌گانه کاران و شناگران نخبه پس از یک فعالیت وامانده‌ساز

وحید کشاورز تقوایی^۱، حمید رجبی^{۱*}، مهدی گودرزی^۲، محمدعلی قرائت^۳

۱. دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲. گروه تربیت بدنی، دانشگاه پیام نور ساوه، ایران

۳. گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: سرد کردن پس از انجام فعالیت شدید به روش‌های گوناگون بررسی شده است. ولی پژوهش‌های کاربردی پیرامون نقش هایپوکسی در سرد کردن بهینه اندک است. پژوهش حاضر، به بررسی اثر سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی بر غلظت لاکتات خون و میزان خستگی ورزشکاران نخبه سه‌گانه و شنا پس از یک فعالیت وامانده‌ساز پرداخته است.

مواد و روش‌ها: تعداد ۱۰ ورزشکار مرد نخبه سه‌گانه و شنا (دارای حداقل ۳ سال عضویت نیم ملی، سن 21.4 ± 4.16 سال؛ قد $1.87/1 \pm 6/3$ سانتی متر؛ وزن $76/3 \pm 6/4$ کیلوگرم) به صورت در دسترس هدفمند گزینش و بصورت تصادفی در دو جلسه گروه سرد کردن نورموکسی؛ و سرد کردن هایپوکسی هایپرکپنی در آب قرار گرفتند. فعالیت وامانده‌ساز شامل 4×50 متر شنا با حداکثر سرعت با فاصله ۱۰ ثانیه استراحت و سرد کردن نورموکسی (۸ دقیقه استراحت فعال با شنای زیر بیشینه در سطح آب) یا هایپوکسی هایپرکپنی (۸ دقیقه استراحت فعال با شنای زیر سطح آب همراه با حبس نفس) پس از اتمام فعالیت بود. آزمودنی‌ها به صورت متقاطع دو نوع سرد کردن پس از فعالیت وامانده‌ساز را با فاصله یک هفته انجام دادند و پس از یک هفته، روش دیگر را تکرار نمودند. غلظت لاکتات (با برداشت خون از انگشت سیابه) و میزان خستگی (مقیاس ROF) بلافاصله، ۵ دقیقه و ۸ دقیقه پس از سرد کردن اندازه‌گیری شد. از روش آنکوا برای مقایسه گروه‌ها در سطح معناداری $p \leq 0.05$ استفاده شد.

نتایج: اندازه‌گیری لاکتات در زمان‌های ۵ دقیقه و ۸ دقیقه پس از سرد کردن نشان داد که لاکتات هنگام سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی بصورت معنی‌دار کمتر از لاکتات در شرایط نورموکسی بود. همچنین، میزان درک خستگی در ۸ دقیقه پس از فعالیت سرد کردن، در گروه هایپوکسی هایپرکپنی بطور معنی‌دار کاهش برجسته‌تری نسبت به گروه نورموکسی داشت. **نتیجه‌گیری:** به نظر می‌رسد سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی بعنوان یک راهکار جدید تأثیر بیشتری بر بازگشت به حالت اولیه دارد. البته برای نتیجه‌گیری بهتر و همچنین مکانیزم‌های احتمالی برتری این روش، نیاز به مطالعات بیشتر می‌باشد. **واژه‌های کلیدی:** سرد کردن فعال، بازگشت به حالت اولیه، هایپوکسی، خستگی، شناگران نخبه

نحوه استناد به این مقاله: کشاورز تقوایی و، رجیبی ح، گودرزی م ، قرائت م ع. تاثیر سرد کردن هایپوکسی هایپرکپنی و نورموکسی بر لاکتات، خستگی و بازگشت به حالت اولیه سه‌گانه کاران و شناگران نخبه پس از یک فعالیت وامانده ساز. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۲): ۴-۹.

* رایانامه نویسنده مسئول: hrajabi@khu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۳

نسخه پیش انتشار

مقدمه

خستگی در پی تمرین‌های شدید و رقابت‌های پی‌درپی موجب اختلال در سیستم‌های تولید انرژی در بافت‌های محیطی و مرکزی شده و اثرات منفی بر عملکرد بهینه ورزشکاران دارد (۲،۱). با توجه به نوع فعالیت، دلایل متفاوتی برای بروز خستگی بیان شده است. سوخت و ساز ناکامل و بازگشت ناکافی به حالت اولیه در بین تمرین‌ها و یا در میان دو مسابقه پیاپی، بویژه در ورزش‌هایی که نیازمند تکرار چندین وهله فعالیت در طول یک روز هستند سبب افزایش خستگی و کاهش توانایی در انجام فعالیت‌های بعدی خواهد شد (۳). بنابراین، تلاش برای به حداقل رساندن تخلیه زود هنگام منابع انرژی (بهبود کارایی) در هنگام فعالیت و تلاش برای بازسازی منابع انرژی در دوره ریکاوری، برگشت سریع‌تر دمای بدن به حالت اولیه و پالایش سریعتر مواد متابولیتی زاید برای کاهش خستگی ضروری به نظر می‌رسد (۴). بازگشت سریع به حالت اولیه بویژه در ورزشکاران رشته‌های دو و میدانی، شنا، قایقرانی روئینگ، کانوپولو، دوچرخه‌سواری، تکواندو و ورزش‌های مشابه که مجبور به انجام رقابت‌های متوالی در یک روز هستند از اهمیت بالاتری برخوردار است (۵-۸).

از دلایل عمده خستگی دستگاه‌های انرژی بکار گرفته شده، تجمع فرآورده‌های جانبی سوخت و سازی، دستگاه عصبی (خستگی مرکزی) و اختلال در سازوکار انقباض تارهای عضلانی است (۳، ۸). بروز خستگی در فعالیت‌های شدید بی‌هوایی احتمالاً تا حدی ناشی از تجمع فرآورده‌های متابولیتی همچون لاکتات و تجمع H^+ در درون عضلات است (۹، ۱۰).

افزایش اسیدوز در نتیجه فعالیت شدید عضله و در پی ناکافی بودن اکسیژن موجب اختلال در چرخه کربس و زنجیر تنفسی شده و از تولید آدنوزین تری فسفات (ATP) از طریق تجزیه بی‌هوایی گلوکز در فعالیت‌های پر شدت و سریع ممانعت می‌کند (۱۱). لاکتات در سیتوزول با احیای پیرووات و اکسیداسیون همزمان $NADH$ به NAD^+ و تحت عمل آنزیم لاکتات دهیدروژناز ایجاد می‌شود (۱۰). به دلیل حجم و ظرفیت متابولیک بالا، عضلات اسکلتی اصلی‌ترین اندامی هستند که تولید لاکتات هنگام فعالیت و مصرف آنرا پس از اتمام فعالیت بر عهده دارند (۱۲). هر چند لاکتات بطور مستقیم باعث خستگی نمی‌شود، ولی بعنوان یک نشانگر مهم برای تنظیم شدت فعالیت ورزشی محسوب می‌شود و به همین دلیل، در مطالعات خستگی و بازگشت به حالت اولیه مورد توجه قرار گرفته است (۱۲). بنابراین، بررسی تغییرات لاکتات و طراحی برنامه‌های بازگشت به حالت اولیه برای برداشت لاکتات که می‌تواند نشانگر کاهش اسیدوز باشد از اهمیت ویژه برخوردار است.

یکی از روش‌های سنتی در بازگشت به حالت اولیه سریعتر بعد از تمرینات لاکتیکی، استفاده از روش‌های سرد کردن فعال است. در همین راستا، پژوهش‌های بسیاری به نقش موثر بازگشت به حالت اولیه فعال نسبت به غیرفعال، یا انجام فعالیت‌های هوایی سبک پس از فعالیت‌های شدید در برداشت لاکتات اشاره دارند (۱۳-۱۷). همچنین فواید روش‌های نوین سرد کردن مثل هایپوکسی در فشار بالا روی بدن یا نورموکسی بویژه در شرایط مشابه با فعالیت اصلی، در برخی مطالعات گزارش شده است (۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۰). برای نمونه، مطالعات در رشته‌های آبی نشانگر بازگشت به حالت اولیه موثرتر با کمک سرد کردن در آب (با استفاده از دمای آب و فشار آب) است (۲۱-۲۳).

هر چند منطقی به نظر می‌رسد که قرار گرفتن در معرض هایپوکسی (کاهش فشار اکسیژن) بصورت طولانی مدت، باعث سازگاری‌هایی در سیستم انتقال اکسیژن (افزایش ترشح اریتروپویتین از کلیه‌ها و افزایش گلبول‌های قرمز) و بهبود ظرفیت تامپونی عضله می‌گردد (۶، ۱۸، ۲۴) که می‌تواند در تسریع بازگشت به حالت اولیه بعد از یک فعالیت شدید نقش داشته باشد، ولی این تغییرات در پی هایپوکسی در شرایط هایپرکپنی و زیر آب کوتاه‌مدت بعد از فعالیت شدید مورد بررسی قرار نگرفته است. در نگاه اول به نظر می‌رسد که طرح این موضوع بویژه وقتی فقط به هایپوکسی توجه شود، با تردید همراه است، زیرا اکسیژن‌رسانی بیشتر پس از فعالیت شدید برای بازگشت به حالت اولیه، مهم است و به همین دلیل است که بعنوان یکی از راهکارهای ریکاوری مورد توجه قرار گرفته است (۶، ۱۱، ۲۰). بنابراین منطقی است که استفاده از هایپوکسی پس از فعالیت شدید، ریکاوری را مختل کند. اما به نظر می‌رسد اندازه هایپوکسی و روشی که هایپوکسی در دوره بازگشت به حالت اولیه اعمال می‌شود، نکته‌ای است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال وقتی شرایط هایپوکسی با حبس نفس در هنگام فعالیت سبک در آب انجام می‌شود (ترکیب استراحت فعال، هایپوکسی و هایپرکپنی) شاید نتیجه متفاوتی داشته باشد و شاید به همین دلیل بطور تجربی توسط برخی مربیان برای بازگشت بهینه به حالت اولیه مورد استفاده قرار گرفته است، ولی تاکنون دلایل علمی این موضوع و اثبات اثر بخشی آن مورد مطالعه قرار نگرفته است. با توجه به مبانی نظری موجود به نظر می‌رسد این مدل از ریکاوری بدلیل افزایش سطح دی‌اکسید کربن خون و کاهش اکسیژن باید سطح اسیدوز را افزایش دهد و بازگشت به حالت اولیه را مختل کند. اما ورزشکارانی که از این مدل بویژه در زیر آب در قسمت عمیق استخر استفاده کرده‌اند شرایط بهتری را پس از اجرای این راهکار ریکاوری گزارش داده‌اند که شاید بدلیل کم بودن میزان هایپوکسی در این شرایط و زیاد بودن فشار آب روی سطح بدن باشد که جریان خون مرکزی را افزایش می‌دهد و در مجموع، باعث ایجاد شرایط بهتری برای ریکاوری می‌گردد. حال با توجه به ابهام موجود در اثرپذیری سطح لاکتات خون از سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی به عنوان یک روش اعمال هایپوکسی حاد، پژوهش حاضر به بررسی اثر سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی و مقایسه آن با روش نورموکسی بر غلظت لاکتات خون ورزشکاران نخبه سه‌گانه و شنا پس از یک فعالیت وامانده ساز پرداخت.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: در این پژوهش نیمه تجربی کاربردی، ۱۰ نفر از ورزشکاران نخبه رشته‌های سه‌گانه و شنا (۴، ۴، ۱۶ ± ۲۱، ۴ سال؛ قد ۱۸۷/۱ ± ۶/۳ سانتی متر؛ وزن ۷۶/۳ ± ۶/۴ کیلوگرم) بصورت در دسترس و هدفمند انتخاب و بصورت تصادفی متقاطع برای قرار گرفتن در ۲ مداخله سرد کردن نورموکسی (۱۰ نفر)؛ و سرد کردن هایپوکسی هایپرکپنی (۱۰ نفر) تقسیم شدند. انتخاب این تعداد از آزمودنی‌ها با توجه به مقالات مشابه که افراد نخبه (همگن از لحاظ عملکردی) را مورد مطالعه قرار داده بودند، تعیین شد (۷). همچنین، با توجه به محاسبه اولیه، تعداد نمونه آزمون با بکارگیری نرم افزار G*Power مدل ۳،۱ دانشگاه کیل آلمان برآورد شد (۲۵). آزمون آماری ارائه شده توسط کوهن برای اندازه اثر f ، که شامل مقادیر کوچک (۰/۱۰)، متوسط (۰/۲۵) و بزرگ (۰/۴۰) می‌باشد، با در نظر گرفتن سطح معنی‌داری ۰/۰۵، توان آماری (1- β) برابر با ۰/۹۵، و مقدار f برابر با ۰/۴۰، حجم نمونه لازم برای این مطالعه برای هر گروه (هر مداخله) ۸ نفر تخمین زده شد (۲۶). با این وجود، با در نظر گرفتن

امکان خروج آزمودنی‌ها از پژوهش در اجرای فرآیند مطالعه و برای افزایش قدرت آماری پژوهش، اندازه نمونه آماری هر گروه به کلیه نفرات در دسترس یعنی ۱۰ نفر در هر مداخله افزایش یافت. مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های بدنی و سابقه آزمودنی‌ها

رشته ورزشی	تعداد	سن (سال)	قد (cm)	وزن (Kg)	سابقه ورزشی (سال)
شنا	۶	۲۱/۰ ± ۳/۱۲	۱۸۹/۱ ± ۷/۴	۷۴/۹۱ ± ۷/۴	۱۰/۵۱ ± ۲/۷
سه گانه	۴	۲۱/۸ ± ۵/۲۱	۱۸۴/۹ ± ۵/۱	۷۷/۷۳ ± ۵/۵	۹/۶۳ ± ۲/۴
مجموع	۱۰	۲۱/۴ ± ۴/۱۶	۱۸۷/۱ ± ۶/۳	۷۶/۳ ± ۶/۴	۱۰/۰۷ ± ۲/۵

هر چند آزمودنی‌ها از ورزشکاران نخبه (عضو تیم ملی) بودند اما قبل از شروع آزمون، از سلامت آزمودنی‌ها، عدم ابتلا به بیماری‌های خاص قلبی عروقی و عدم محدودیت پزشکی برای انجام فعالیت‌های ورزشی، اطمینان به عمل آمد و جهت رعایت اخلاق پژوهش، فرم رضایت نامه کتبی از همه شرکت کنندگان جهت شرکت در آزمون دریافت شد.

روش اجرای پژوهش: صبح روز قبل از تمرین، داده‌های آنترپومتری قد (توسط متر نواری) و وزن (توسط ترازوی دیجیتال مدل Personal Scale چین) و میزان لاکتات ورزشکاران در حالت استراحت هنگام برخاستن از خواب (لاکتات متر مدل Scout ساخت آلمان) از طریق خون گیری قطره‌ای از انگشت سبابه اندازه‌گیری شد و بعنوان لاکتات پایه ثبت شد. صبح روز بعد، آزمودنی‌های دو گروه در برنامه تمرین وامانده ساز ۴×۵۰ متر شنا با حداکثر شدت و استراحت ۱۰ ثانیه بین تکرارها شرکت کردند. دلیل انتخاب این برنامه تمرینی، متداول بودن این نوع برنامه در روزهای شوک تمرینی و همچنین لاکتات بالای این فعالیت با توجه به مطالعات قبلی بود (۲). رکورد هر ۵۰ متر نیز به صورت جداگانه اندازه گیری و ثبت شد و درصد کاهش عملکرد تکرار چهارم نسبت به تکرار اول نیز محاسبه شد تا از مشابه بودن فشار تمرینی و میزان خستگی در دو جلسه اطمینان حاصل شود. سپس بلافاصله بعد از انجام تمرین وامانده ساز، سطح لاکتات آزمودنی‌ها با برداشت خون از انگشت سبابه اندازه‌گیری شد (لاکتات متر مدل Scout ساخت آلمان). همچنین از آزمودنی‌ها، آزمون شاخص میزان خستگی با توجه به مقیاس ROF بعمل آمد. سپس از آزمودنی‌ها خواسته شد تا طبق گروه‌بندی سردکردن در آب را به روش هایپوکسی هایپرکپنی و نورموکسی انجام دهند. در تمامی مراحل آزمون از کرومومتر Q&Q ساخت کشور ژاپن جهت ثبت رکورد شنای ورزشکاران استفاده شد.

مرحله اول: در این مرحله، پس از اجرای فعالیت شدید و اندازه گیری رکورد شناگران توسط کرومومتر، گروه اول (۵ نفر) به روش نورموکسی (شنای کرال یا قورباغه با نفس گیری آزاد) با شنای ملایم (با شدت ۴۰ تا ۶۰ درصد) در سطح آب و نفس گیری آزادانه به مدت ۸ دقیقه؛ و گروه دوم (۵ نفر) به روش هایپوکسی (حبس نفس) با شنا و سرعت مشابه زیر سطح آب پایین تر از سطح یک و نیم متری، عمل سرد کردن را به مدت ۸ دقیقه انجام دادند. در گروه هایپوکسی هایپرکپنی، در صورت اتمام نفس در هنگام سردکردن، ورزشکار می‌توانست به سطح آب بیاید و با گرفتن نفس، دوباره به ریکاوری فعال خود در زیر آب در عمق یک و نیم متری ادامه دهد. سرعت شنا کردن در مرحله ریکاوری حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد سرعت میانگین شنا در تمرین و در هر دو مرحله مشابه بود. برای تعیین شدت سرد کردن، رکوردهای شنا کردن هر ورزشکار در مسافت طی شده ثبت شد و سرعت میانگین برای هر شناگر تعیین شد. سپس، ۴۰-۶۰ درصد این سرعت بصورت زمان طی کردن مسافت مشخص، در نظر گرفته شد و توسط مربی، بازخورد لازم برای شنا کردن با سرعت مد نظر (برای دستیابی به ۴۰-۶۰ درصد سرعت حداکثر) ارائه گردید. سپس بلافاصله پس از سرد کردن، ۵ دقیقه و ۸ دقیقه پس از سرد کردن با حداقل

مدت ممکن و در شرایط یکسان، لاکتات هر دو گروه آزمودنی با برداشت خون از انگشت سبابه و اندازه‌گیری توسط دستگاه لاکتومتر (مدل Scout) و تست خستگی ROF بعمل آمد. تست ROF شامل ۱۱ نقطه عددی است که از ۰ تا ۱۰ متغیر است و از پنج توصیف کننده و پنج نمودار برای کمک به فرد در درک مقیاس و ایجاد رتبه بهره می برد و قبلاً بعنوان یک ابزار معتبر برای ثبت خستگی در شناگران مورد استفاده قرار گرفته است (۲).

مرحله دوم: یک هفته بعد، روش سردکردن گروه‌ها عوض شد. به این صورت که پس از فعالیت شدید، گروه اول (۵ نفر) به روش هایپوکسی و گروه دوم (۵ نفر) به روش نرموکسی عمل سردکردن یا بازگشت به حالت اولیه را پس از فعالیت وامانده ساز انجام دادند. تست ها و آزمون ها به همان ترتیب مرحله اول و با ابزار مشابه و آزمون گیرنده مشابه از آزمودنی ها گرفته شد.

پروتکل پژوهش حاضر پس از طرح و بررسی در گروه فیزیولوژی ورزش دانشگاه خوارزمی و مطابقت با مقررات اخلاق در پژوهش این دانشگاه، پس از اعمال تغییرات مورد تایید و تصویب قرار گرفت. ضمناً پس از ارائه توضیح کامل و پاسخ به پرسش های احتمالی، از شرکت کنندگان رضایت نامه کتبی شرکت داوطلبانه در پژوهش دریافت شد.

تحلیل آماری: از آمار توصیفی برای تعیین میانگین و انحراف معیار استفاده شد. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها، آزمون لوین برای همسان بودن داده ها، و از آزمون آنکوا برای مقایسه گروه ها استفاده شد. گزارش معناداری داده ها در سطح معناداری (۰/۰۵) استفاده شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزاری SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، بررسی نتایج اجرای ورزشکاران در ۴ اجرای ۵۰ متری نشانگر تجمع خستگی در شناگران با پیشرفت زمان تمرین است. به گونه‌ای که تفاوت معناداری در رکورد اجرای شنا در سومین اجرای چهارمین تا چهارمین اجرای شنا (F=۳/۴۴، P=۰/۰۴) و چهارمین (F=۳/۸۹، P=۰/۰۲) اجرا در هر دو گروه نسبت به اولین اجرا مشاهده شد. این در حالی است که بین اجرای شنای دو گروه در هر یک از مراحل تمرین (مرحله اول تا چهارم) تفاوت معنادار نبود که این موضوع در اولین اجرا، نشانه همگن بودن عملکرد شناگران بود و از دومین اجرا به بعد، فشار مشابه در دو گونه پروتکل‌های اجرا را تایید می کند.

جدول ۲. رکورد میانگین اولین تا چهارمین اجرای شنا (۵۰ متر) در مرحله تمرین

گروه	اولین اجرا (ثانیه)	دومین اجرا (ثانیه)	سومین اجرا (ثانیه)	چهارمین اجرا (ثانیه)	درصد کاهش عملکرد (اجرای چهارم نسبت به اجرای اول)
نورموکسی	۳۲/۹۱ ± ۳/۹۶	۳۴/۲۴ ± ۳/۶۱	۳۵/۹۹ ± ۴/۳۷ *	۳۷/۱۶ ± ۵/۳۶ †*	۳۱/۸۰
هایپوکسی هایپرکپنی	۳۲/۲۱ ± ۳/۷۳	۳۴/۹۶ ± ۳/۸۹	۳۶/۴۰ ± ۴/۲۰ *	۳۷/۶۰ ± ۴/۹۵ †*	۳۱/۰۴

* تغییرات نسبت به اولین اجرا در همان گروه، معنادار است (P ≤ ۰/۰۵).

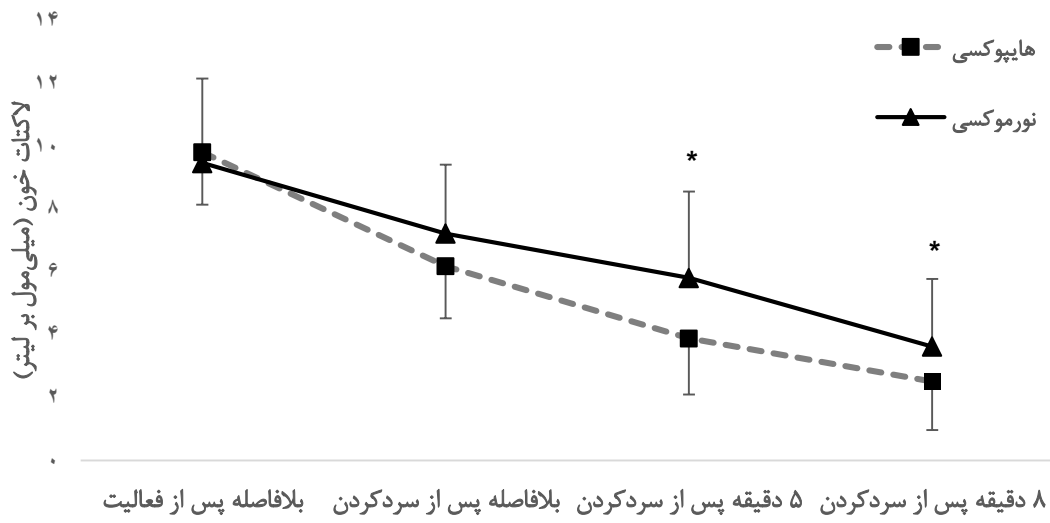
† تغییرات نسبت به دومین اجرا در همان گروه معنادار است (P ≤ ۰/۰۵).

شکل ۱ به ارائه میانگین و انحراف استاندارد لاکتات خون در ۴ مرحله بلافاصله پس از فعالیت، بلافاصله پس از سرد کردن، ۵ دقیقه و ۸ دقیقه پس از سرد کردن در هر دو پروتکل عملکردی گروه‌ها می‌پردازد. ضمن اینکه وجود اختلاف معنادار در سطح معناداری ۰/۰۵ نسبت به سطح لاکتات بلافاصله پس از فعالیت و یا نسبت به لاکتات در شرایط مشابه زمانی با گروه نورموکسی در جدول با علامت ستاره قابل مشاهده است. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان دهنده همگنی داده‌های پژوهش در هر دو مرحله بود. همچنین نتایج آزمون لوین نشان داد تجانس واریانس دو گروه در تمامی مراحل پروتکل تمرینی برقرار است ($F=1/92, P=0/17$).

در بررسی آمار استنباطی، نتایج نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنادار بین میانگین غلظت لاکتات خون پیش از آغاز تمرین (لاکتات پایه) در دو گروه تمرینی بود ($P=0/87$). همچنین، غلظت لاکتات بلافاصله پس از یک فعالیت وامانده‌ساز در دو گروه نورموکسی و هایپوکسی هایپرکپنی تفاوت معناداری نشان نداد ($P=0/63$). ولی بین میزان لاکتات خون دو گروه پس از ۵ دقیقه و ۸ دقیقه سرد کردن نسبت به میزان لاکتات بلافاصله پس از فعالیت، تفاوت معناداری وجود داشت ($F=3/77, P=0/04$). غلظت لاکتات ۵ دقیقه پس از سرد کردن و ۸ دقیقه پس از سرد کردن کاهش معناداری یافته بود (بترتیب $P=0/01$ و $P=0/01$). در گروه نورموکسی نیز، سرد کردن فعال موجب شد غلظت لاکتات پس از ۵ دقیقه سرد کردن نسبت به غلظت لاکتات بلافاصله پس از اتمام فعالیت کاهش معناداری یابد ($P=0/03$). همچنین غلظت ۸ دقیقه پس از سرد کردن کاهش معناداری یافت ($P=0/01$).

در بررسی نتایج بین گروه‌ها، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تاثیر معناداری در کاهش غلظت لاکتات خون نسبت به شرایط ریکاوری نورموکسی داشت ($F=4/67, P=0/03$).

در گروه هایپوکسی، غلظت لاکتات بلافاصله پس از سرد کردن نسبت به غلظت لاکتات بلافاصله پس از اتمام فعالیت کاهش معناداری داشت ($P=0/02$). همچنین شکل ۱ نشان می‌دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تاثیر بیشتر و معناداری در کاهش غلظت لاکتات خون ۵ دقیقه پس از سرد کردن نسبت به شرایط ریکاوری نورموکسی دارد ($F=5/87, P=0/02$). همچنین با توجه به نتایج، در می‌یابیم که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تاثیر بیشتر و معناداری در کاهش غلظت لاکتات خون ۸ دقیقه پس از سرد کردن نسبت به شرایط ریکاوری نورموکسی داشته است ($F=4/10, P=0/03$).



شکل ۱- غلظت لاکتات خون (بر حسب میلی مول بر لیتر) چهار مرحله بلافاصله پس از فعالیت، بلافاصله پس از سرد کردن، ۵ دقیقه و ۸ دقیقه پس از سرد کردن در ۲ گروه هایپوکسی و نورموکسی در شناگران نخبه؛ علامت * نشانگر تغییر معنادار نسبت به گروه نورموکسی است ($P \leq 0.05$).

در بررسی شاخص میزان خستگی بین دو گروه هایپوکسی و نورموکسی، نتایج نشانگر عدم وجود تفاوت معنادار بلافاصله پس از فعالیت وامانده ساز در دو گروه بود. ولی این شاخص در هر یک از مراحل آزمون پس از سرد کردن نسبت به شاخص خستگی بلافاصله پس از فعالیت، تفاوت معناداری داشت ($F=4/56$, $P=0/03$). همانگونه که در جدول ۴ مشاهده می شود، خستگی در گروه هایپوکسی بلافاصله پس از سرد کردن نسبت به بلافاصله پس از اتمام فعالیت کاهش معناداری یافت ($P=0/00$). این شاخص همچنین ۵ دقیقه پس از سرد کردن و ۸ دقیقه پس از سرد کردن کاهش معناداری نسبت به بلافاصله پس از فعالیت نشان داد (بترتیب $P=0/01$ و $P=0/01$). ضمن اینکه تفاوت بین شاخص خستگی بلافاصله پس از سرد کردن با ۵ دقیقه پس از سرد کردن ($P=0/02$) و ۸ دقیقه پس از سرد کردن نیز معنادار بود ($P=0/04$). ولی تفاوت شاخص خستگی بین ۵ دقیقه پس از سرد کردن با ۸ دقیقه پس از سرد کردن معنادار نبود ($P=0/19$).

در گروه نورموکسی نیز، سرد کردن فعال موجب شد شاخص خستگی بلافاصله پس از سرد کردن نسبت به این شاخص بلافاصله پس از اتمام فعالیت کاهش معناداری یابد ($P=0/01$). همچنین میزان خستگی ۵ دقیقه پس از سرد کردن و ۸ دقیقه پس از سرد کردن کاهش معناداری یافت (بترتیب $P=0/02$ و $P=0/02$). در بررسی نتایج بین گروه ها، یافته های پژوهش نشان می دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تاثیر معناداری در کاهش میزان خستگی نسبت به بازگشت به حالت اولیه در شرایط نورموکسی داشته است ($F=3/87$, $P=0/04$).

جدول ۴. شاخص میزان خستگی در مراحل مختلف پس از اجرا و بازگشت به حالت اولیه

شاخص میزان خستگی	مرحله	میانگین و انحراف استاندارد
هایپوکسی	بلافاصله پس از فعالیت	$7/3 \pm 1/0$
	بلافاصله پس از سرد کردن	$4/1 \pm 1/7$ *
	۵ دقیقه پس از سرد کردن	$3/1 \pm 1/6$ *
	۸ دقیقه پس از سرد کردن	$2/3 \pm 1/3$ *
نورموکسی	بلافاصله پس از فعالیت	$7/0 \pm 1/4$
	بلافاصله پس از سرد کردن	$4/7 \pm 1/5$ *
	۵ دقیقه پس از سرد کردن	$3/0 \pm 1/3$ *
	۸ دقیقه پس از سرد کردن	$3/0 \pm 1/3$ *

* تغییر نسبت به شاخص میزان خستگی بلافاصله پس از فعالیت در همان گروه، معنادار است ($P \leq 0/05$).

† تغییر نسبت به شاخص میزان خستگی گروه سرد کردن نورموکسی در همان مرحله معنادار است ($P \leq 0/05$).

جدول ۴ نشان می دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تاثیر معناداری در کاهش درک خستگی بلافاصله پس از سرد کردن نسبت به شرایط ریکاوری نورموکسی داشته است ($P=0/04$). این در حالی است که درک خستگی بین دو گروه بلافاصله پس از فعالیت معنادار نبود ($P=0/03$). همچنین، نتایج نشان می دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تاثیر مثبتی بر کاهش خستگی ۸ دقیقه پس از سرد کردن نسبت به شرایط نورموکسی داشته است ($P=0/03$). ولی تفاوت در شاخص میزان خستگی در ۵ دقیقه پس از سرد کردن بین دو گروه نورموکسی و هایپوکسی معنادار نبود ($P=0/27$).

بحث و نتیجه گیری

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر سرد کردن در آب در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی نسبت به سرد کردن در شرایط نورموکسی بر غلظت لاکتات خون و میزان خستگی ورزشکاران نخبه سه گانه و شنا پس از یک فعالیت وامانده ساز لاکتیکی بود. بررسی رکوردهای ورزشکاران در هر دو جلسه تمرین نشانگر افت مشابه عملکرد آنها همزمان با پیشرفت زمان تمرین بود. این موضوع می تواند تا حدی ایجاد خستگی ناشی از اسیدوز در فعالیت وامانده ساز را تایید کند و بر روند قابل پیش بینی تجمع لاکتات در پی فعالیت های وامانده ساز لاکتیکی همراه با افزایش تعداد تکرارها صحت دارد. بین عملکرد ورزشکاران در دو مرحله از نظر رکورد اولین تا چهارمین اجرای تمرینی ۵۰ متر شنا و الگوی کاهش سرعت شنا در تکرار دوم تا چهارم تغییر معناداری مشاهده نشد. این بدان معنی است که میزان خستگی ایجاد شده در انتهای تمرین در هر دو مرحله تقریباً مشابه بوده و ورزشکاران، فشار کامل را در هر وهله تمرین آورده اند. با وجود افزایش معنادار و چند برابری میزان لاکتات و شاخص خستگی در دو گروه تمرینی بلافاصله پس از اتمام چهارمین وهله تمرین نسبت به حالت استراحت، میزان افزایش در دو گروه تقریباً یکسان بود. از این مجموعه شواهد می توان استنباط نمود که انجام ۴ وهله شنای تناوبی، فشار لازم را برای بالا بردن سطح لاکتات خون و شاخص خستگی تا نزدیک به سطوح واماندگی داشته است و ورزشکاران، دارای پایداری عملکردی هستند که از شاخص های ورزشکاران نخبه می باشد (۱۰، ۱۴).

نتایج بررسی میزان لاکتات و میزان خستگی نشان داد که سرد کردن در هر دو شرایط (استراحت فعال در شرایط هایپوکسی و نورموکسی) باعث کاهش سطوح لاکتات و میزان خستگی می شود، که با توجه به سوابق پژوهشی در خصوص سازوکار اثر بخشی ریکاوری فعال (۱۳، ۱۵، ۱۶) منطقی به نظر می رسد. برای مثال، مونیدرو (۲۰۰۰) در تمرین بیشینه دوچرخه سواری و رمضان پور (۱۳۸۹) در شنا گزارش کردند که سرد کردن فعال اثر مثبتی بر بازگشت به حالت اولیه پس از فعالیت های شدید دارد (۲۷، ۲۸). به هر حال، سرد کردن هایپوکسی هایپرکپنی در پژوهش حاضر تاثیر بیشتری بر کاهش غلظت لاکتات خون نسبت به سرد کردن در شرایط نورموکسی داشت که تسهیل ریکاوری در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی را از نظر پالایش لاکتات نشان می دهد. به هر روی، این پدیده (افزایش پالایش لاکتات) زمانی کاربردی خواهد بود که درک خستگی ورزشکار را نیز کاهش دهد. در پژوهش حاضر، میزان درک خستگی بلافاصله پس از اتمام مرحله سرد کردن فعال و ۸ دقیقه پس از آن نیز در سرد کردن به روش هایپوکسی هایپرکپنی بطور چشمگیری کمتر از سرد کردن به روش نورموکسی بود که مجموعاً سرعت بیشتر بازگشت به حالت اولیه در روش هایپوکسی هایپرکپنی را نشان می دهد.

همراستا با کاهش میزان لاکتات خون پس از هایپوکسی هایپرکپنی در پژوهش حاضر، به نظر می رسد برداشت لاکتات در ساز و کار چرخه کوری که به انتقال اسید لاکتیک از عضلات به کبد، و تبدیل آن به گلوکز با کارکرد آنزیم لاکتات دهیدروژناز حاضر در کبد می انجامد، بعنوان راهی مؤثر در بازیافت منابع انرژی در شرایط سرد کردن هایپوکسی بوده و اکسیداسیون لاکتات به بازیافت منابع کربوهیدرات در حین سرد کردن یاری رسانده است، چون در سرد کردن، شدت تمرین پایین تر از آستانه لاکتات است و تولید لاکتات اندک بوده و از سویی، بدن نیازمند سوخت برای ادامه فعالیت است (۳۰، ۳۱). هر چند سازوکار برتری محیط هایپوکسی در برنامه سرد کردن فعال بدرستی مشخص نشده، اما چندین سازوکار را می توان با احتیاط مطرح کرد. به نظر می رسد در سرد کردن به روش هایپوکسی با شنای زیر سطح آب، گردش خون ایجاد شده در عضلات در پی فعالیت سبک زیر

سطح آب موجب تولید میزان لاکتات کمتر از تولید دی‌اکسیدکربن شود. همچنین این امر می‌تواند موجب برداشت سریع‌تر لاکتات از خون شود (۳۲). افزون بر این، به نظر می‌رسد در گروه هایپوکسی هایپرکپنی، گردش خون در سطح پوست ورزشکار بدلیل وجود فشار آب بر روی پوست در عمق یک و نیم متری آب کاهش یافته و خون بیشتری به سمت عضله، کبد، کلیه و قلب (افزایش جریان خون مرکزی) هدایت می‌شود (۳۳). بر این اساس، خون در دسترس عضله و دیگر بافت‌های تنظیم PH و مصرف‌کننده لاکتات مانند مغز، قلب، کلیه و کبد می‌تواند بیشتر شده و در نتیجه برداشت لاکتات خون سریعتر انجام شده و سطح لاکتات سریعتر کاهش یابد (۲۳، ۳۴). البته باید اذعان نمود که ممکن است در نظر گرفتن تفاوت‌های فردی هنگام بررسی عملکرد شناگران، نتایج جالب توجهی را برای پژوهشگران نمایان سازد که باید در مطالعات آینده مورد توجه قرار بگیرد. از سوی دیگر، پژوهش‌های پیشین بیان نموده‌اند که هایپوکسی ایجاد شده در پی فعالیت شدید می‌تواند روند استفاده مغز از لاکتات را بعنوان سوخت، تسریع کند (۳۵). بنابراین نمی‌توان نقش سازوکارهای عصبی روی برتری روش سرد کردن هایپوکسی را نادیده گرفت، زیرا به نظر می‌رسد در شرایط هایپوکسی سیستم عصبی مرکزی برای حفظ گلوکز، لاکتات بیشتری را به مصرف می‌رساند (۳۳، ۳۵). از اینرو، احتمال می‌رود انجام سرد کردن فعال به روش هایپوکسی در پژوهش حاضر، برای تامین انرژی سیستم عصبی مرکزی موجب برداشت لاکتات بیشتری از خون نسبت به سرد کردن فعال به روش نورموکسی شده است که البته این موضوع نیز باید در پژوهش‌های آتی مورد مطالعه قرار بگیرد.

شاید حبس نفس در هنگام استراحت فعال در برنامه سرد کردن هایپوکسی، بدون اینکه فشار زیادی روی نیازمندی اکسیژنی بدن ایجاد کند، باعث افزایش شدید دی‌اکسیدکربن (هایپرکپنی) و بدنبال آن افزایش یون بی‌کربنات در خون گردد و از این طریق بتواند بطور موقت ظرفیت بافاری خون را افزایش دهد (۱۸، ۲۴). به هر حال، این موضوع تا کنون مورد مطالعه قرار نگرفته و می‌تواند در یک طرح پژوهشی مستقل، مورد مطالعه قرار گیرد. در مجموع، از نتایج پژوهش حاضر می‌توان استنباط نمود که با توجه به افت سریعتر میزان درک خستگی و لاکتات خون در شناگرانی که از روش هایپوکسی هایپرکپنی بهره بردند، احتمالاً استفاده از روش هایپوکسی هایپرکپنی برای سرد کردن در بین مسابقات و تمرینات تکراری شنا بتواند به بازگشت بهتر بدن ورزشکار و آمادگی بالاتر برای رقابت و تمرین بعدی کمک کند. البته، پاسخ عملکردی فردی ورزشکاران نخبه به این مداخله تمرینی از اهمیت بالایی برخوردار است. به هر حال، این موضوع بطور مستقیم در ریکاوری ورزشی مورد مطالعه قرار نگرفته است و باید در تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرد. با توجه به محدودیت‌های موجود در تحقیق پیش رو، پیشنهاد می‌شود پژوهشی مشابه پیرامون سرد کردن در شرایط هایپوکسی با تمرکز روی ورزش‌های هوازی دیگری همچون قایقرانی، دوچرخه سواری و دوومیدانی که خارج از آب انجام می‌شوند انجام گیرد. همچنین، این موضوع نیازمند انجام پژوهش‌های تجربی با سطح کنترل بالاتر روی متغیرهای مداخله گر است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله حاضر بدینوسیله از مربیان و ورزشکاران تیم ملی شنا و تیم ملی سه گانه که مشتاقانه در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

تعارض منافع

بدینوسیله نویسندگان اعلام می‌دارند که مقاله حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه خوارزمی می‌باشد. ضمناً این پژوهش از هیچ منبع مالی برخوردار نبوده، پیش از این برای چاپ به هیچ مرجع علمی ارسال نشده و دارای تعارض منافع نمی‌باشد.

منابع

1. Calder A. Recovery training. *Sports Med Australia*. 2003;23(11):312-322.
2. Ingram J, Dawson B, Goodman C, Wallman K, Beilby J. Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci Med in Sport*. 2009;12(3):417-21.
3. Gharaat MA, Agha Alinejad H, Eidi Abarghani L, Mehri Alvar, Y. Effect of Caffeine on Recovery from Ergometer Rowing. *J Sport Biosci*. 2016;8(1):77-94. doi: 10.22059/jsb.2016.58240
4. Lorentze W, Savage M. Cold water immersion. *Sports Med*. 2002;1(13):11-20.
5. Bartel C, Coswig VS, Protzen GV, Del Vecchio FB. Energy demands in high-intensity intermittent taekwondo specific exercises. *Peer J*. 2022;10: e13654.
6. Sheykhlovand M, Khalili E, Agha-Alinejad H, Gharaat MA. Hormonal and physiological adaptations to high-intensity interval training in professional male canoe polo athletes. *J Strength Condit Res*. 2016; 30(3): 859–866.
7. Gharaat MA, Sheykhlovand M, Eidi LA. Performance and recovery: effects of caffeine on a 2000-m rowing ergometer. *Sport Sci Health*. 2020; 16:531–542. <https://doi.org/10.1007/s11332-020-00643-5>.
8. Samadi M, Nazem F, Gharaat MA. Designing the simulation training of taekwondo competition according to heart rate, blood lactate and rating of perceived exertion. *Med Dello Sport*. 2014;67(4):581-592.
9. Peeters MJ. The effect of recovery strategies on high-intensity exercise performance and lactate clearance (T). University of British Columbia. 2008; Retrieved from <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/24/items/1.0066771>
10. Gharaat MA, Kashef M, Eidi L, Sheykhlovand M. Effect of beta alanine on Lactate and Performance of rower. *J Sabzevar Uni Med Sci*. 2019;27(1):73-81 (Persian).
11. Castagna C, Abt G, Manzi V, Annino G, Padua E, D'Ottavio S. Effect of Recovery Mode on Repeated Sprint Ability in Young Basketball Players. *J Strength Condit Res*. 2008; 9: 220-28.
12. Veiga S, Pla R, Qiu X, Boudet D, Guimard A. Effects of Extended Underwater Sections on the Physiological and Biomechanical Parameters of Competitive Swimmers. *Frontiers in Physiol*. 2022; 13: 815766.
13. Kappenstein J, Engel F, Fernández-Fernández J, Ferrauti A. Effects of active and passive recovery on blood lactate and blood pH after a repeated sprint protocol in children and adults. *Pediatr Exerc Sci*. 2015;27(1):77-84.
14. Greenwood J, Moses G, Bernardino F, Gaesser G, Weltman A. Intensity of Exercise Recovery, Blood Lactate Disappearance, and Subsequent Swimming Performance. *J Sport Sci*. 2008; 26:29-34.
15. Dahl S, Cotrel C, Leleu C. Optimal Active Recovery Intensity in Standardbreds After Submaximal Work. *Equine Veterin J Suppl*. 2006; 36:102-05.
16. Toubekis A, Smilios I, Bogdanis C, Mavridis G, Tokmakidis P. Effect of Different Intensities of Active Recovery on Sprint Swimming Performance. *J Appl Physiol Nutr Metab*. 2006; 31:709-16.

17. Monedero J, Donne B. Effect of Recovery Interventions on Lactate Removal and Subsequent Performance. *J Sport Med.* 2000; 21:593-97.
18. Zandvoort CS, de Zwart JR, van Keeken BL, Viroux PJF, Tiemessen IJH. A customised cold-water immersion protocol favours one-size-fits-all protocols in improving acute performance recovery. *Eur J Sport Sci.* 2018;18(1):54-61. doi:10.1080/17461391.2017.1386718
19. Neric FB, Beam WC, Brown LE, Wiersma LD. Comparison of swim recovery and muscle stimulation on lactate removal after sprint swimming. *J Strength Cond Res.* 2009;23(9):2560-2567.
20. Dawson B, Gow S, Modra S, Bishop D, Stewart G. Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours. *J Sci Med Sport.* 2005;8(2):210-21.
21. Fabrízio D, Masi R, Estelio H, Martin D, Ana C, Lopes B, Jefferson SN, Victor MR. Is blood lactate removal during water immersed cycling faster than during cycling on land? *J Sports Sci Med.* 2007; 6:188-92.
22. Lucertini F, Gervasi M, D'Amen G, Sisti D, Rocchi MBL, Stocchi V, et al. Effect of water-based recovery on blood lactate removal after high-intensity exercise. *PLoS One.* 2017;12(9): e0184240.
23. Jimenez-Perez I, Gil-Calvo M, Vardasca R, Fernandes RJ, Paulo Vilas-Boas J. Pre-exercise skin temperature evolution is not related with 100 m front crawl performance. *J Thermal Biol.* 2021; 98:102926.
24. Bailey DM, Davies B. Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *British J sports med.* 1997;31(3):183-90.
25. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods.* 2007; 39(2),175–191.
26. Kang H. Sample size determination and power analysis using the G*Power software. *J Educ Eval Health Prof.* 2021; 18:17.
27. Czuba M, Zajac A, Maszczyk A, Roczniok R, Poprzęcki S, Garbaciak W, et al. The effects of high intensity interval training in normobaric hypoxia on aerobic capacity in basketball players. *J Hum Kinet.* 2013;39(4):103–114.
28. Ramezanpoor MR, Lamir AR, Hesari M. Comparison of the effect of three methods of returning to the initial state (gentle swimming, sitting and massage) on the heart rate and blood lactate of adult swimmers. *J Sports Biomotor Sci.* 2011; 2(4): 37-46. doi: 10.22034/sbs.2011.165286
29. Monedero J, Donne B. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med.* 2000;21(8):593-597. doi:10.1055/s-2000-8488
30. Oriishi M, Matsubayashi T, Kawahara T, Suzuki Y. Short-Term Hypoxic Exposure and Training Improve Maximal Anaerobic Running Test Performance. *J Strength Condit Res.* 2018;32(1):181-188. doi: 10.1519/JSC.0000000000001791.
31. Manoj KM, Nirusimhan V, Parashar A, Edward J, Gideon DA. Murburn precepts for lactic-acidosis, Cori cycle, and Warburg effect: Interactive dynamics of dehydrogenases, protons, and oxygen. *J Cell Physiol.* 2022;237(3):1902-1922. doi:10.1002/jcp.30661

32. Türkmen D, Günay E, Güdücü Ç, Öñiz A, Bediz CŞ. Effect of Post-Warm-Up Three Different Duration Self-Selected Active Rests on 100 Meter Swimming Performance: Preliminary Findings. *Mont J Sports Sci Med.* 2022;11(2),57-64. <https://doi.org/10.26773/mjssm.220907>
33. Joulia F, Steinberg JG, Wolff F, Gavarry O, Jammes Y. Reduced oxidative stress and blood lactic acidosis in trained breath-hold human divers. *Resp Physiol Neurobi.* 2002; 133: 121–130.
34. Poprzęcki S, Czuba M, Zajac A, Karpiński J, Wilk R, Bril G, et al. The blood antioxidant defence capacity during intermittent hypoxic training in elite swimmers. *Biol Sport.* 2016;33(4):353–360. <https://doi.org/10.5604/20831862.1221607> PMID: 28090139.35.
35. van Hall G, Stømstad M, Rasmussen P, Jans O, Zaar M, Gam C, et al. Blood Lactate is an Important Energy Source for the Human Brain. *J Cereb Blood Flow Metabol.* 2009; 29(6):1121-1129.

نسخه پیش انتشار

مقیاس درجه بندی خستگی (ROF)

