Journal of Sport and Exercise Physiology
Autumn- Winter 2021/Vol.14/No.2/55-66

Comparison of trained and untrained girls' blood buffering capacity response to three types of recovery during Repeatead High-Intensity endurance test

Mahtab Tavakoli[1,2], Seyed Mohamad Marandi[1*], Mehdi Kargar Fard[1], Behzad Pakrad[3], Arash Dehghan[4]

1Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Science, Esfahan University. Esfahan, Iran
2Shahid Bahonar Campus, Faculty of Farhangian University, Hamadan, Iran
3Shahid Maghsodi Campus, Faculty of Farhangian University, Hamadan, Iran
4Department of Pathology, Faculty of Medical Science, Hamadan, Iran

Original Article

Abstract

Purpose: Recovery after intense interval training plays an important role in improving athletic performance, while the type of recovery and exercise background can affect athletic performance. The aim of this study was to compare the Response of blood buffering capacity to three types of recovery during Repeated High-Intensity endurance test in trained and untrained girls' students of Farhangian University.

Methods: 30 female students of Farhangian University (mean age 22.49 ±.3 (year), weight 68.33 ± 7.31 (kg) and height 176.76 ± 8.32 (cm) were randomly selected in three recovery groups (active: N=10, passive: N=10, Stretching: N=10) randomly. The Subjects underwent three types of recovery during the repeated high-intensity endurance test after evaluating the maximum oxygen consumption according to a specific pattern in a crossover methods, three days in a week. Arterial blood sample were taken measured before and immediately after the test and buffering capacity and carnosine were analyzed by ABG and ELISA techniques. After 8-eight weeks of aerobic exercise (65-80% of maximal heart rate), the test and blood sampling were repeated with the same pre-test and at the same time.

Results: In untrained girls, only significant difference was found between stretching and active recovery for oxygen saturation, and in trained girls' there was a significant increase in oxygen saturation for active and passive recovery. Significant increase in blood acidity, bicarbonate, base buffers and carnosine was observed in trained girls by active recovery ($P \leq 0.05$).

Conclusion: The results show that the response of buffering capacity to the three types of recovery was significantly higher in trained subjects. Which is more notable with active recovery.

Keywords: High- intensity training, Buffering capacity, Maximum oxygen consumption, Carnosine

How to cite this article: Tavakoli M, Marandi SM1, Kargar Fard M, Pakrad B, Dehghan A. Comparison of trained and untrained girls' blood buffering capacity response to three types of recovery during Repeated High-Intensity endurance test. Journal of Sport and Exercise Physiology 2021;14(2): 55-66

*Corresponding Author; E-mail: smmarandi2001@yahoo.com
DOI: 10.52547/joeppa.14.2.55

Received: 08/01/2020 Accepted: 20/04/2020

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
پاییز و زمستان ۱۴۰۰/ دوره ۱۴/ شماره ۲/ صفحه‌های ۵۵-۶۶
JSEP

مقایسهٔ پاسخ دستگاه تامپونی خون دختران تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده به سه نوع بازیافت فعال، غیرفعال و حرکات کششی حین آزمون شدید استقامتی تکراری

مهتاب توکلی[۱،۲]، سید محمد مرندی[۱*]، مهدی کارگرفرد[۱]، بهزاد پاکراد[۳]، آرش دهقانی[۴]

۱ گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
۲ پردیس شهید باهنر، دانشگاه فرهنگیان همدان، همدان، ایران
۳ پردیس شهید مقصودی، دانشگاه فرهنگیان همدان، همدان، ایران
۴ گروه پاتولوژی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه همدان، همدان، ایران

مقاله پژوهشی

چکیده

هدف: بازیافت پس از تمرینات تناوبی شدید نقش مهمی در بهبود اجرای ورزشی دارد، این در حالی است که نوع بازیافت و سابقهٔ تمرینی می‌تواند عملکرد ورزشی را متأثر سازد. هدف این پژوهش مقایسهٔ پاسخ دستگاه تامپونی خون دختران تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده به سه نوع بازیافت فعال، غیرفعال و حرکات کششی حین تمرین شدید استقامتی تکراری بود.

روش‌ها: ۳۰ دختر دانشجو (سن ۳۳/±۲۲/۴۹ سال، وزن ۷/۳۱±۶۸/۳۳ کیلوگرم و قد ۸/۳۲±۱۷۶/۷۶ سانتی‌متر) به‌صورت تصادفی به سه گروه بازیافت (فعال ۱۰ نفر، غیرفعال ۱۰ نفر و حرکات کششی۱۰ نفر) تقسیم شدند. پس از اندازه‌گیری اکسیژن مصرفی بیشینه (۳±۳۸ میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه) آزمودنی‌ها سه نوع بازیافت را حین تمرین شدید استقامتی تکراری طی سه روز به‌صورت متقاطع انجام دادند. پیش و بلافاصله پس از تمرین از آزمودنی‌ها نمونهٔ خون شریانی گرفته شد و ظرفیت تامپونی به‌وسیلهٔ دستگاه گازومتری و پروتئین کارنوزین از طریق تکنیک الایزا اندازه‌گیری شد. سپس آزمودنی‌ها تمرینات هوازی (۶۵-۸۰ درصد ضربان قلب بیشینه) را تا جایی که اکسیژن مصرفی بیشینه به ۴۵ (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه) رسید، ادامه دادند. پس از آن آزمون و خون‌گیری مشابه با پیش‌آزمون تکرار شد.

نتایج: در دختران تمرین‌نکرده تنها تفاوت معنادار بین بازیافت کششی و فعال برای اشباع اکسیژنی و در دختران تمرین‌کرده بازیافت فعال و غیرفعال افزایش معنادار اشباع اکسیژنی را نشان دادند. در دختران تمرین‌کرده افزایش معناداری برای اسیدیتهٔ خون، بی‌کربنات، بافرهای بازی و کارنوزین با بازیافت فعال مشاهده شد ($P<0/05$).

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که پاسخ دستگاه تامپونی خون دختران فعال به سه نوع بازیافت چشمگیرتر از دختران غیرفعال بود، همچنین بازیافت فعال در این زمینه پاسخ بیشتری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: اکسیژن مصرفی بیشینه، تمرینات شدید، ظرفیت تامپونی، کارنوزین.

* نویسنده مسئول: رایانامه: smmarandi2001@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱

مقدمه

تأثیر بازیافت فعال حین تمرینات تناوبی شدید در مطالعات گوناگون مورد توجه قرار گرفته است. بسیاری از تحقیق‌ها گزارش کرده‌اند که بازیافتی فعال عملکرد آزمودنی را در انواع ورزش‌ها بهبود می‌بخشد (۱-۳)، این در حالی است که دیگر مطالعات نشان داده‌اند که بازیافت غیرفعال گزینهٔ مناسبی در این زمینه است (۴-۶). بیشتر مطالعاتی که بازیافت فعال را بین وهله‌های تمرینی پیشنهاد کرده‌اند، دوره‌های طولانی‌مدت بازیافت را به‌کار برده‌اند، همچنین بازسازی ذخایر فسفوکراتین و بازیافت سریع‌تر اسیدیتهٔ خون را علل اصلی برتری بازیافت فعال عنوان کرده‌اند (۲، ۳). با وجود این، نوع روش‌های تمرینی و سطح آمادگی افراد می‌تواند در تأثیرگذاری نوع بازیافت اهمیت داشته باشد. یکی از علت‌های اصلی خستگی در تمرینات تناوبی شدید کاهش PH درون‌سلولی است که ناشی از افزایش تولید اسید لاکتیک و H^+ حاصل از آن است (۷). درحالی‌که PH نقش مهمی در خستگی ناشی از ورزش دارد، مقدار آن از طریق سازوکارهای ویژه مانند تولید لاکتات، انتقال لاکتات و دستگاه تامپونی تنظیم می‌شود (۸). لاکتات و H^+ حین تمرین از عضله به داخل جریان خون می‌ریزند، بنابراین می‌توانند تحت تأثیر دستگاه تامپونی قرار گیرند (۹). بافرهای مهم بدن در محیط خارج‌سلولی، یون بی‌کربنات و هموگلوبین و در محیط درون‌سلولی پروتئین‌ها هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کارنوزین اشاره کرد (۱۰). کارنوزین، دی پپتاید سایتوپلاسمیک متشکل از بتا آلانین و هیستیدین است که در عضله تولید شده و به داخل خون ریخته می‌شود (۱۱) و نقش‌های مهمی را به عهده دارد که بارزترین آن‌ها عملکرد این پروتئین به‌عنوان بافر است. در واقع کارنوزین نقش مهمی در بافر کردن یون‌های هیدروژن ناشی از تولید اسید لاکتیک حین تمرینات شدید دارد (۱۲).

به‌نظر می‌رسد که بین آمادگی هوازی و قدرت دستگاه تامپونی ارتباط شایان توجهی وجود دارد، به‌گونه‌ای که داشتن آمادگی هوازی بالا تقویت دستگاه تامپونی را نیز به‌همراه دارد (۱۳-۱۵). تومالین و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که بین آمادگی هوازی و بازیافت از تمرینات شدید تکراری رابطه وجود دارد (۱۳). بیشاپ و همکاران (۲۰۰۴) نیز رابطهٔ بین ظرفیت بافری عضلانی و آمادگی هوازی با توانایی تکرار وهله‌های سرعتی در زنان را گزارش کردند (۱۴). آلگول و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که سطح آمادگی بالای هوازی با دامنهٔ بیشتر بافرهای بی‌کربناتی در ارتباط است (۱۵).

از جمله روش‌های تمرینی که در تمرینات بیشتر رشته‌های ورزشی اهمیت دارد، تمرینات تناوبی شدید با ماهیت تکراری است، چراکه این‌گونه تمرینات به تولید اسید لاکتیک و H^+ و در نهایت کاهش PH خون منجر می‌شوند و این امر نیازمند فعالیت دستگاه تامپونی و تنظیم PH برای شروع وهله‌های بعدی تمرین است (۱۶). بی‌شاپ و اسپنسر (۲۰۰۴) در مطالعات خود همبستگی معناداری را بین ظرفیت بافری خون و توانایی اجرای فعالیت‌های تناوبی نشان دادند (۱۴). همچنین ادگ و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که بین ظرفیت بافری درون و برون‌سلولی و کل کار انجام‌گرفته در فعالیت‌های تناوبی رابطهٔ معناداری وجود دارد (۱۷). از جمله عوامل مؤثر در تنظیم PH انتخاب رویکردهای مناسب بین وهله‌های تمرین تناوبی به‌منظور بافر شدن H^+ تولیدی است که این موضوع نشان‌دهندهٔ اهمیت نوع بازیافت در این تمرینات است. آشکار شده است که ظرفیت بافری می‌تواند تحت تأثیر فعالیت در دورهٔ بازیافت قرار گیرد (۱۷). نتایج پژوهش کوردر و همکاران (۲۰۰۰) نشان داد که در بازیافت فعال (شدت کم، مدت کوتاه) نسبت به بازیافت غیرفعال، غلظت لاکتات کاهش بیشتری پیدا می‌کند (۱۸). دوپنت و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که در دویدن‌های منقطع با دورهٔ بازیافتی کوتاه، بازگشت به حالت اولیهٔ غیرفعال نسبت به بازیافت فعال زمان رسیدن به خستگی را طولانی‌تر می‌کند (۱۹). توبکیس و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی روی شناگران که تمرینات سرعتی کوتاه‌مدت تکراری را انجام دادند، نتیجه گرفتند که برای حفظ توانایی سرعت، بازگشت به حالت اولیهٔ غیرفعال مناسب‌تر است (۴). نتایج پژوهش دراپر و همکاران (۲۰۰۶) که شامل صعودهای تکراری از دیوارهٔ صخره‌نوردی بود، نشان داد که با بازگشت به حالت اولیهٔ فعال نسبت به غیرفعال، ضربان قلب در شروع وهلهٔ بعدی تمرین به سطح کمتری می‌رسد (۲۰). فشی و همکاران (۲۰۱۱)، بازیافت غیرفعال را رویکردی مناسب برای بازگشت به حالت اولیه از تمرینات شدید و تکراری گزارش کردند (۶). موتا و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی روی ۱۵ شناگر جوان که بازیافت فعال و غیرفعال را به‌صورت

شخصی پس از ۲۰۰ متر شنای آزاد انجام می‌دادند، گزارش کردند که حذف لاکتات خون به‌وسیلهٔ بازیافت فعال با سرعت بیشتری رخ می‌دهد و هر ورزشکار باید شدت بازیافت شخصی خود را داشته باشد (۲۱).

با وجود پیشینهٔ پژوهش‌هایی در مورد انواع بازیافت بین تمرینات تناوبی شدید، اطلاعات چندانی دربارهٔ تفاوت دستگاه تامپونی بین جمعیت تمرین‌کرده و تمرین‌نکردهٔ ورزشی به‌ویژه زنان وجود ندارد. در پژوهش‌های مختلف تنها افراد ورزشکار و فعال بررسی شده‌اند و مقایسهٔ افراد تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده همراه با تغییرات اکسیژن مصرفی بیشینه به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته است. افزون بر این، کارنوزین به‌عنوان یک پروتئین مهم پلاسمایی در روند بافری به‌وسیلهٔ انواع بازیافت بررسی نشده است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر مقایسهٔ پاسخ دستگاه تامپونی خون دختران تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده به سه نوع بازیافت فعال، غیرفعال و حرکات کششی حین تمرین شدید استقامتی تکراری بود.

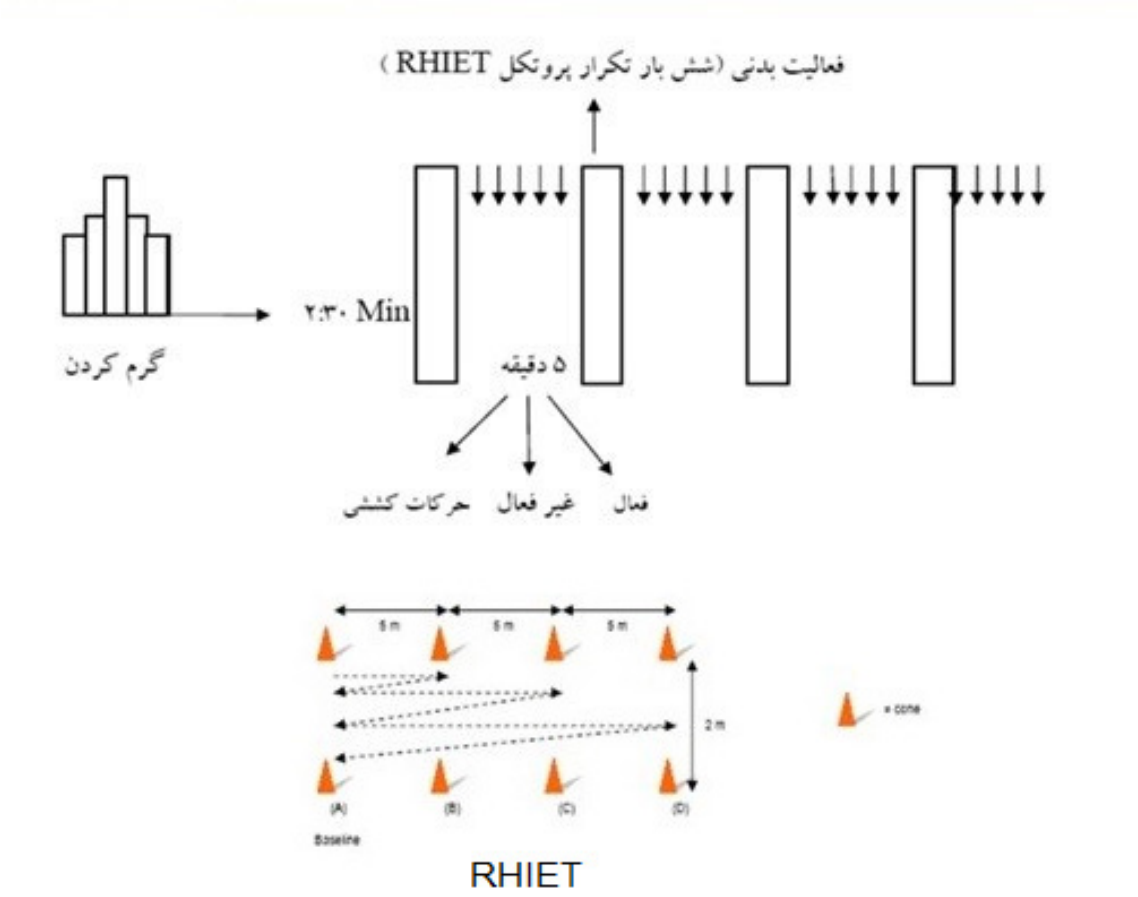
روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: پس از مطالعات مقدماتی، انتخاب نمونه، مشخص شدن گروه‌های مورد آزمایش، تعیین و تهیهٔ ابزار و وسایل گردآوری داده‌های پژوهش، ۳۰ دختر دانشجو (سن ۲۲/۴۹±/۳۳ سال، وزن ۷/۳۱±۶۸/۳۳ کیلوگرم و قد ۸/۳۲±۱۷۶/۷۶ سانتی‌متر) به‌صورت تصادفی به سه گروه بازیافت (فعال ۱۰ نفر، غیرفعال ۱۰ نفر و حرکات کششی ۱۰ نفر) تقسیم شدند. در شروع پژوهش وضعیت سلامت و رضایت آزمودنی‌ها از طریق پرسشنامهٔ آمادگی جسمانی و شرایط لازم برای شرکت در فعالیت بدنی بررسی و صحت سلامتی و آمادگی آن‌ها به‌منظور همکاری با طرح پژوهش تأیید شد. در طول دورهٔ عملیات میدانی پژوهش مصرف غذایی و دارویی آزمودنی‌ها تا حد امکان کنترل شد. شرایط محیطی و اقلیمی طی انجام عملیات میدانی پژوهش ثبت شد و چون این دوره در روزهای متوالی انجام می‌گرفت، از این حیث تفاوت معناداری بین روزهای تمرینی وجود نداشت. آزمودنی‌ها با رضایت در پژوهش شرکت کردند و برای خارج شدن از مطالعه در هر زمان آزاد بودند. تمامی فرایندهای پژوهش به‌وسیلهٔ دستورالعمل پژوهش‌های دانشگاه اصفهان برنامه‌ریزی و توسط کمیتهٔ اخلاق تأیید شد (۱۳۹۸/۰۵۲.IR.UI.REC).

روش اجرای پژوهش: هفتهٔ اول دورهٔ اعمال متغیر مستقل پژوهش به‌منظور آشنایی و آمادگی روان‌شناختی آزمودنی‌ها انجام گرفت. در ابتدا آزمون اکسیژن مصرفی بیشینه به‌وسیلهٔ آزمون بروس ارزیابی شد. سپس در مرحلهٔ پیش‌آزمون، آزمون استقامتی شدید تکراری همراه با سه نوع بازیافت به‌صورت طرح متقاطع انجام شد. پس از این مرحله برنامهٔ تمرینات هوازی که در جدول ۱ ارائه شده است، تا زمان رسیدن میانگین اکسیژن مصرفی بیشینهٔ آزمودنی‌ها به ۴۵ میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه ادامه یافت. این پیشرفت اکسیژن مصرفی بیشینه سه جلسه در هفته و به مدت ۹ هفته به طول انجامید. سپس

جدول ۱. روش اجرای تمرین هوازی

هفته	مدت زمان دویدن (دقیقه)	شدت (درصد ضربان قلب بیشینه)
۱	۱۶	۶۵
۲	۱۸	۶۵
۳	۲۰	۷۰
۴	۲۲	۷۰
۵	۲۴	۷۵
۶	۲۶	۷۵
۷	۲۸	۸۰
۸	۳۰	۸۰
۹	۳۰	۸۰



شکل ۱. نحوهٔ انجام روش تمرین میدانی پژوهش: چهار وهله تمرین استقامتی شدید تکراری (RHIET) همراه با ۵ دقیقه بازیافت فعال، حرکات کششی، غیرفعال

پس‌آزمون دقیقاً مشابه با پیش‌آزمون انجام گرفت. شدت تمرینات هوازی براساس ضربان قلب و با استفاده از فرمول ضربان قلب هدف (ضربان قلب استراحتی + (ضربان قلب استراحتی - ضربان قلب بیشینه) × درصد ضربان قلب) تعیین و برنامه‌ریزی شد. ضربان قلب بیشینه نیز از فرمول کارونن (سن- ۲۲۰) محاسبه شد.

آزمون استقامتی شدید تکراری: پس از آشنایی با نحوهٔ اجرای تمرین، آزمودنی‌ها در سه گروه مجزا، تمرین را همراه با سه نوع بازیافت حین تمرین انجام دادند. روش تمرینی این آزمون شامل ۴ وهله فعالیت بدنی و ۴ دوره بازیافت فعال، غیرفعال و حرکات کششی است. هر وهله فعالیت بدنی ۳ دقیقه طول می‌کشد که شامل اجرای ۶ بار الگوی تمرینی ذکر شده است که با دورهٔ بازیافت ۵ دقیقه‌ای به‌صورت فعال (دویدن ۵۰ درصد ضربان قلب بیشینه)، غیرفعال (خوابیدن طاق‌باز) و حرکات کششی (بالاتنه - پایین‌تنه)، بین هر وهله فعالیت بدنی انجام گرفت (۶) (شکل ۱).

نحوهٔ تعیین اکسیژن مصرفی بیشینه: شاخص مذکور با استفاده از نوار گردان (Promaster، ساخت تایوان) و دستگاه تجزیهٔ گازهای تنفسی (ساخت شرکت zan آلمان) اندازه‌گیری شد. نحوهٔ کار به این صورت بود که آزمودنی‌ها ابتدا به مدت ۵ دقیقه روی نوار گردان با سرعت ۵ کیلومتر در ساعت دویدن آهسته گرم کردند و سپس از آزمون بروس به‌منظور ارزیابی اکسیژن مصرفی بیشینه استفاده شد. آزمودنی‌ها پس از اتمام آزمون بروس، به‌منظور سرد کردن ۳ دقیقه اقدام به راه رفتن با سرعت ۴ کیلومتر در ساعت کردند و ۵-۱۰ دقیقه حرکات کششی انجام دادند. شرایط برای پایان آزمون عبارت بود از رسیدن ضربان قلب آزمودنی به بیش از ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه، نسبت تبادل تنفسی بالای ۱/۱۵ و به فلات رسیدن اکسیژن مصرفی با وجود افزایش شدت تمرین. شایان ذکر است که رسیدن به دو معیار از سه معیار ذکرشده برای توقف تمرین کافی بود (۲۲).

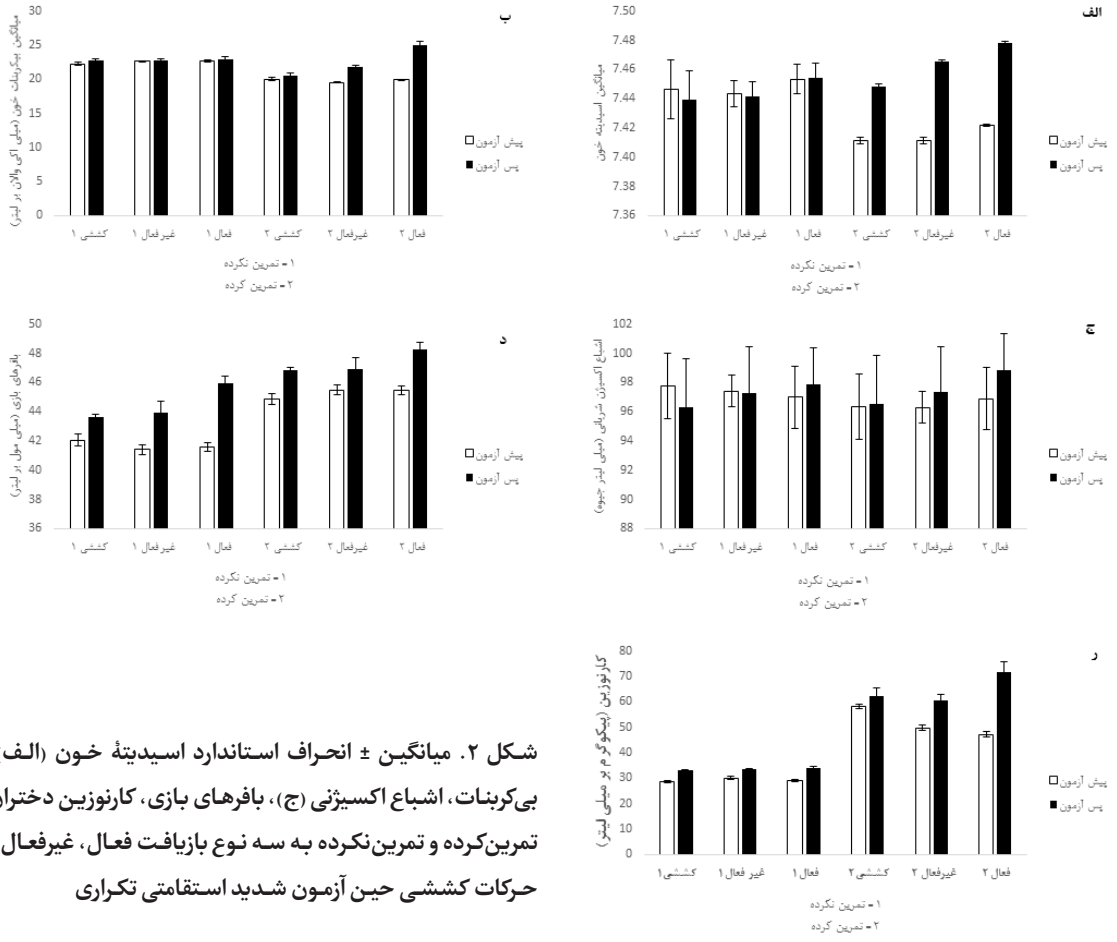
روش‌های آزمایشگاهی: پیش و پس از آزمون استقامتی شدید تکراری در مرحلهٔ پیش‌آزمون و پس‌آزمون چهار نوبت و هر نوبت به مقدار ۵ سی‌سی نمونه‌های خون شریانی از سرخرگ زند زیرین در ناحیهٔ داخلی مچ دست با رعایت شرایط آزمایشگاهی لازم از جمله آغشته شدن سرنگ انسولینی به هپارین گرفته شد و به‌منظور تجزیه‌وتحلیل گازهای خونی در کمتر از مدت زمان ۱۵ دقیقه به دستگاه گازومتری منتقل شد و پس از آن اسیدیتهٔ خون، بی‌کربنات، اشباع اکسیژنی و بافرهای بازی به‌وسیلهٔ دستگاه گازومتری سری GASTAT-600 و نیز مقدار کارنوزین با استفاده از کیت الایزا zellbio 96 تست آلمانی اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری: از میانگین و انحراف استاندارد به‌منظور توصیف داده‌ها استفاده شد. پس از بررسی توزیع طبیعی داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلک و نیز بررسی همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون، از تحلیل واریانس یک‌راهه در مرحلهٔ پیش‌آزمون و پس‌آزمون (پس از دلتای نمره‌های پس‌آزمون از پیش‌آزمون) استفاده شد. سطح معناداری نیز $P\leq ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

نتایج

نتایج آزمون شاپیروویلک نشان داد که داده‌های پژوهش اسیدیتهٔ خون در مرحلهٔ پیش‌آزمون ($P=۰/۸۴$) و پس‌آزمون ($P=۰/۳۱۵$)، بی‌کربنات ($P=۰/۶۵$) و ($P=۰/۲۴۵$)، اشباع اکسیژنی ($P=۰/۴۶۷$) و ($P=۰/۲۱۳$)، بافرهای بازی ($P=۰/۶۷$) و ($P=۰/۲۱۳$) و کارنوزین ($P=۰/۲۷۸$) و ($P=۰/۲۱۳$) به‌ترتیب در مرحلهٔ پیش‌آزمون و پس‌آزمون از توزیع طبیعی برخوردار است. همگنی واریانس‌ها نیز با استفاده از آزمون لون نشان داده شد ($P\geq ۰/۰۵$).

در دختران غیرفعال تنها تفاوت معناداری بین سه نوع بازیافت برای اشباع اکسیژنی مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). در مورد سایر متغیرها تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). در دختران فعال تفاوت معناداری بین سه نوع بازیافت برای اسیدیتهٔ خون، بی‌کربنات، بافرهای بازی و کارنوزین مشاهده شد ($P<۰/۰۵$) (جدول ۲).



شکل ۲. میانگین ± انحراف استاندارد اسیدیتهٔ خون (الف)، بی‌کربنات، اشباع اکسیژنی (ج)، بافرهای بازی، کارنوزین دختران تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده به سه نوع بازیافت فعال، غیرفعال و حرکات کششی حین آزمون شدید استقامتی تکراری

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس برای متغیرهای دستگاه تامپونی خون دختران تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده به سه نوع بازیافت فعال، غیرفعال و حرکات کششی حین آزمون شدید استقامتی تکراری

	گروه		گروه	میانگین اختلاف	خطای استاندارد	ارزش P
اسیدیتهٔ خون	دختران غیرفعال	کششی	فعال	۰/۷۴۲	۰/۶۱	۰/۲۳۵
			غیرفعال	۰/۷۴۵	۰/۶۱	۰/۲۳۴
		فعال	غیرفعال	۰/۰۰۲	۰/۶۱	۰/۹۹۶
	دختران تمرین‌کرده	کششی	فعال	۰/۰۳۸	۰/۱۴	۰/۸۱
			غیرفعال	۰/۱۲۶	۰/۱۴	۰/۷۶۵
		فعال	غیرفعال	۰/۰۲۶	۰/۱۴	۰/۰۱۲*
بیکربنات	دختران غیرفعال	کششی	فعال	۱/۷۵	۰/۳۶	۰/۴۰۱
			غیرفعال	۲/۵۶	۰/۳۶	۰/۲۲۵
		فعال	غیرفعال	۰/۸۰	۰/۳۶	۰/۷۰۰
	دختران تمرین‌کرده	کششی	فعال	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۰۳۴*
			غیرفعال	۱/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۱۸
		فعال	غیرفعال	۱/۱۹	۰/۲۷	۰/۰۳۰*
اشباع اکسیژنی	دختران غیرفعال	کششی	فعال	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۰۱۱*
			غیرفعال	۱/۴۳	۰/۵۲	۰/۲۹۴
		فعال	غیرفعال	۰/۸۷	۰/۵۲	۰/۱۱۰
	دختران تمرین‌کرده	کششی	فعال	۲/۰۹	۰/۸۷	۰/۶۶۹
			غیرفعال	۲/۴۷	۰/۸۷	۰/۰۰۹*
		فعال	غیرفعال	۰/۳۸	۰/۷	۰/۰۲۴*
بافرهای بازی	دختران غیرفعال	کششی	فعال	۳/۹۵	۰/۸۴	۰/۲۰۶
			غیرفعال	۴/۹۹	۰/۸۴	۰/۸۶۵
		فعال	غیرفعال	۱/۰۳	۰/۸۴	۰/۷۸۹
	دختران تمرین‌کرده	کششی	فعال	۲/۷۶	۰/۲۳	۰/۵۸۲
			غیرفعال	۱/۶۲	۰/۲۳	۰/ ۱۷۷
		فعال	غیرفعال	۱/۱۴	۰/۲۳	۰/.۰۳۹*
کازنوزین	دختران غیرفعال	کششی	فعال	۲/۴۴	۰/۳۶	۰/۳۰۹
			غیرفعال	۴/۳۲	۰/۳۶	۰/۰۷۹
		فعال	غیرفعال	۱/۸۷	۰/۳۶	۰/۴۳۵
	دختران تمرین‌کرده	کششی	فعال	۶/۰	۰/۲۱	۰/۷۵۱
			غیرفعال	۱/۹۰	۰/۲۱	۰/ ۳۵۱
		فعال	غیرفعال	۴/۱۰	۰/۲۱	۰/۰۰۶*

*وجود تفاوت معنادار در سطح P≤۰/۰۵

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد در دختران غیرفعال دستگاه تامپونی پاسخ متفاوتی را به انواع بازیافت نمی‌دهد. در مقابل، در دختران فعال نوع بازیافت می‌تواند در بهبود عملکرد دستگاه تامپونی تأثیرگذار باشد که از این بین بازیافت فعال تأثیر بیشتری را می‌پذیرد.

طی فعالیت‌های تناوبی شدید افزون‌بر تولید H^+ ناشی از اسید لاکتیک، بیشتر دی‌اکسید کربن تولیدشده از طریق سوخت‌وساز انرژی برای تشکیل اسید کربنیک با آب تحت تأثیر آنزیم کربنیک انیدراز (CA) با آب واکنش می‌دهد. سپس حاصل این واکنش به H^+ و HCO_3^- تجزیه می‌شود و غلظت H+خارج‌سلولی را افزایش می‌دهد (۲۳، ۲۴).

$$C_3H_6O_3+NaHCO_3 \rightarrow NaC_3H_5O_3+H_2CO_3 \rightarrow H^++HCO_3^-$$

تهویهٔ دقیقه‌ای در ورزشکاران به‌طور چشمگیری نسبت به غیرورزشکاران افزایش می‌یابد. در پاسخ به تمرین دو عامل می‌تواند موجب افزایش تهویهٔ دقیقه‌ای شود؛ یکی افزایش حجم جاری و دیگری افزایش میزان تنفس هنگام فعالیت ورزشی بیشینه (۲۵) که این افزایش تهویهٔ دقیقه‌ای سبب افزایش دفع دی‌اکسید کربن می‌شود و در پی آن تشکیل بی‌کربنات کاهش می‌یابد (۶، ۲۳)، در نتیجه H^+ بیشتری در خارج سلول تجمع می‌یابد (۲۶). کاهش PH، عامل اصلی خستگی و افت اجرا در تمرینات شدید عنوان شده است (۲۷). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ۸ هفته تمرینات استقامتی می‌تواند بر پاسخ اسیدیته به سه نوع بازیافت فعال، غیرفعال و کششی اثرگذار باشد که از این بین اثر بازیافت فعال چشمگیرتر است. با بازیافت فعال مقادیر PH پس از ۸ هفته تمرین استقامتی ارزش بیشتری دارد که در بخشی می‌توان آن را به تقویت بیشتر دستگاه هوازی (۲۸، ۲۹) و استفادهٔ کمتر از سوخت گلیکوژن (۳۰) و در نهایت تولید کمتر اسید لاکتیک و نیز توانایی دستگاه تامپونی برای خنثی کردن H^+ تولیدی نسبت داد (۳۱). از طرف دیگر، افزایش جریان خون و بازسازی ذخایر انرژی نیز می‌تواند دلیلی برای اثربخشی بیشتر بازیافت فعال باشد (۶). نعلبندیان و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی روی ۱۷ ورزشکار رابطهٔ شایان توجهی را بین تغییرات اسیدیتهٔ خون همراه با نوع بازیافت فعال یا غیرفعال بین تمرینات تناوبی شدید و اجرای این تمرینات مشاهده نکردند (۳). با وجود این سیریو و همکاران (۲۰۰۳)، بازیافت فعال را گزینهٔ مناسبی برای بهبود اجرای انقباض عضلانی با بار کاهنده عنوان کردند (۷). به‌نظر می‌رسد زمانی‌که بازیافت فعال با شدت کم و طولانی انجام می‌گیرد، نتایج شایان توجهی را نیز روی تغییرات PH بگذارد (۳).

با افزایش تعداد مولکول‌های O_2 میزان باند شدن هموگلوبین با اکسیژن بیشتر می‌شود. بنابراین، اشباع هموگلوبین از اکسیژن افزایش می‌یابد. عوامل متعددی می‌تواند بر اشباع هموگلوبین از اکسیژن تأثیر بگذارد که از جمله می‌توان به دما، ۲و۳ دی فسفوگلیسرات، فشار سهمی اکسیژن، فشار سهمی دی‌اکسید کربن و PH اشاره کرد (۳۲) که در این میان PH از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همراه با فعالیت شدید، تولید اسید در عضله و بدن افزایش می‌یابد که پیامد آن کاهش PH عضله و خون است و این سبب جدا شدن اکسیژن از هموگلوبین و در نهایت کاهش sat-O2ا خون شریانی می‌شود (۳۲، ۳۳). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میانگین اشباع هموگلوبین با اکسیژن پس از ۸ هفته تمرین استقامتی با بازیافت فعال بیشتر از بازیافت غیرفعال و حرکات کششی است. شاید بالا بودن مقدار PH با بازیافت فعال دلیلی برای بالا بودن اشباع خون شریانی با بازیافت فعال باشد. افزون‌بر این، دریافت و مصرف بیشتر اکسیژن هنگام بازیافت فعال نیز می‌تواند از جمله دلایل نتیجهٔ پژوهش حاضر باشد. در این شرایط و با مصرف بیشتر اکسیژن دستگاه هوازی به‌عنوان دستگاه تأمین انرژی غالب اسید لاکتیک تولیدی را مورد متابولیسم قرار می‌دهد و با افزایش PH میل ترکیبی هموگلوبین با اکسیژن افزایش می‌یابد. کویزومی و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که بازیافت فعال با افزایش اشباع اکسیژنی، اکسیژن‌رسانی به عضله را بهبود می‌بخشد (۳۴). نعلبندیان و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی روی ۱۷ ورزشکار نشان دادند که با بازیافتی فعال VO_2 افزایش و VCO_2 کاهش می‌یابد که در نتیجه با کاهش نسبت تبادل تنفسی، مسیر هوازی به‌عنوان مسیر اصلی تولید انرژی قرار می‌گیرد (۳) که با نتیجهٔ پژوهش حاضر همسوست. اگرچه در پژوهش حاضر اثر سازگاری تمرین و در پیشینه بیشتر پاسخ نوع بازیافت بررسی شده است (۳، ۶).

پژوهش حاضر مقدار HCO_3^- با بازیافت فعال مقادیر بیشتری را پس از ۹ هفته تمرین استقامتی نسبت به بازیافت غیرفعال و حرکات کششی نشان می‌دهد. تمرینات استقامتی شدید با القای پرتهویه‌ای به خروج CO_2 بیشتر از طریق بازدم منجر می‌شود (۲۵, ۳۵) و پاسخ آن در دورهٔ بازیافت کاهش چشمگیر تهویه خواهد بود. از آنجا که دفع دی‌اکسید کربن از ریه‌ها کاهش می‌یابد، سبب می‌شود تا CO_2 بیشتری در خون شریانی بماند و در ترکیب با آب سوخت‌وسازی مقدار بی‌کربنات بیشتری نیز تولید می‌شود (۳۶) که این مسیر احتمالاً در پژوهش حاضر با بازیافت فعال بیشتر اتفاق افتاده است. فشی و همکاران (۲۰۱۱)، نشان دادند که پاسخ بی‌کربنات به بازیافت غیرفعال بیشتر از بازیافت فعال است (۶). کاسو و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی روی ۱۱ مرد تمرینی که ۴ وهلهٔ ۱/۵ دقیقه‌ای با ۱۶۳ درصد آستانهٔ جبران تنفسی که سه نوع بازیافت فعال (۴/۵ دقیقه با ۲۴ درصد، ۶ دقیقه با ۱۸ درصد، ۹ دقیقه با ۱۲ درصد آستانهٔ جبران تنفسی) را انجام می‌دادند، مشاهده کردند که بازیافت فعال با مدت کوتاه و متوسط می‌تواند به کاهش کمتر HCO_3^- منجر شود (۳۷). با وجود این، در پژوهش‌ها گفته شده اثربخشی تمرین استقامتی بررسی نشده است. در پژوهش حاضر تأثیرات طولانی‌مدت تمرینات استقامتی شدید بر بازیافت فعال و غیرفعال بررسی شد که در این بین بازیافت فعال دارای اثر بیشتری بر افزایش بی‌کربنات خون بود که همسو با تغییرات PH و PCO_2 در پژوهش حاضر است.

برخی اجزای دستگاه‌های بافری بدن فاقد یون هیدروژن هستند (شکل آنیونی بافرها). از جمله بی‌کربنات، فسفات، پروتئین‌های با بار منفی و هموگلوبین احیاشده که چنانچه شاخص‌های اخیر همگی در حد طبیعی باشد، به آنها بافرهای بازی (BB) می‌گویند (۳۸). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با بازیافت فعال مقادیر BB خون شریانی دارای ارزش بیشتری پس از ۸ هفته تمرین استقامتی است. فشی و همکاران (۲۰۱۵) افزایش بافرهای بازی را با بازیافت غیرفعال نشان دادند (۶) که مغایر با نتیجهٔ پژوهش حاضر است. به‌نظر می‌رسد راهبرد تمرینی مانند اثر تمرین یا پاسخ حاد و شدت بازیافت و شرایط محیطی در این امر دخیل باشد، به‌گونه‌ای که در پژوهش حاضر اثر سازگاری تمرینات استقامتی بررسی شد، درصورتی‌که پژوهش فشی و همکاران پاسخ بازیافت را ارزیابی کرد (۶).

تمرینات تناوبی شدید با ویژگی تولید متابولیک‌ها به بروز برخی سازگاری‌ها مانند توانایی به تأخیر انداختن اسیدوز منجر می‌شود (۲۶). بهترین توضیح برای بهبود اجرای ورزشی عبارت است از: افزایش کارنوزین یا بتاآلانین، بهبود ظرفیت بافری و تنظیم PH خارج‌سلولی. تمرینات تناوبی شدید با القای هایپوکسی به تولید متابولیک‌های بیشتر و در نهایت بهبود ظرفیت بافری خارج‌سلولی منجر می‌شوند (۱۷). تمرین کوتاه‌مدت با شدت بالا، موجب افزایش تجمع درون‌عضلانی چندین متابولیت مانند آدنوزین دی فسفات، فسفات غیرآلی، لاکتات و یون‌های هیدروژن می‌شود. چندین عامل نقش اصلی در خستگی عضلانی در تمرین با شدت بالا دارند. آشکار شده است که کارنوزین در مقابله با هریک از سازوکارهای پیشنهادشده برای خستگی نقشی به‌عهده دارد. بعضی از نظریه‌های معمول شامل قطع اتصال عصبی عضلانی، کاهش در آزادسازی کلسیم و بازجذب کلسیم (منجر به مهار انقباض عضلانی)، تخلیهٔ ذخایر سوختی مانند ATP، تولید بنیان‌های آزاد ناشی از فشار اکسایشی و تجمع متابولیت‌هایی مانند یون‌های هیدروژن است (۱۲، ۳۹). نشان داده شده است که بتاآلانین مقادیر کارنوزین عضله را افزایش می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان یک بافر برای کاهش اسیدیته در عضلات فعال در طول تمرین با شدت بالا عمل کند (۴۰). پژوهش حاضر مقدار کارنوزین با بازیافت فعال مقادیر بیشتری را پس از ۸ هفته تمرین استقامتی نسبت به بازیافت غیرفعال و حرکات کششی نشان می‌دهد. اگرچه در زمینهٔ انواع بازیافت و تغییرات کارنوزین مطالعاتی صورت نگرفته است، با وجود این، پژوهش‌های مختلف نقش مثبت تمرینات شدید طولانی‌مدت بر میزان کارنوزین را نشان داده‌اند (۱۲، ۴۰). تغییرات متابولیکی حین تمرین، استخر فسفات‌های آزاد را افزایش می‌دهد، بنابراین بافرهای در دسترس افزایش می‌یابند (۴۱، ۴۲). نشان داده شده است که ۸ هفته تمرینات سرعتی محتوای کارنوزین عضلانی را افزایش می‌دهد، این در حالی است که دوندگان سرعت و قایقرانان محتوای کارنوزین بیشتری نسبت به دوندگان ماراتن و افراد غیرفعال دارند (۴۳). در پژوهش حاضر مقادیر کارنوزین شریانی پیش و پس از تمرینات استقامتی شدید با بازیافت فعال ارزش‌های

بالاتری را نشان داد که همسو با نتایج PH، O_2-sat، HCO_3^- و BB بود.

به‌طور خلاصه، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ۹ هفته تمرین استقامتی شدید به بهبود ظرفیت تامپونی دانشجویان دختر منجر می‌شود که این بهبود با بازیافت فعال چشمگیرتر بود. به‌نظر می‌رسد، نوع، شدت و مدت تمرینات استقامتی و انواع بازیافت و نیز شیوه‌های گوناگون ارزیابی ظرفیت تامپونی در کسب نتایج پژوهش اهمیت دارد. این در حالی است که افراد ورزشکار از مزایای بازیافت فعال حین تمرینات شدید تکراری بهرهٔ بیشتری می‌برند. پژوهش‌های آینده با بررسی اثر انواع بازیافت روی ورزشکاران مبتدی و نخبه و نیز هم‌افزایی تمرینات ورزشی و بازیافت می‌توانند اطلاعات دقیق‌تری را در اختیار مربیان و ورزشکاران قرار دهد

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری پژوهش‌محور و با حمایت مالی دانشگاه فرهنگیان است. نویسندگان از تمامی آزمودنی‌های پژوهش حاضر کمال تشکر را دارند. مراحل مختلف این تحقیق با دستورالعمل تحقیقات دانشگاه اصفهان برنامه ریزی و بوسیله کمیته اخلاق این دانشگاه با شماره مجوز (IR.UI.REC.۱۳۹۸/۰۵۲) تایید شد و مراحل کارآزمایی بالینی آن در سایت www.irct.ir با کد irct20210126050145N1 ثبت گردید.

منابع

1. Ahmaidi S, Granier P, Taoutaou Z, Mercier J, Dubouchaud H, Prefaut C. Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. Medicine and science in sports and exercise. 1996;28(4):450-6.
2. Spierer D, Goldsmith R, Baran D, Hryniewicz K, Katz S. Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. International journal of sports medicine. 2004;25(02):109-14.
3. Nalbandian HM, Radak Z, Takeda M. Active Recovery between Interval Bouts Reduces Blood Lactate While Improving Subsequent Exercise Performance in Trained Men. Sports. 2017;5(2):40.
4. Toubekis AG, Douda HT, Tokmakidis SP. Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance. European journal of applied physiology. 2005;93(5-6):694-700.
5. Jougla Aa, Micallef J, Mottet D. Effects of active vs. passive recovery on repeated rugby-specific exercises. Journal of Science and Medicine in Sport. 2010; 13(3): 350-355.
6. Fashi M, A k. The response of blood buffering capacity and H+ regulation to three types of recovery during repeated high-intensity endurance training. Research in Sport Medicine and Technology. 2011;9(2):27-40.
7. Sairyo K, Iwanaga K, Yoshida N, Mishiro T, Terai T, Sasa T, et al. Effects of active recovery under a decreasing work load following intense muscular exercise on intramuscular energy metabolism. International Journal of Sports Medicine. 2003;24(03):179-82.
8. Robergs R. Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2004;287:R502-R16.
9. Devlin J, Paton B, Poole L, Sun W, Ferguson C, Wilson J, et al. Blood lactate clearance after maximal exercise depends on active recovery intensity. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2014;54(3):271-8.
10. Keller C, Keller P, Giralt M, Hidalgo J, Pedersen BK. Exercise normalises overexpression of TNF-α in knockout mice. Biochemical and biophysical research communications. 2004;321(1):179-82.
11. Dunnett M, Harris R, Dunnett C, Harris P. Plasma carnosine concentration: diurnal variation and effects of age, exercise and muscle damage. Equine veterinary journal. 2002;34(S34):283-7.
12. Varanoske AN, Stout JR, Hoffman JR. Effects of β-Alanine Supplementation and Intramuscular Carnosine Content on Exercise Performance and Health. Nutrition and Enhanced Sports Performance: Elsevier; 2019. p. 327-44.
13. Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. Sports Medicine. 2001;31(1):1-11.
14. Bishop D, Edge J, Goodman C. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. European journal of applied physiology. 2004;92(4-5):540-7.
15. Algul S, Ozcelik O, Yilmaz B. Evaluation of relationship between aerobic fitness level and range of isocapnic buffering periods during incremental exercise test. Cell Mol Biol (Noisy-le-grand). 2017;63(3):78-82.
16. Juel C, Klarskov C, Nielsen JJ, Krustrup P, Mohr M, Bangsbo J. Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H+ release from human skeletal muscle. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 2004;286(2):E245-E51.
17. Edge J, Bishop D, Goodman C. The effects of

R, King L, Ordille GM, et al. Change in maximal fat oxidation in response to different regimes of periodized high-intensity interval training (HIIT). European journal of applied physiology. 2017;117(4):745-55.
31. Oliveira L, Salles Painelli V, Nemezio K, Gonçalves L, Yamaguchi G, Saunders B, et al. Chronic lactate supplementation does not improve blood buffering capacity and repeated high-intensity exercise. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2017;27(11):1231-9.
32. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. Physiology of sport and exercise: Human kinetics; 2015.
33. McGinley C, Bishop DJ. Influence of training intensity on adaptations in acid/base transport proteins, muscle buffer capacity, and repeated-sprint ability in active men. Journal of Applied Physiology. 2016;121(6):1290-305.
34. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, CF K, Inoue K, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. International Journal of KAATSU Training Research. 2005;1(1):6-12.
35. Kisaka T, Cox TA, Dumitrescu D, Wasserman K. CO2 pulse and acid-base status during increasing work rate exercise in health and disease. Respiratory physiology & neurobiology. 2015;218:46-56.
36. Sahlin K, Alvestrand A, Brandt R, Hultman E. Intracellular pH and bicarbonate concentration in human muscle during recovery from exercise. Journal of Applied Physiology. 1978;45(3):474-80.
37. Del Coso J, Hamouti N, Aguado-Jimenez R, Mora-Rodriguez R. Restoration of blood pH between repeated bouts of high-intensity exercise: effects of various active-recovery protocols. European journal of applied physiology. 2010;108(3):523-32.
38. Wagner PD. The physiological basis of pulmonary gas exchange: implications for clinical interpretation of arterial blood gases. European Respiratory Journal. 2015;45(1):227-43.
39. Sale C, Artioli GG, Gualano B, Saunders B, Hobson RM, Harris RC. Carnosine: from exercise performance to health. Amino acids. 2013;44(6):1477-91.
40. Varanoske AN, Hoffman JR, Church DD, Coker NA, Baker KM, Dodd SJ, et al. β-Alanine supplementation elevates intramuscular carnosine content and attenuates fatigue in men and women similarly but does not change muscle l-histidine content. Nutrition research. 2017;48:16-25.
41. Baguet A, Everaert I, De Naeyer H, Reyngoudt H, Stegen S, Beeckman S, et al. Effects of sprint training combined with vegetarian or mixed diet on muscle carnosine content and buffering capacity. European journal of applied physiology. 2011;111(10):2571-80.
training intensity on muscle buffer capacity in females. European journal of applied physiology. 2006;96(1):97-105.
18. Corder KP, Potteiger JA, Nau KL, FIGONI SE, Hershberger SL. Effects of active and passive recovery conditions on blood lactate, rating of perceived exertion, and performance during resistance exercise. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2000;14(2):151-6.
19. Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Performance for short intermittent runs: active recovery vs. passive recovery. European journal of applied physiology. 2003;89(6):548-54.
20. Draper N, Bird EL, Coleman I, Hodgson C. Effects of active recovery on lactate concentration, heart rate and RPE in climbing. Journal of sports science & medicine. 2006;5(1):97.
21. Mota MR, Dantas RAE, Oliveira-Silva I, Sales MM, da Costa Sotero R, Venâncio PEM, et al. Effect of self-paced active recovery and passive recovery on blood lactate removal following a 200 m freestyle swimming trial. Open access journal of sports medicine. 2017;8:155.
22. Hanson NJ, Scheadler CM, Lee TL, Neuenfeldt NC, Michael TJ, Miller MG. Modality determines VO2max achieved in self-paced exercise tests: validation with the Bruce protocol. European journal of applied physiology. 2016;116(7):1313-9.
23. Jones N. Hydrogen ion balance during exercise. Clinical Science. 1980;59(2):85-91.
24. Cairns SP. Lactic acid and exercise performance. Sports medicine. 2006;36(4):279-91.
25. Péronnet F, Aguilaniu B. Lactic acid buffering, nonmetabolic CO2 and exercise hyperventilation: a critical reappraisal. Respiratory physiology & neurobiology. 2006;150(1):4-18.
26. Bishop D, Edge J, Thomas C, Mercier J. Effects of high-intensity training on muscle lactate transporters and postexercise recovery of muscle lactate and hydrogen ions in women. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2008;295(6):R1991-R8.
27. Keller MA, Zylstra A, Castro C, Turchyn AV, Griffin JL, Ralser M. Conditional iron and pH-dependent activity of a non-enzymatic glycolysis and pentose phosphate pathway. Science advances. 2016;2(1):e1501235.
28. Weston AR, Myburgh KH, Lindsay FH, Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. European journal of applied physiology and occupational physiology. 1996;75(1):7-13.
29. Gibala MJ. Physiological adaptations to low-volume high-intensity interval training. Sports Science Exchange. 2015;28(139):1-6.
30. Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, Gallant

42. de Oliveira LF, da Silva RP, de Salles Painelli V, Carvalho VH, de Oliveira AHS, Saunders B, et al. Relationship between skeletal muscle carnosine content and cycling sprint performance. Journal of Science and Cycling. 2019;8(2):48.

43. Artioli GG, Gualano B, Smith A, Stout J, Lancha Jr AH. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. Med Sci Sports Exerc. 2010;42(6):1162-73.