

Original Article

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 Gharaat³¹ Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran² Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran³ Department of Physical Education, Farhangian University, Tehran, Iran

Abstract

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

Materials and Methods: Ten elite swimmers (age, 21.4 ± 4.16 years; height, 187.1 ± 6.3 cm; weight, 76.3 ± 6.4 kg) from the triathlon and swimming men's national team (at least 3 years of experience as a member of national team) performed an exhaustive swimming protocol followed by either hypoxia-hypercapnia or normoxia recovery, in two separate sessions, with one week intervening. The exhaustive swimming protocol included 4×50 meters all-out swimming with 10 s rest between the intervals. Afterward, subjects in hypoxia-hypercapnia group had 8 min active recovery in hypoxia-hypercapnia, while, subjects in normoxia group had 8 min active recovery in normoxia condition. Blood lactate level and rate of fatigue (ROF) were measured immediately after, 5 min and 8 min after recovery. ANCOVA was used to analyze the data at $p \leq 0.05$ significance level.

Results: Cooling-down through hypoxia-hypercapnia resulted in lower blood lactate level 5 and 8 min after recovery compared to normoxia condition ($P = 0.02$ and $P = 0.03$, respectively). Moreover, ROF was significantly lower after 8 min in hypoxia-hypercapnia condition than normoxia condition ($P = 0.04$).

Conclusions: It seems that cooling-down in hypoxia-hypercapnic condition resulting in better recovery after exhaustive swimming than normoxia condition. However, further studies are needed to understand possible mechanisms of this type of recovery.

Keywords: Active cooling, 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. J Sport Exerc Physiol. 2025;18(2): 17-29.

* 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 بازیافت 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 در خصوص 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: ۱۰ ورزشکار مرد نخبه سه‌گانه و شنا (دارای حداقل سه سال عضویت تیم ملی، سن $21/4 \pm 4/16$ سال، قد $187/1 \pm 6/3$ سانتی‌متر و وزن $76/3 \pm 6/4$ کیلوگرم) به‌صورت در دسترس هدفمند گزینش شدند و به‌صورت 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 به‌صورت نورموکسی (هشت دقیقه استراحت فعال با شنای زیر بیشینه در سطح آب) یا هایپوکسی هایپرکپنی (هشت دقیقه استراحت فعال با شنای زیر سطح آب همراه با حبس نفس) پس از فعالیت بود. آزمودنی‌ها به‌صورت 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 کردند. غلظت لاکتات (با برداشت خون از انگشت سبابه) و میزان خستگی (مقیاس ROF) بلافاصله، پنج دقیقه و هشت 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 پنج دقیقه و هشت دقیقه پس از سرد کردن نشان داد که لاکتات هنگام سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی به‌صورت معنادار کمتر از لاکتات در شرایط نورموکسی بود (به‌ترتیب $P=0/02$ ، $P=0/03$). همچنین میزان درک خستگی در هشت دقیقه پس از فعالیت سرد کردن، در گروه هایپوکسی هایپرکپنی به‌طور معنادار کاهش برجسته‌تری نسبت به گروه نورموکسی داشت ($P=0/04$).

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی به‌عنوان راهکاری جدید تأثیر بیشتری بر بازیافت پس از فعالیت شنای درمانده‌ساز دارد. البته برای نتیجه‌گیری بهتر و همچنین سازوکارهای احتمالی برتری این روش، به پژوهش بیشتری نیاز است.

واژه‌های کلیدی: سرد کردن فعال، بازیافت، هایپوکسی، خستگی، شناگران نخبه

نحوه استناد به این مقاله: کشاورز تقوایی و، رجبی ح، گودرزی م، قرائت م ع. تأثیر سرد کردن هایپوکسی هایپرکپنی و نورموکسی بر لاکتات، خستگی و بازیافت سه‌گانه کاران و شناگران نخبه پس از یک فعالیت وامانده‌ساز. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۲): ۱۷-۲۹.

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

مقدمه

خستگی در پی تمرین‌های شدید و رقابت‌های پی‌درپی موجب اختلال در دستگاه‌های تولید انرژی در بافت‌های محیطی و مرکزی می‌شود و آثار منفی بر عملکرد بهینه ورزشکاران دارد (۲، ۱). با توجه به نوع فعالیت، دلایل متفاوتی برای بروز خستگی بیان شده است. سوخت‌وساز ناکامل و بازیافت ناکافی در بین تمرین‌ها و یا در میان دو مسابقه پیاپی، به‌ویژه 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) هنگام فعالیت و تلاش برای بازسازی منابع انرژی در دوره بازیافت، برگشت سریع‌تر دمای بدن به حالت اولیه و پالایش سریع‌تر مواد سوخت‌وسازی زائد برای کاهش خستگی ضروری به نظر می‌رسد (۴). بازیافت سریع به‌ویژه در ورزشکاران رشته‌های دوومیدانی، شنا، قایقرانی، روئینگ، کانوپولو، دوچرخه‌سواری، تکواندو و ورزش‌های مشابه که مجبور به انجام رقابت‌های پیاپی در یک روز هستند، اهمیت بیشتری دارد (۵-۸).

از دلایل عمده خستگی دستگاه‌های انرژی به‌کار گرفته‌شده، انباشت فراورده‌های جانبی سوخت‌وسازی، دستگاه عصبی (خستگی مرکزی) و اختلال در سازوکار انقباض تارهای ماهیچه‌ای است (۳، ۸). بروز خستگی در فعالیت‌های شدید بی‌هوازی احتمالاً تا حدی ناشی از انباشت فراورده‌های سوخت‌وسازی همچون لاکتات و انباشت 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 می‌شود و از تولید آدنوزین تری فسفات (ATP) از طریق تجزیه بی‌هوازی گلوکز در

فعالیت‌های پرشدت و سریع ممانعت می‌کند (۱۱). لاکتات در سیتوزول با احیای پیروات و اکسایش همزمان NADH به NAD^+ و تحت عمل آنزیم لاکتات دهیدروژناز ایجاد می‌شود (۱۰). به دلیل حجم و ظرفیت سوخت‌وسازی بالا، ماهیچه‌های اسکلتی اصلی‌ترین اندامی هستند که تولید لاکتات هنگام فعالیت و مصرف آن را پس از فعالیت بر عهده دارند (۱۲). هرچند لاکتات به‌طور مستقیم سبب خستگی نمی‌شود، ولی نشانگر مهمی برای تنظیم شدت فعالیت ورزشی به‌شمار می‌رود و به همین دلیل، در پژوهش‌های خستگی و بازیافت مورد توجه قرار گرفته است (۱۲). بنابراین، بررسی تغییرات لاکتات و طراحی برنامه‌های بازیافت برای برداشت لاکتات که می‌تواند بیانگر کاهش اسیدوز باشد، از اهمیت ویژه برخوردار است.

یکی از روش‌های سنتی در بازیافت سریع‌تر پس از تمرینات لاکتیکی، استفاده از روش‌های سرد کردن فعال است. در همین زمینه پژوهش‌های بسیاری به نقش مؤثر بازیافت فعال نسبت به غیرفعال، یا انجام فعالیت‌های هوای سبک پس از فعالیت‌های شدید در برداشت لاکتات اشاره دارند (۱۳-۱۷). همچنین فواید روش‌های نوین سرد کردن مانند هایپوکسی در فشار بالا روی بدن یا نورموکسی به‌ویژه در شرایط مشابه با فعالیت اصلی، در برخی یافته‌ها گزارش شده است (۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۰). برای نمونه یافته‌ها در رشته‌های آبی بیانگر بازیافت مؤثرتر با کمک سرد کردن در آب (با استفاده از دمای آب و فشار آب) است (۲۱-۲۳).

هرچند منطقی به نظر می‌رسد که قرار گرفتن در معرض هایپوکسی (کاهش فشار اکسیژن) به‌صورت بلندمدت، سبب سازگاری‌هایی در دستگاه انتقال اکسیژن (افزایش ترشح اریثروپوئیتین از کلیه‌ها و افزایش گلبول‌های قرمز) و بهبود

ظرفیت تامپونی عضله می‌شود (۶، ۱۸، ۲۴) که می‌تواند در تسریع بازیافت پس از یک فعالیت شدید نقش داشته باشد، ولی این تغییرات در پی هایپوکسی در شرایط هایپرکپنی و زیر آب کوتاه مدت پس از فعالیت شدید بررسی نشده است. در نگاه اول به نظر می‌رسد که طرح این موضوع به‌ویژه وقتی فقط به هایپوکسی توجه شود، با تردید همراه است، زیرا اکسیژن‌رسانی بیشتر پس از فعالیت شدید برای بازیافت مهم است و به همین دلیل به‌عنوان یکی از راهکارهای بازیافت مورد توجه قرار گرفته است (۶، ۱۱، ۲۰). بنابراین منطقی است که استفاده از هایپوکسی پس از فعالیت شدید، بازیافت را مختل کند. اما به نظر می‌رسد اندازه هایپوکسی و روشی که هایپوکسی در دوره بازیافت اعمال می‌شود، نکته‌ای است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای نمونه هنگامی که شرایط هایپوکسی با حبس نفس هنگام فعالیت سبک در آب انجام می‌گیرد (ترکیب استراحت فعال، هایپوکسی و هایپرکپنی) شاید نتیجه متفاوتی داشته باشد و شاید به همین دلیل به‌طور تجربی توسط برخی مربیان برای بازیافت بهینه استفاده شده است، ولی تاکنون دلایل علمی این موضوع و اثبات اثربخشی آن بررسی نشده است. با توجه به مبانی نظری موجود به نظر می‌رسد این الگو از بازیافت به دلیل افزایش سطح دی‌اکسید کربن خون و کاهش اکسیژن باید سطح اسیدوز را افزایش دهد و بازیافت را مختل کند. اما ورزشکارانی که از این مدل به‌ویژه در زیر آب در قسمت عمیق استخر استفاده کرده‌اند، شرایط بهتری را پس از اجرای این راهکار بازیافت گزارش داده‌اند که شاید به دلیل کم بودن میزان هایپوکسی در این شرایط و زیاد بودن فشار آب روی سطح بدن باشد که جریان خون مرکزی را افزایش می‌دهد و روی هم رفته، سبب ایجاد شرایط بهتری برای بازیافت می‌شود. حال با توجه به ابهام موجود در اثرپذیری سطح لاکتات خون از سرد کردن در شرایط

هایپوکسی هایپرکپنی به‌عنوان 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 ($4/16 \pm 21/4$ سال، قد $6/3 \pm 187/1$ سانتی‌متر و وزن $6/4 \pm 76/3$ کیلوگرم) به صورت در دسترس و هدفمند انتخاب شده و به صورت تصادفی متقاطع برای قرار گرفتن در دو 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 بررسی کرده بودند، تعیین شد (۷). همچنین با توجه به محاسبه اولیه، تعداد نمونه آزمون با به کارگیری نرم افزار G*Power نسخه ۳.۱ دانشگاه کیل آلمان برآورد شد (۲۵). آزمون آماری ارائه شده توسط کوهن برای اندازه اثر f، که شامل مقادیر کوچک ($0/10$)، متوسط ($0/25$) و بزرگ ($0/40$) است، با در نظر گرفتن سطح معناداری $0/05$ ، توان آماری ($1-\beta$) برابر با $0/95$ و مقدار f برابر با $0/40$ ، حجم نمونه لازم برای این مطالعه برای هر گروه (هر مداخله) هشت نفر برآورد شد (۲۶). با این همه، با در نظر گرفتن امکان خروج آزمودنی‌ها از پژوهش در اجرای فرایند پژوهش و برای افزایش قدرت آماری پژوهش، اندازه نمونه آماری هر گروه به تمامی نفرات در دسترس یعنی ۱۰ نفر در هر مداخله افزایش یافت. مشخصات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

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

رشته ورزشی	تعداد	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	سابقه ورزشی (سال)
شنا	۶	۲۱/۰ ± ۳/۱۲	۱۸۹/۱ ± ۷/۴	۷۴/۹۱ ± ۷/۴	۱۰/۵۱ ± ۲/۷
سه‌گانه	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

هرچند آزمودنی‌ها از ورزشکاران نخبه (عضو تیم ملی) بودند، اما پیش از آغاز آزمون، از سلامت آزمودنی‌ها، عدم ابتلا به بیماری‌های خاص قلبی-عروقی و عدم محدودیت پزشکی برای انجام فعالیت‌های ورزشی، اطمینان به عمل آمد و به‌منظور رعایت اخلاق پژوهش، برگه رضایت‌نامه کتبی از همه شرکت‌کنندگان برای شرکت در آزمون دریافت شد.

روش اجرای پژوهش: صبح روز پیش از تمرین، داده‌های آنتروپومتری قد (توسط متر نواری) و وزن (توسط ترازوی دیجیتال Personal Scale چین) و میزان لاکتات ورزشکاران در حالت استراحت هنگام برخاستن از خواب (لاکتات متر Scout ساخت آلمان) از طریق خون‌گیری قطره‌ای از انگشت سبابه اندازه‌گیری و به‌عنوان لاکتات پایه ثبت شد. صبح روز بعد، آزمودنی‌های دو گروه در برنامه تمرین وامانده‌ساز ۴×۵۰ متر شنا با شدت بیشینه 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 پژوهش‌های پیشین بود (۲). رکورد هر ۵۰ متر نیز به‌صورت جداگانه اندازه‌گیری 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 پس از انجام تمرین وامانده‌ساز، سطح لاکتات آزمودنی‌ها با برداشت خون از انگشت سبابه

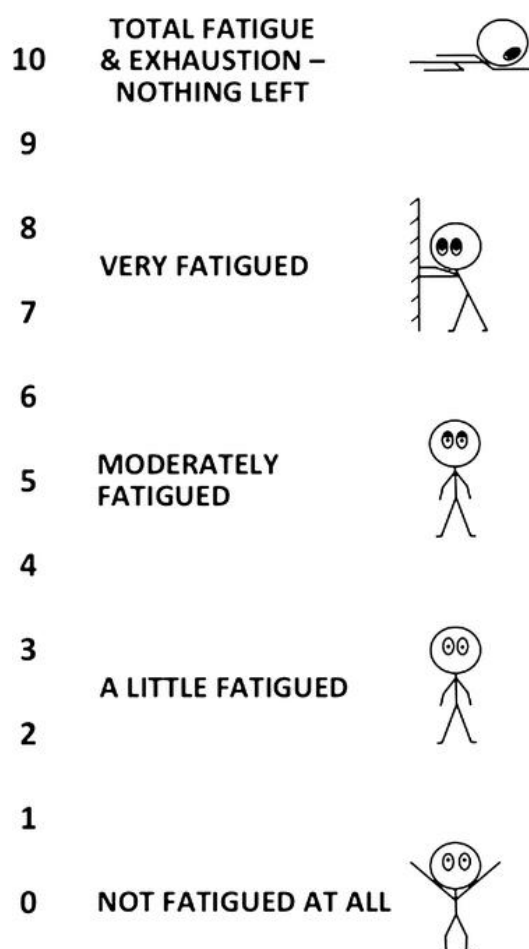
اندازه‌گیری شد (لاکتات متر Scout ساخت آلمان). همچنین از آزمودنی‌ها، آزمون شاخص میزان خستگی با توجه به مقیاس ROF به عمل آمد. سپس از آزمودنی‌ها خواسته شد تا طبق گروه‌بندی سرد کردن در آب را به روش هایپوکسی هایپرکپنی و نورموکسی انجام دهند. در همه مراحل آزمون از کرومومتر Q&Q ساخت ژاپن برای ثبت رکورد شنای ورزشکاران استفاده شد.

مرحله اول: در این مرحله، پس از اجرای فعالیت شدید و اندازه‌گیری رکورد شناگران توسط کرومومتر، گروه اول (پنج نفر) به روش نورموکسی (شنای کرال یا شنای قورباغه با نفس‌گیری آزاد) با شنای ملایم (با شدت ۴۰ تا ۶۰ درصد) در سطح آب و نفس‌گیری آزادانه به مدت هشت دقیقه، و گروه دوم (۵ نفر) به روش هایپوکسی (حبس نفس) با شنا و سرعت مشابه زیر سطح آب پایین‌تر از سطح یک و نیم متری، عمل سرد کردن را به مدت هشت دقیقه انجام دادند. در گروه هایپوکسی هایپرکپنی، در صورت اتمام نفس هنگام سرد کردن، ورزشکار می‌توانست به سطح آب بیاید و با گرفتن نفس، دوباره به بازیافت فعال خود در زیر آب در عمق یک و نیم متری ادامه دهد. سرعت شنا کردن در مرحله بازیافت 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 طی‌شده ثبت و سرعت میانگین برای هر شناگر تعیین شد. سپس ۴۰-

۶۰ درصد این سرعت به صورت زمان طی کردن مسافت مشخص، در نظر گرفته شد و توسط مربی، بازخورد لازم برای شنا کردن با سرعت مدنظر (برای دستیابی به ۴۰-۶۰ درصد سرعت بیشینه) ارائه شد. سپس بلافاصله پس از سرد کردن، پنج دقیقه و هشت دقیقه پس از سرد کردن با کمترین مدت ممکن و در شرایط یکسان، لاکتات هر دو گروه آزمودنی با برداشت خون از انگشت سبابه و اندازه گیری توسط دستگاه لاکتومتر و آزمون خستگی ROF به عمل آمد. آزمون 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 پیش از این به عنوان ابزاری معتبر برای ثبت خستگی در شناگران استفاده شده است (۲).

مرحله دوم: یک هفته بعد، روش سرد کردن گروه ها عوض شد، به این صورت که پس از فعالیت شدید، گروه اول (پنج نفر) به روش هایپوکسی و گروه دوم (پنج نفر) به روش نرموکسی عمل سرد کردن یا بازیافت را پس از فعالیت وامانده ساز انجام دادند. کلیه آزمون ها به همان ترتیب مرحله اول و با ابزار مشابه و آزمون گیرنده مشابه از آزمودنی ها تکرار شد.

روش 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 تأیید و تصویب شد. در ضمن پس از ارائه توضیح کامل و پاسخ به پرسش های احتمالی، از شرکت کنندگان رضایت نامه کتبی شرکت داوطلبانه در پژوهش دریافت شد.



شکل ۱. مقیاس درجه بندی خستگی (Rate Of Fatigue)

تحلیل آماری: از آمار توصیفی برای تعیین میانگین و انحراف معیار استفاده شد. از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها، آزمون لوین برای همسان بودن داده‌ها، و از آزمون آنکوا برای مقایسه گروه‌ها استفاده شد. گزارش معناداری داده‌ها در سطح معناداری $P \leq 0/05$ استفاده شد. همه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج

همان‌طور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، بررسی

نتایج اجرای ورزشکاران در چهار اجرای ۵۰ متری بیانگر خستگی در شناگران با پیشرفت زمان تمرین است، به‌گونه‌ای که تفاوت معناداری در رکورد اجرای شنا در سومین ($P=0/04$ ، $F=3/44$) و چهارمین ($P=0/02$) اجرا در هر دو گروه نسبت به نخستین اجرا مشاهده شد. این در حالی است که بین اجرای شنای دو گروه در هریک از مراحل تمرین (مرحله اول تا چهارم) تفاوت معنادار نبود که این موضوع در نخستین اجرا، نشانه همگن بودن عملکرد شناگران بود و از دومین اجرا به بعد، فشار مشابه در دو گونه روش‌های اجرا را تأیید می‌کند.

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

گروه	نخستین اجرا (ثانیه)	دومین اجرا (ثانیه)	سومین اجرا (ثانیه)	چهارمین اجرا (ثانیه)	درصد کاهش عملکرد (اجرای چهارم نسبت به اجرای اول)
نورموکسی	$32/91 \pm 3/96$	$34/24 \pm 3/61$	$35/99 \pm 4/37$	$37/16 \pm 5/36$	$31/80$
هایپوکسی هایپرکپنی	$32/21 \pm 3/73$	$34/96 \pm 3/89$	$36/40 \pm 4/20$	$37/60 \pm 4/95$	$31/04$

* تغییرات نسبت به نخستین اجرا در همان گروه، معنادار است ($P \leq 0/05$).

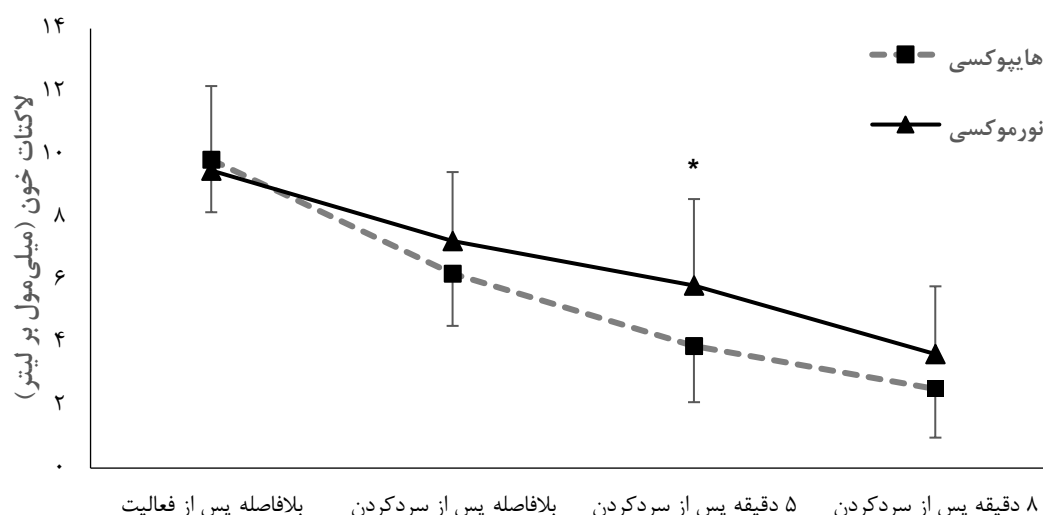
† تغییرات نسبت به دومین اجرا در همان گروه معنادار است ($P \leq 0/05$).

در شکل ۲ میانگین و انحراف استاندارد لاکتات خون در چهار مرحله بلافاصله پس از فعالیت، بلافاصله پس از سرد کردن، پنج دقیقه و هشت دقیقه پس از سرد کردن در هر دو روش عملکردی گروه‌ها ارائه شده است. ضمن اینکه وجود اختلاف معنادار در سطح معناداری $0/05$ 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 نشان‌دهنده همگنی داده‌های پژوهش در هر دو مرحله بود. همچنین نتایج آزمون لوین نشان داد تجانس واریانس دو گروه در همه مراحل روش تمرینی برقرار است ($P=0/17$ ، $F=1/92$).

در بررسی آمار استنباطی، نتایج نشان‌دهنده نبود تفاوت معنادار بین میانگین غلظت لاکتات خون پیش از آغاز تمرین (لاکتات پایه) در دو گروه تمرینی بود ($0/87$ ، $P=$). 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 پنج دقیقه و هشت دقیقه سرد کردن نسبت به میزان لاکتات بلافاصله پس از فعالیت، تفاوت معناداری وجود داشت ($P=0/04$ ، $F=3/77$). غلظت لاکتات پنج دقیقه پس از سرد کردن و هشت دقیقه پس از سرد کردن کاهش معناداری یافته بود (به ترتیب $P=0/01$ و $P=0/01$). در گروه نورموکسی نیز، سرد کردن فعال موجب شد غلظت

فعالیت کاهش معناداری داشت ($P=0/02$). همچنین شکل ۲ نشان می‌دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تأثیر بیشتر و معناداری در کاهش غلظت لاکتات خون پنج دقیقه پس از سرد کردن نسبت به شرایط بازیافت نورموکسی دارد ($F=5/87$, $P=0/02$). همچنین با توجه به نتایج، درمی‌یابیم که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تأثیر بیشتر و معناداری در کاهش غلظت لاکتات خون هشت دقیقه پس از سرد کردن نسبت به شرایط بازیافت نورموکسی داشته است ($P=0/03$, $F=4/10$).

لاکتات پس از پنج دقیقه سرد کردن نسبت به غلظت لاکتات بلافاصله پس از فعالیت کاهش معناداری یابد ($P=0/03$). همچنین غلظت هشت 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 تأثیر معناداری در کاهش غلظت لاکتات خون نسبت به شرایط بازیافت 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



شکل ۲. غلظت لاکتات خون (برحسب میلی‌مول بر لیتر) چهار مرحله بلافاصله پس از فعالیت، بلافاصله پس از سرد کردن، پنج دقیقه و هشت دقیقه پس از سرد کردن در دو گروه هایپوکسی و نورموکسی در شناگران نخبه؛ علامت * بیانگر تغییر معنادار نسبت به گروه نورموکسی است ($P \leq 0/05$).

خستگی در گروه هایپوکسی بلافاصله پس از سرد کردن نسبت به بلافاصله پس از فعالیت کاهش معناداری یافت ($P=0/00$). این شاخص همچنین پنج دقیقه پس از سرد کردن و هشت دقیقه پس از سرد کردن کاهش معناداری نسبت به بلافاصله پس از فعالیت نشان داد (به ترتیب $P=0/01$ و $P=0/01$). ضمن اینکه تفاوت بین شاخص خستگی بلافاصله پس

در بررسی شاخص میزان خستگی بین دو گروه هایپوکسی و نورموکسی، نتایج بیانگر نبود تفاوت معنادار بلافاصله پس از فعالیت و آماده‌ساز در دو گروه بود. ولی این شاخص در هریک از مراحل آزمون پس از سرد کردن نسبت به شاخص خستگی بلافاصله پس از فعالیت، تفاوت معناداری داشت ($P=0/03$, $F=4/56$). همان‌گونه که در جدول ۴ دیده می‌شود،

یابد ($P=0/01$). همچنین میزان خستگی پنج دقیقه پس از سرد کردن و هشت دقیقه پس از سرد کردن کاهش معناداری یافت (به ترتیب $P=0/02$ و $P=0/02$). در بررسی نتایج بین گروه‌ها، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تأثیر معناداری در کاهش میزان خستگی نسبت به باز یافت در شرایط نورموکسی داشته است ($P=0/04$ ، $F=3/87$).

از سرد کردن با پنج دقیقه پس از سرد کردن ($P=0/02$) و هشت دقیقه پس از سرد کردن نیز معنادار بود ($P=0/04$). ولی تفاوت شاخص خستگی بین پنج دقیقه پس از سرد کردن با هشت 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 فعالیت کاهش معناداری

جدول ۴. شاخص میزان خستگی در مراحل مختلف پس از اجرا و باز یافت

شاخص میزان خستگی	مرحله	میانگین و انحراف استاندارد
هایپوکسی	بلافاصله پس از فعالیت	$7/3 \pm 1/0$
	بلافاصله پس از سرد کردن	$4/1 \pm 1/7^*$
	پنج دقیقه پس از سرد کردن	$3/1 \pm 1/6^*$
	هشت 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	$4/7 \pm 1/5^*$
	پنج دقیقه پس از سرد کردن	$3/0 \pm 1/3^*$
	هشت 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 ($P \leq 0/05$).

در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی نسبت به سرد کردن در شرایط نورموکسی بر غلظت لاکتات خون و میزان خستگی ورزشکاران نخبه سه‌گانه و شنا پس از یک فعالیت وامانده‌ساز لاکتیکی بود. بررسی رکوردهای ورزشکاران در هر دو جلسه تمرین بیانگر افت مشابه عملکرد آن‌ها همزمان با پیشرفت زمان تمرین بود. این موضوع می‌تواند تا حدی ایجاد خستگی ناشی از اسیدوز در فعالیت وامانده‌ساز را تأیید کند و بر روند قابل پیش‌بینی انباشت لاکتات در پی فعالیت‌های وامانده‌ساز لاکتیکی همراه با افزایش فراوانی تکرارها صحه گذارد. بین عملکرد ورزشکاران در دو مرحله از نظر رکورد نخستین تا چهارمین اجرای تمرینی ۵۰ متر شنا و الگوی کاهش سرعت شنا در تکرار دوم تا چهارم تغییر معناداری دیده نشد. این بدان معناست که میزان خستگی ایجاد شده در انتهای تمرین در هر دو مرحله

جدول ۴ نشان می‌دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تأثیر معناداری در کاهش درک خستگی بلافاصله پس از سرد کردن نسبت به شرایط باز یافت 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 می‌دهد که سرد کردن در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی تأثیر مثبتی بر کاهش خستگی هشت دقیقه پس از سرد کردن نسبت به شرایط نورموکسی داشته است ($P=0/03$). ولی تفاوت در شاخص میزان خستگی در پنج دقیقه پس از سرد کردن بین دو گروه نورموکسی و هایپوکسی معنادار نبود ($P=0/27$).

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر سرد کردن در آب

کم‌وبیش مشابه بوده و ورزشکاران، فشار کامل را در هر وهله تمرین آورده‌اند. با وجود افزایش معنادار و چند برابری میزان لاکتات و شاخص خستگی در دو گروه تمرینی بلافاصله پس از چهارمین وهله تمرین نسبت به حالت استراحت، میزان افزایش در دو گروه کم‌وبیش یکسان بود. از این مجموعه شباهت‌ها می‌توان استنباط کرد که انجام چهار 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 شاخص‌های ورزشکاران نخبه است (۱۴، ۱۰).

نتایج بررسی میزان لاکتات و میزان خستگی نشان داد که سرد کردن در هر دو شرایط (استراحت فعال در شرایط هایپوکسی و نورموکسی) سبب کاهش سطوح لاکتات و میزان خستگی می‌شود، که با توجه به پیشینه پژوهشی درباره سازوکار اثربخشی بازیافت فعال (۱۳، ۱۵، ۱۶) منطقی به نظر می‌رسد. برای نمونه مونیدرو (۲۰۰۰) در تمرین پیشینه دوچرخه‌سواری و رمضان‌پور (۱۳۸۹) در شنا گزارش کردند که سرد کردن فعال اثر مثبتی بر بازیافت پس از فعالیت‌های شدید دارد (۲۷، ۲۸). با این همه، سرد کردن هایپوکسی هایپرکپنی در پژوهش حاضر تأثیر بیشتری بر کاهش غلظت لاکتات خون نسبت به سرد کردن در شرایط نورموکسی داشت که تسهیل بازیافت در شرایط هایپوکسی هایپرکپنی را از نظر پالایش لاکتات نشان می‌دهد. 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 مرحله سرد کردن فعال و هشت دقیقه پس از آن نیز در سرد کردن به روش هایپوکسی هایپرکپنی به‌طور چشمگیری کمتر از سرد کردن به روش نورموکسی بود که روی هم‌رفته سرعت بیشتر بازیافت در روش هایپوکسی هایپرکپنی را نشان می‌دهد.

همراستا با کاهش میزان لاکتات خون پس از هایپوکسی هایپرکپنی در پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد برداشت لاکتات در سازوکار چرخه کوری که به انتقال اسید لاکتیک از عضلات به کبد، و تبدیل آن به گلوکز با کارکرد آنزیم لاکتات دهیدروژناز حاضر در کبد می‌انجامد، راهی مؤثر در بازیافت منابع انرژی در شرایط سرد کردن هایپوکسی بوده و اکسایش لاکتات به بازیافت منابع کربوهیدرات در حین سرد کردن یاری رسانده است، چون در سرد کردن، شدت تمرین پایین‌تر از آستانه لاکتات است و تولید لاکتات اندک بوده و از سویی، بدن نیازمند سوخت برای ادامه فعالیت است (۳۱، ۳۰). هرچند سازوکار برتری محیط هایپوکسی در برنامه سرد کردن فعال به‌درستی مشخص نشده، اما چندین سازوکار را می‌توان با احتیاط مطرح کرد. به نظر می‌رسد در سرد کردن به روش هایپوکسی با شنای زیر سطح آب، گردش خون ایجادشده در عضلات در پی فعالیت سبک زیر سطح آب موجب تولید میزان لاکتات کمتر از تولید دی‌اکسید کربن 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 به دلیل وجود فشار آب بر پوست در عمق یک و نیم متری آب کاهش می‌یابد 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 شود و در نتیجه برداشت لاکتات خون سریع‌تر انجام گیرد و سطح لاکتات سریع‌تر کاهش یابد (۲۳، ۳۴). البته باید گفت که ممکن است در نظر گرفتن تفاوت‌های فردی هنگام بررسی عملکرد شناگران، نتایج جالب توجهی را برای پژوهشگران نمایان سازد که باید در پژوهش‌های آینده مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر، پژوهش‌های پیشین بیان کرده‌اند که هایپوکسی

ایجاد شده در پی فعالیت شدید می تواند روند استفاده مغز از لاکتات را به عنوان سوخت، تسریع کند (۳۵). بنابراین نمی توان نقش سازوکارهای عصبی روی برتری روش سرد کردن هایپوکسی را نادیده گرفت، زیرا به نظر می رسد در شرایط هایپوکسی دستگاه عصبی مرکزی برای حفظ گلوکز، لاکتات بیشتری را به مصرف می رساند (۳۳، ۳۵). از این رو احتمال می رود سرد کردن فعال به روش هایپوکسی در پژوهش حاضر، برای تأمین انرژی دستگاه 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 پژوهش های آتی بررسی شود.

شاید حبس نفس هنگام استراحت فعال در برنامه سرد کردن هایپوکسی، بدون اینکه فشار زیادی روی نیازمندی اکسیژنی بدن ایجاد کند، سبب افزایش شدید دی اکسید کربن (هایپرکپنی) و در پی آن افزایش یون بی کربنات در خون شود و از این طریق بتواند به طور موقت ظرفیت بافري خون را افزایش دهد (۱۸، ۲۴). با این همه، این موضوع تاکنون بررسی نشده و می تواند در یک طرح پژوهشی مستقل، بررسی شود. روی هم رفته از نتایج پژوهش حاضر می توان استنباط کرد که با توجه به افت سریع تر 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 بازیافت بهتر بدن ورزشکار و آمادگی بالاتر برای رقابت و تمرین بعدی کمک کند. البته پاسخ عملکردی فردی ورزشکاران نخبه به این مداخله تمرینی اهمیت زیادی دارد. با این همه، این موضوع به طور مستقیم در بازیافت ورزشی بررسی نشده است و باید در تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرد. با توجه به محدودیت های موجود در پژوهش پیش رو، پیشنهاد می شود پژوهشی مشابه در خصوص سرد کردن در شرایط هایپوکسی با

تمرکز روی ورزش های هوازی دیگری همچون قایقرانی، دوچرخه سواری و دوومیدانی که خارج از آب انجام می شوند، انجام گیرد. همچنین این موضوع نیازمند انجام پژوهش های تجربی با سطح کنترل بالاتر روی متغیرهای مداخله گر است.

تشکر و قدردانی

از مربیان و ورزشکاران تیم ملی شنا و تیم ملی سه گانه که مشتاقانه در انجام این پژوهش ما را یاری کردند، سپاسگزاریم.

حمایت مالی

پژوهش حاضر از حمایت مالی برخوردار نبوده و کلیه هزینه ها توسط نویسندگان تأمین شده است.

مشارکت نویسندگان

وحید کشاورز تقوایی در مراحل طراحی و اجرای پژوهش و نگارش مقاله مشارکت داشت. حمید رجبی در طراحی پژوهش، انجام راهنمایی حین اجرا و ویرایش مقاله نقش داشت. مهدی گودرزی در طراحی پژوهش، انجام مشاوره حین اجرا و ویرایش مقاله نقش داشت. محمدعلی قرائت در اجرای پژوهش، نگارش و ویرایش مقاله مشارکت داشت.

تعارض منافع

بدین وسیله نویسندگان اعلام می دارند که پژوهش حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه خوارزمی است. در ضمن این پژوهش از هیچ منبع مالی برخوردار نبوده، پیش از این چاپ به هیچ مرجع علمی ارسال نشده و دارای تعارض منافع نیست.

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. Sheykhloovand 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, Sheykhloovand 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, Sheykhloovand 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. Fabrício 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, Zając 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