

تأثیر دوازده جلسه تمرین با شدت زیاد در وضعیت هایپوکسی و نورموکسی بر عملکرد بی‌هوازی افراد ورزشکار

حمیدرضا برزگرپور^{۱*}، فریبرز هوانلو^۲، حمید رجبی^۳، ناصر عسکرزاده^۱

- ۱- کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید بهشتی.
 ۲- دانشیار آسیب‌شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید بهشتی.
 ۳- دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۲/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲

چکیده

هدف تحقیق حاضر مقایسه تأثیر یک دوره تمرین تناوبی شدید در وضعیت هایپوکسی و نورموکسی بر عملکرد بی‌هوازی افراد ورزشکار بود. آزمودنی‌های این تحقیق ۱۶ نفر دانشجوی داوطلب مرد بودند. آزمودنی‌ها به دو گروه هشت نفره تمرین در وضعیت هایپوکسی (ارتفاع ۳۳۰۰) و نورموکسی تقسیم شدند. عملکرد بی‌هوازی (اوج توان، میانگین توان) از طریق اجرای آزمون وینگیت و غلظت لاکتات قبل و بعد از آزمون وینگیت اندازه‌گیری شد. ۲۴ ساعت بعد، W_{max} در وضعیت هایپوکسی مشخص و ۴۸ ساعت بعد میزان W_{max} در وضعیت نورموکسی تعیین شد. برنامه تمرین هر دو گروه از نظر شدت (یک دقیقه با شدت ۸۰ درصد-۸۵ درصد W_{max} و دو دقیقه با شدت ۵۰ درصد W_{max}) و مدت تمرین (۳۰ دقیقه) یکسان‌سازی شده بود. برنامه تمرینی شامل دوازده جلسه پی‌درپی بود. بعد از آن، متغیرهای پیش‌آزمون مجدداً اندازه‌گیری شد. پس از تعیین توزیع طبیعی داده‌ها به وسیله آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، آزمون t وابسته و مستقل با سطح اطمینان $p \leq 0.05$ نشان داد این دوره تمرینی باعث بهبود در عملکرد بی‌هوازی در هر دو گروه شد. همچنین غلظت لاکتات در ۵ دقیقه بعد از آزمون وینگیت در هر دو گروه کاهش داشت، اما تفاوتی بین دوازده جلسه تمرین تناوبی در وضعیت هایپوکسی و نورموکسی بر عملکرد بی‌هوازی مشاهده نشد. در نتیجه می‌توان بیان کرد دوره تمرینی به‌کارگرفته‌شده در این تحقیق می‌تواند باعث بهبود عملکرد بی‌هوازی شود، اما مدت و شدت هایپوکسی در این تحقیق به اندازه‌ای نبوده است که بتواند عملکرد بی‌هوازی را در گروه هایپوکسی نسبت به نورموکسی بهبود بخشد. واژگان کلیدی: هایپوکسی، نورموکسی، W_{max} ، تمرین تناوبی شدید.

The effect of twelve session high intensity interval training in hypoxic and normoxic conditions on anaerobic performance in athletes

Barzegarpour, H^۱., Hovanloo, F^۲., Rajabi, H^۳., Askarzadeh, N^۱.

1- Master of Science Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Beheshti University, Iran.

2- Associate Professor Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Beheshti University, Iran.

3- Associate Professor Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Beheshti University, Iran.

Abstract

The aim of the present research is comparing the effect of periodic training in hypoxic and normoxic conditions on anaerobic performance of athletes. Subjects of this research were 16 male volunteer students. Subjects were divided to two groups of eight by exercising in hypoxic condition (H 3300) normocytic. Anaerobic performance (peak power, average power) through the Wingate test and lactate concentration were measured before and after the Wingate test. After 24 hours in hypoxic condition, and after 48 hours in normoxic condition the measures of W_{max} were determined. The intensity of exercises in both groups (one minute with intensity of 80% -85% W_{max} , and two minutes with 50% W_{max}) and exercise duration (30 minutes) were equalized. The training program consisted of 12 sessions in a row. After that the pre-test variables were measured again. After testing the normal distribution given by Kolmogorov – Smirnov test, dependent and independent t-Test with a confidence level of $0.05 \geq p$ showed that this training improved aerobic performance in both groups, also five minutes after the Wingate test lactate concentration was decreased in both groups, but there was no difference between the 12 sessions of the periodic training in hypoxic and normoxic conditions on anaerobic performance. So it can be stated that the training used in this study can improve the anaerobic performance, but the severity and duration of hypoxia used in this study was not so much to improve anaerobic performance in hypoxic group more than normocyticone.

Keywords: Hypoxia, Normoxia, W_{ma} Intenseperiodic Training.

*. hbarzegar6666@yahoo.com

مقدمه

امروزه مربیان و ورزشکاران با توجه به بالابودن سطح رقابت‌ها و نزدیک‌بودن رکوردها به هم و مهم‌تر از آن، فشرده‌بودن رقابت‌ها و کم‌بودن فاصله زمانی بین رقابت‌ها، به دنبال استفاده از روش‌های گوناگون تمرینی برای بهبود عملکرد (هوایی و بی‌هوایی) در زمانی کوتاه هستند. عملکرد هوایی و بی‌هوایی تحت تأثیر عوامل گوناگونی از جمله محیط اجرای تمرین (سرد، گرم و ارتفاع) و نوع تمرین است. برای مثال، ارتفاع یکی از عواملی است که تأثیر زیادی بر عملکرد افراد می‌گذارد. از زمانی که مسابقات المپیک در مکزیک در ارتفاع ۲۳۰۰ متری برگزار شد، تمرین در ارتفاع و وضعیت هایپوکسی در بین مربیان و ورزشکاران با هدف افزایش سطح عملکرد ورزشی در سطح دریا و همچنین آماده‌سازی برای رقابت‌هایی که در ارتفاع انجام می‌شوند مورد توجه قرار گرفت به همین دلیل، امروزه ورزشکاران و مربیان به‌ویژه در رشته‌های استقامتی اغلب تمرین‌ها در ارتفاع را به‌منزله بخشی از برنامه‌های تمرینی فصل در برنامه‌های خود می‌گنجانند؛ زیرا به‌نظر می‌رسد تغییرات فیزیولوژیکی که از طریق تمرین در ارتفاع رخ می‌دهد می‌تواند پیامدهای مثبتی در عملکردهای استقامتی و حتی سرعتی داشته باشد. هرچند الگوهای تمرینی در ارتفاع متفاوت هستند روشی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است روش زندگی در سطح دریا و تمرین در ارتفاع (LL+TH)^۱ است. در این روش، افراد در وضعیت، عادی زندگی و در ارتفاع تمرین می‌کنند. این روش خود به دو دسته تقسیم می‌شود: (۱) قرارگیری در معرض هایپوکسی به‌صورت متناوب برای استراحت (IHE)^۲ اجرای تمرین در وضعیت هایپوکسی به‌صورت متناوب (IHT)^۳ (۱). مزیت این روش (زندگی در سطح دریا و تمرین در ارتفاع) نسبت به روش‌های دیگر هایپوکسی این است که مجاورت طولانی مدت با هایپوکسی و ارتفاع بالا به کاهش توده عضلانی و عملکرد آن منجر می‌شود اما در روش زندگی در سطح دریا و تمرین در ارتفاع عضلات برای مدت کوتاهی (در طول جلسات تمرین) در معرض هایپوکسی قرار می‌گیرند و ریکاوری در حالت نورموکسی (۲) انجام می‌شود و این باعث می‌شود سازگاری مربوط به هایپوکسی در عضلات به وجود آید، بدون اینکه تأثیر منفی بر عضلات بگذارد و در نتیجه بهبود عملکرد در عضلات ایجاد شود (۳).

مطالعات متعدد نشان می‌دهند که IHT می‌تواند عملکرد بی‌هوایی را بهبود بخشد. این بهبود ممکن است از طریق افزایش ظرفیت بافری عضلات و افزایش فعالیت آنزیم‌های گلیکولیتیک باشد. تحقیقات در سطح سلولی نشان دادند که سازگاری با هایپوکسی توسط عامل نسخه‌برداری و عامل ناشی از هایپوکسی (HIF-1) انجام می‌شود (۴). فعال‌سازی HIF-1 جهت تحریک چندین ژن ضروری است که شامل کدگذاری برای اریتروپویتین، عامل رشد اندوتلیال عروقی، انتقال‌دهنده GLUT-1 (که به حرکت گلوکز در عرض غشای سلولی کمک می‌کند) و چندین آنزیم گلیکولیتیک می‌شود. افزایش mRNA برای آنزیم فسفوفروکتوکیناز بعد از تمرین در ارتفاع نیز باعث افزایش ظرفیت اجراهای بی‌هوایی می‌شود (۵، ۶). بنابراین، هایپوکسی

1. Live Low+Train High

2. Intermittent Hypoxic Exposure

3. Intermittent Hypoxic Training

می‌تواند عملکرد بی‌هوازی تأثیرگذار باشد (۳). به هر حال، اکثر مطالعات انجام‌شده درباره تأثیر IHT بر عملکرد بی‌هوازی، از تمرین‌های استقامتی استفاده کردند و هیچ‌یک از تمرینات بی‌هوازی با شدت زیاد استفاده نکرده‌اند (۷). با توجه به اینکه سودمندی تمرین با شدت زیاد به صورت متناوب (HIIT) از طریق بهبود در ظرفیت هوازی مشخص شده است، این تمرین در ورزشکاران رقابتی مانند شناگران، دوچرخه‌سواران و دونده‌ها به طور سودمند مورد استفاده قرار گرفته است (۸-۱۲). تنوع این تمرینات با توجه به اهداف برنامه‌ی تمرینی (هوازی یا بی‌هوازی) بسیار زیاد بوده است، به گونه‌ای که مطالعات قبلی در باب این نوع تمرین (HIIT) اغلب با نسبت کار به استراحت یک‌به‌یک، یک‌به‌دو یا یک‌به‌چهار با زمان تناوبی ۱۵ ثانیه الی ۲/۵ دقیقه انجام گرفته است (۱۳، ۱۴) و نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعات، سودمندی تمرین با شدت زیاد (HIIT) را تأیید کرده‌اند.

اغلب گزارش‌ها بر تغییرات ظرفیت هوازی در نتیجه HIIT با نسبت کار به استراحت یک‌به‌دو تمرکز داشته‌اند (۱۵). به هر حال، فاکس اظهار می‌کند که فعالیت شدید با نسبت کار به استراحت یک‌به‌دو باعث بهبود جریان گلیکولیتیک می‌شود. درحقیقت، یکی از مزایای تمرین با شدت زیاد نسبت به تمرین استقامتی یا قدرتی، این است که هریک از تمرین‌های استقامتی یا قدرتی از طریق یکی از راه‌های اکسیداتیو یا غیر اکسیداتیو، ATP لازم را تولید می‌کنند. درحالی‌که تمرین با شدت زیاد براساس زمان و شدت تکرار و تعداد تکرارها و زمان ریکاوری بین تکرارها می‌تواند هم از طریق اکسیداتیو و هم غیراکسیداتیو، ATP ضروری خود را تولید کند. برهمین اساس، لارسن (۲۰۰۵) نشان داد که چهار هفته HIIT می‌تواند ظرفیت بی‌هوازی را افزایش دهد (۱۱). از طرفی، به‌نظر می‌رسد تمرین در وضعیت هایپوکسی نیز بتواند باعث بهبود جریان گلیکولیتیک و عملکرد بی‌هوازی شود. مزایای IHT بر عملکرد هوازی این فرضیه را بیان می‌کند که ترکیب ورزش با هایپوکسی می‌تواند باعث بهبود عملکرد بی‌هوازی نیز بشود. اجرای تمرین در وضعیت هایپوکسی که از چند دهه اخیر شکل جدی به خود گرفته است باعث شده تا مطالعاتی در این باره انجام گیرد، اگرچه هنوز مطالعات کافی و دقیقی که مبین این مسئله باشد وجود ندارد. برخی تحقیقات نشان دادند که دوچرخه‌سواری با شدت متوسط (۲ ساعت در روز برای ۱۰ روز) در ارتفاع ۲۵۰۰ متر باعث بهبود معنی‌داری در عملکرد بی‌هوازی در طی آزمون وینگیت بی‌هوازی در سطح دریا شد. همچنین در یک تحقیق، تمرین با شدت زیاد در وضعیت هایپوکسی (۳۰ دقیقه در روز، ۵ روز در هفته برای ۶ هفته) باعث بهبود در فعالیت آنزیم فسفوفروکتوکیناز شد (۱۱). برای مثال، در مطالعه‌ای نشان داده شد که هایپوکسی با میزان ۱۰/۸ درصد در طی ۳۰-۴۵ ثانیه آزمون وینگیت، برون‌ده توانی (power out put) را محدود نکرد (۱۶). این مطالعات نشان دادند که انرژی آزادشده از طریق بی‌هوازی کاهش انرژی تولیدی از طریق هوازی را هم جبران می‌کند (۱۷). همچنین اجیتا و تاباتا افزایش کسر اکسیژن ۱۰ درصدی را در شناگران بعد از تمرین با شدت زیاد به صورت متناوب و وضعیت هایپوکسی (۳۰۰۰ متر) نشان دادند (۱۸). اما در مطالعه‌ای دیگر، تغییری در کسر

اکسیژن یا زمان شنای سرعت (۴۰۰-۱۰۰ متر) بعد از تمرین با شدت زیاد در وضعیت هایپوکسی (۲۵۰۰ متر) در مقایسه با وضعیت عادی مشاهده نشد.

حال، با توجه به مطالب بیان شده و تحقیقات انجام شده، می توان گفت که افزایش ارتفاع همراه با تغییر فشار سهمی هریک از گازهای جوی است که باعث تغییرات فیزیولوژیکی در بدن انسان می شود و این تغییرات بر عملکرد ورزشی افراد نیز اثرگذار است. افزایش ارتفاع باعث کاهش اکسیژن هوا و در نتیجه روی آوری بدن به جریان گلیکولیز بی هوازی برای تولید انرژی می شود که با افزایش تولید لاکتات در عضلات همراه است و می تواند باعث بهبود ظرفیت بی هوازی در ورزشکاران شود. از طرف دیگر، تمرین با شدت زیاد به صورت متناوب با نسبت کار به استراحت یک به دو باعث بهبود جریان گلیکولیز و در نتیجه بهبود ظرفیت بی هوازی می شود. همچنین تمرین با شدت زیاد خود باعث به وجود آمدن نوعی هایپوکسی در سطح سلولی می شود. اکنون، تحقیق حاضر بر آن است که بررسی کند آیا می توان با ترکیب هایپوکسی و تمرین تناوبی با شدت زیاد (که خود باعث ایجاد نوعی هایپوکسی در سطح سلول می شود) و ایجاد فشار بیشتر بر دستگاه بی هوازی باعث بهبود بیشتر عملکرد بی هوازی در مدت زمانی کوتاه نسبت به انجام تمرین در وضعیت نورموکسی شد؟ در صورتی که ترکیب تمرین شدید و تناوبی با هایپوکسی باعث بهبود بیشتر عملکرد بی هوازی در زمانی برابر نسبت به اجرای همان تمرین در وضعیت عادی شود، می توان آن را به عنوان یک روش تمرینی برای بهبود عملکرد بی هوازی در کوتاه مدت پیشنهاد داد تا مورد استفاده مربیان و ورزشکاران رشته های مختلف ورزشی قرار گیرد.

روش شناسی

تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی است و به روش پیش و پس آزمون انجام شده است. آزمودنی های این تحقیق شامل ۱۶ نفر از دانشجویان مرد ورزشکار (عضو تیم های دانشگاه در رشته های شنا، فوتبال و والیبال) بودند. گفتنی است زمان اجرای این تحقیق در فاصله تعطیلی تمرینات تیم های دانشگاه بود. همه آزمودنی ها رضایت نامه کتبی را تکمیل کردند. همچنین به آزمودنی ها اجازه داده شد که در هر زمانی از تحقیق آزمودنی ها را ترک کنند. هیچ کدام از آزمودنی ها سابقه مصرف دخانیات، بیماری قلبی - عروقی و متابولیکی و تمرین طولانی در ارتفاع را نداشتند و دارای دست کم ۲ دو سال سابقه ورزشی بودند و براساس W_{max} به دست آمده در وضعیت نورموکسی به دو گروه همگن تقسیم شدند. در جریان اجرای این تحقیق، دو نفر به علت مصدومیت از تحقیق کنار گذاشته شدند. در نهایت، ۱۴ نفر از آزمودنی ها در دو گروه ۷ نفری موفق به اجرای کامل تحقیق شدند. ویژگی های آزمودنی ها در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمون وینگیت: این آزمون برای هر فرد در زمانی مشخص از روز، روی کارسنج مونا رک مدل E894 انجام گرفت. آزمون به این صورت انجام گرفت که ابتدا آزمودنی‌ها در حالت استراحت کامل قرار می‌گرفتند و در این حالت، غلظت لاکتات خون آنها با نمونه‌گیری خون از نوک انگشت اشاره و با دستگاه لاکتومتر مدل Scout ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد و بعد از آن، آزمودنی برای گرم‌کردن ۵ دقیقه با مقاومت ۵۰ وات و همچنین یک وهله شش ثانیه‌ای با حداکثر سرعت رکاب می‌زد. سپس، بعد از یک دقیقه استراحت، ۳۰ ثانیه با حداکثر سرعت در برابر یک مقاومت ثابت (برابر با ۷/۵ درصد وزن بدن) رکاب می‌زد. گفتنی است که با آزمون وینگیت توان اوج و میانگین توان اندازه‌گیری شد. همچنین ۵ دقیقه پس از پایان آزمون وینگیت، لاکتات خون دوباره اندازه‌گیری شد. قابل ذکر است که آزمودنی‌ها در طی این پنج دقیقه در حالت استراحت مطلق (نشسته یا دراز کشیده روی تخت) قرار داشتند.

نحوه تعیین حداکثر توان (W_{max}): حداکثر توان (W_{max}) در یک فعالیت فزاینده با کمک کارسنج مونا رک مدل E 839 اندازه‌گیری شد. نحوه کار به این صورت بود که آزمودنی‌ها در مرحله اول ۳ دقیقه با ۲۰ وات رکاب زدند. سپس، به ازای هر یک دقیقه ۲۵ وات به بار کار افزوده شد، تا هنگامی که فرد به حالت واماندگی برسد. به این صورت که یک مرحله قبل از واماندگی به عنوان W_{max} آزمودنی انتخاب شد که براساس آن برنامه تمرین طراحی شد (۱۹).

پروتکل تمرین: برنامه تمرینی شامل دوازده جلسه تمرین با شدت زیاد بود که هر جلسه با گرم‌کردن و سردکردن، مجموعاً ۳۵ دقیقه به طول می‌انجامید. این برنامه با شدت ۸۰ تا ۸۵ درصد W_{max} در دوره‌های یک دقیقه‌ای و به دنبال آن، ۲ دقیقه با شدت ۵۰ درصد W_{max} برای هر کدام از گروه‌های تجربی دنبال شد. **گروه نورموکسی:** تمرین برای گروه نورموکسی شامل ۳۵ دقیقه فعالیت بود که به شرح ذیل انجام شد: آزمودنی‌ها ابتدا پروتکل را با گرم‌کردن به مدت ۳ دقیقه بدون بار روی کارسنج شروع کردند و سپس، افراد با شدت ۸۰ درصد W_{max} (به دست آمده در وضعیت نورموکسی) به مدت ۱ دقیقه رکاب زدند و پس از آن، به مدت ۲ دقیقه استراحت فعال لحاظ شد که آزمودنی‌ها با شدت ۵۰ درصد W_{max} (به دست آمده در وضعیت نورموکسی) رکاب زدند و ۱۰ مرحله به این صورت تا پایان پروتکل انجام شد و در انتها برای سردکردن آزمودنی‌ها ۲ دقیقه بدون بار رکاب زدند. همچنین، بعد از ۶ جلسه تمرین پی‌درپی، آزمودنی‌ها ۴۸ ساعت استراحت کرده و بعد از آن ۵ درصد به میزان شدت تمرین اضافه شد و آزمودنی‌ها ۶ جلسه دوم را با ۸۵ درصد W_{max} تمرین کردند (۱۵). در ضمن، برای یکسان‌سازی دما و رطوبت (میانگین دما و رطوبت در هر دو چادر به ترتیب معادل ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۵ درصد بود) محیط نورموکسی با هایپوکسی، از یک چادر استفاده شد که گروه نورموکسی در آن، دوره تمرینی را انجام دادند. در این چادر غلظت اکسیژن برابر با وضعیت طبیعی بود.

گروه هایپوکسی: برنامه تمرینی این گروه شبیه گروه نورموکسی بود، با این تفاوت که فعالیت آنها در وضعیت هایپوکسی با میزان ۱۴ درصد اکسیژن (معادل ارتفاع ۳۳۰۰ متر) و شدت تمرین آنها برحسب W_{max}

به دست آمده در وضعیت هایپوکسی انجام شد. ناگفته نماند که پروتکل تمرینی حاضر با انجام پایلوت های فراوان (از نظر شدت و مدت تمرین یک جلسه و طول دوره تمرین) طراحی شد. برای تعیین طبیعی بودن داده ها از آزمون کالموگراف-اسمیرنوف استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده های نرمال (توان اوج، میانگین توان، غلظت لاکتات) از آمار پارامتریک t مستقل و برای تجزیه و تحلیل داده های غیرنرمال (W_{max}) از آمار غیرپارامتریک من ویتنی برای نشان دادن اختلاف معنادار بین پیش و پس آزمون دو گروه استفاده شد و همچنین از آزمون t وابسته و آزمون ویلکاکسون برای نشان دادن اختلاف معنادار بین پیش و پس آزمون در درون گروه ها استفاده گردید. تمامی عملیات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام گردید. سطح معناداری آزمون ها $P < 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته ها

نتایج توان اوج نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه هایپوکسی و نورموکسی وجود ندارد ($p = 0.83$). همچنین نتایج میانگین توان نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه هایپوکسی و نورموکسی وجود ندارد ($p = 0.9$). همچنین نتایج W_{max} نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه هایپوکسی و نورموکسی وجود ندارد ($p = 0.8$). همچنین نتایج غلظت لاکتات نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه هایپوکسی و نورموکسی وجود ندارد ($p = 0.1$). نتایج به صورت خلاصه در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. نتایج متغیرهای تحقیق به طور خلاصه از پیش آزمون تا پس آزمون (Mean±SD)

مقدار p	گروه هایپوکسی		گروه نورموکسی		گروه فاکتور
	بعد	قبل	بعد	قبل	
$P = 0.83$	۹۰۴	۸۲۳	۹۴۳	۸۶۹	توان اوج (وات)
$P = 0.9$	۶۱۸	۵۸۹	۶۴۰	۶۰۳	میانگین توان (وات)
$P = 0.8$	۲۶۲	۲۴۵	۲۷۷	۲۶۲	W_{max} (وات)
$P = 0.1$	۹/۴	۹/۷	۸/۴۴	۱۲/۴	غلظت لاکتات (میلی مول بر لیتر)

بحث

میزان توان اوج و میانگین توان بعد از دوره تمرینی در هر دو گروه افزایش داشت. بنابراین، تمرین مورد نظر از فشار لازم برای ایجاد سازگاری در مدت کوتاه برخوردار بوده است که اهمیت تأثیر تمرینات تناوبی در مدت کوتاه را نشان می دهد. یکی از دلایل بهبود در توان اوج می تواند افزایش غلظت کراتین فسفات در عضلات اسکلتی باشد (۲۰) همچنین با توجه به نتایج تحقیق جانسون و همکاران (۱۹۹۰)، می توان یکی دیگر از دلایل محتمل را افزایش تارهای FT دانست (۲۱). عامل دیگری که می تواند این فاکتور را تحریک کند افزایش فعالیت آنزیم های بی هوازی مانند کراتین کیناز است (۲۲). بهبود در میانگین توان علاوه بر اینکه می تواند ناشی از عوامل بالا (مربوط به بهبود توان اوج) باشد، ممکن است ناشی از افزایش فعالیت آنزیم های هوازی باشد. همان طور که تحقیقات نشان دادند، ۱۳ درصد انرژی لازم در طول ۱۰ ثانیه آزمون سرعت و ۲۷

درصد انرژی ضروری در طول ۲۰ ثانیه آزمون سرعت از طریق هوازی تأمین می‌شود (۲۴،۲۳). همچنین با مقایسه نتایج بین گروهی می‌توان گفت تفاوت معناداری بین دو گروه هایپوکسی و نورموکسی وجود نداشت که نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات مورتن و همکاران (۲۰۰۵)، مارتین و همکاران (۱۹۹۶)، سالتین و همکاران (۱۹۹۶) و ولسکی و همکاران (۱۹۹۶) همسو بود. این محققان نشان دادند که تمرین در وضعیت هایپوکسی تأثیر بیشتری بر توان اوج نسبت به انجام همان تمرین در وضعیت نورموکسی نمی‌گذارد. به‌هرحال، این نتیجه با نتایج میوسن و همکاران (۲۰۰۱) (ده جلسه تمرین در وضعیت هایپوکسی و نورموکسی) و اجیتا و تاباتا (۱۹۹۹) همسو نبود. بهبود در تحقیق میوسن ممکن است به دلیل افزایش ظرفیت بافری عضلات و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های گلیکولیتیکی باشد (۲۵). احتمال می‌رود در سطح سلولی، این سازگاری‌ها در نتیجه فعال کردن فاکتور HIF1 توسط هایپوکسی رخ می‌دهد. این فاکتور برای تحریک کدگذاری آنزیم‌های گلیکولیتیکی ضروری است؛ همان‌طور که ووگت و همکاران (۲۰۰۱) بهبود معنی‌داری را در بیان ژن آنزیم‌های PFK و سترات سنتتاز بعد از شش هفته تمرین با شدت زیاد در ارتفاع ۳۸۵۰ متری در مقایسه با اجرای همان تمرین در سطح دریا گزارش کردند.

یکی از دلایل مغایر بودن نتایج تحقیق حاضر با میوسن و همکاران (۲۰۰۱) ممکن است شدت و مدت‌زمان قرارگیری در معرض هایپوکسی باشد. کل مدت‌زمان قرارگیری در معرض هایپوکسی برای هر فرد در تحقیق میوسن و همکاران ۲۰-۱۵ ساعت در کل دوره تحقیق بود، درحالی‌که در تحقیق حاضر این زمان فقط شش ساعت بود که به‌نظر می‌رسد با توجه به نتایج تحقیق میوسن و همکاران، شاید مدت‌زمان قرارگیری در معرض هایپوکسی در تحقیق ما برای تحریک بیشتر سازگاری‌های درون‌سلولی (تحریک HIF1، فعال‌شدن آنزیم‌های گلیکولیتیک) نسبت به وضعیت نورموکسی کافی نبوده است. همچنین، یکی از دلایل تفاوت در مدت‌زمان قرارگیری در معرض هایپوکسی در تحقیق حاضر با تحقیق میوسن، تفاوت در نوع تمرین است. با توجه به اینکه پروتکل تمرینی استفاده‌شده در تحقیق میوسن و همکاران یک دوره تمرین استقامتی با شدت ۷۰-۶۰ درصد ضربان قلب بوده است و با توجه به اینکه این نوعی تمرین، تمرین با شدت پایین است، آزمودنی‌ها می‌توانستند این پروتکل را در زمان طولانی‌تری (۲ ساعت) در هر جلسه انجام دهند، اما پروتکل تحقیق حاضر از نوع تمرین با شدت زیاد بود که انجام آن به مدت طولانی سخت است (ماهیت تمرین با شدت بالا کوتاه‌مدت بودن است) و با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر بررسی یک دوره کوتاه‌مدت تمرین در وضعیت هایپوکسی و نورموکسی بر عملکرد بی‌هوازی بود، امکان افزایش تعداد جلسات تمرین و دوره تمرین نیز وجود نداشت. همچنین علت مغایر بودن نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق اجیتا و تاباتا (۱۹۹۹) ممکن است این باشد که در تحقیق اجیتا و تاباتا گروه کنترلی وجود نداشت که پروتکل تمرینی را در وضعیت نورموکسی انجام دهد؛ بنابراین، نمی‌توان این بهبود ده درصدی در عملکرد بی‌هوازی ناشی از تمرین با شدت زیاد در وضعیت هایپوکسی را به دلیل دخالت هایپوکسی دانست یا تمرین. همچنین در این تحقیق هیچ‌گونه آزمون عملکردی برای نشان‌دادن بهبود عملکرد بی‌هوازی اجرا نشد و فقط از طریق اندازه‌گیری کسر

اکسیژن این بهبود را بیان کردند. دلیل محتمل دیگر که تحقیق حاضر نتوانست بهبود بیشتر عملکرد بی‌هوازی را در وضعیت هایپوکسی نسبت به نورموکسی نشان دهد، میزان هایپوکسی (ارتفاع انتخاب شده) استفاده شده در این تحقیق بود. همان‌طور که برخی تحقیقات نشان دادند، هایپوکسی با شدت کم یا متوسط نمی‌تواند باعث به‌کارگیری بیشتر مسیر بی‌هوازی شود (۲۷، ۲۶، ۱۸). یوجی آگارا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که میزان انرژی تولید شده از طریق بی‌هوازی در وضعیت هایپوکسی برابر با ۱۲/۷ درصد اکسیژن، نسبت به وضعیت نورموکسی و هایپوکسی برابر با ۱۶/۴ درصد اکسیژن بیشتر بوده است (۱۷). میزان W_{max} بعد از دورهٔ تمرینی در هر دو گروه افزایش داشت. بنابراین، تمرین مورد نظر از فشار لازم برای ایجاد سازگاری در مدت کوتاه برخوردار بوده است که اهمیت تأثیر تمرینات تناوبی در مدت کوتاه را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ۱۲ جلسه تمرین تناوبی با شدت زیاد در وضعیت هایپوکسی و نورموکسی بر W_{max} وجود ندارد. با مقایسهٔ درون‌گروهی داده‌ها مشاهده شد که میزان W_{max} بعد از دورهٔ تمرینی در هر دو گروه افزایش داشته است که این افزایش ناشی از تمرین بوده است نه وضعیت تمرین (محیط هایپوکسی یا نورموکسی).

W_{max} یک فاکتور هوازی-بی‌هوازی است و بهبود در W_{max} می‌تواند ناشی از بهبود در بخش هوازی یا بی‌هوازی یا بهبود در هر دو بخش باشد. یکی از علل بهبود W_{max} در تحقیق حاضر می‌تواند افزایش سطح آنزیم‌های اکسیداتیو در درون سلول باشد (۲۸، ۶). همچنین تحقیقات نشان دادند که تمرین با شدت زیاد قادر است هم دستگاه انرژی هوازی و هم بی‌هوازی را بهبود ببخشد (۳۰، ۲۹). یکی دیگر از دلایل محتمل می‌تواند افزایش آستانه بی‌هوازی باشد که این افزایش ممکن است ناشی از کاهش در تولید لاکتات یا افزایش برداشت باشد. مقایسهٔ درون‌گروهی با آزمون t وابسته نشان داد که آستانه لاکتات (WLT) در هر دو گروه هایپوکسی (۱۳،۳۶ درصد) و نورموکسی (۹،۳۶ درصد) افزایش پیدا کرده است. این افزایش در گروه هایپوکسی معنی‌دار بوده است. با توجه به اینکه تحقیقات نشان دادند تمرینات ورزشی به‌تنهایی می‌تواند باعث افزایش ظرفیت تامپونی شوند، اگر با وضعیت هایپوکسی ترکیب شود باعث بهبود بیشتر ظرفیت تامپونی می‌شود. همچنین، با مقایسهٔ نتایج بین‌گروهی می‌توان گفت تفاوت معناداری بین دو گروه هایپوکسی و نورموکسی وجود نداشت که نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات ترادوس و همکاران (۱۹۸۸)، لیون و همکاران (۱۹۹۲)، انگفرد و همکاران (۱۹۹۴)، امونسون و همکاران (۱۹۹۷)، گیسرو و همکاران (۲۰۰۱) و ماسودا و همکاران (۲۰۰۱) همسو و با نتایج میوسن و همکاران (۲۰۰۱) ناهمسو است. یک دلیل ممکن برای بهبود در W_{max} گروه هایپوکسی در تحقیق میوسن، تقویت عضلات تنفسی است. تقویت عضلات تنفسی که بر اثر پر تهویه‌ای اتفاق می‌افتد می‌تواند باعث بهبود عملکرد هوازی شود. پر تهویه‌ای می‌تواند در نتیجهٔ قرارگیری طولانی در معرض هایپوکسی رخ دهد (۳۲، ۳۱). همان‌طور که بریسچ و همکاران (۲۰۰۳) این سازوکار را برای افزایش میزان تهویه و VO_{2max} بر اثر چهار هفته تمرین در وضعیت هایپوکسی گزارش کردند (۳۳). در تحقیق میوسن مدت زمان قرارگیری در معرض هایپوکسی برای هر آزمودنی، در هر روز ۲

ساعت بوده که این مدت زمان برای ایجاد پر تهویه‌ای و تقویت عضلات تنفسی و در نتیجه بهبود عملکرد هوازی در گروه هایپوکسی زمان کافی و مناسبی است، اما در تحقیق حاضر، با توجه به نوع تمرین، مدت زمان قرارگیری هر فرد در معرض هایپوکسی در هر روز ۳۰ دقیقه بود که شاید این مدت نتوانسته باعث تقویت عضلات تنفسی و بهبود عملکرد هوازی در یک دوره کوتاه شود. تحقیقات نشان دادند که مهم‌ترین سازگاری فیزیولوژیکی که بر اثر کاهش اکسیژن (PiO_2) به وجود می‌آید، افزایش ترشح اریتروپویتین (EPO) از کلیه‌هاست که این باعث افزایش تعداد گلبول‌های قرمز خون می‌شود. به دنبال افزایش تعداد گلبول‌های قرمز، عملکرد هوازی نیز بهبود می‌یابد (۳۴).

یکی از دلایلی که تحقیق حاضر نتوانست این بهبود را گزارش کند، محیط اجرای تمرین برای گروه نورموکسی بود. گروه نورموکسی در تحقیق حاضر بنا به شرایط آزمایشگاه در ارتفاع ۱۷۰۰ متری تمرین می‌کردند و این خود می‌تواند یکی از عواملی باشد که تفاوت معناداری بین عملکرد دو گروه گزارش نشود. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که تفاوتی بین ۱۲ جلسه تمرین تناوبی با شدت زیاد در وضعیت هایپوکسی و نورموکسی بر غلظت لاکتات وجود ندارد. همچنین بررسی درون‌گروهی داده‌ها نشان داد که بعد از اتمام دوره تمرینی، غلظت لاکتات موجود در خون بعد از آزمون وینگیت در هر دو گروه به‌ویژه در گروه هایپوکسی کاهش داشته است. یکی از دلایل محتمل برای این کاهش غلظت، کاهش در ساخت لاکتات است. با احتیاط می‌توان بیان کرد که پروتکل استفاده‌شده در این تحقیق باعث تولید بیشتر انرژی از مسیر هوازی شده است و این باعث تقویت مسیر هوازی شده است. افزایش تولید انرژی از طریق هوازی و اکسایش پیرووات باعث می‌شود که دستگاه بی‌هوازی برای تولید انرژی کمتر درگیر شود و این باعث کاهش در تولید لاکتات می‌شود (۱۴). یکی دیگر از دلایل محتمل می‌تواند افزایش سرعت پالایش و برداشت لاکتات از خون توسط کبد، عضلات اسکلتی، عضله قلبی و سایر بافت‌های بدن باشد. همچنین، کاهش بیشتر غلظت لاکتات در گروه هایپوکسی نسبت به نورموکسی می‌تواند ناشی از این باشد که محیط هایپوکسی باعث تقویت بیشتر دستگاه هوازی شده است که تقویت دستگاه هوازی و اکسایش پیرووات باعث کاهش تولید لاکتات می‌شود.

نتیجه‌گیری

در پایان می‌توان گفت مدت زمان قرارگیری هر آزمودنی در معرض هایپوکسی یا ارتفاع انتخاب‌شده در تحقیق حاضر برای بهبود بیشتر عملکرد بی‌هوازی کافی نبوده است، اما تمرین استفاده‌شده در تحقیق حاضر برای بهبود عملکرد بی‌هوازی یک تمرین مناسب بوده است و مربیان و ورزشکاران می‌توانند از این پروتکل تمرینی برای بهبود عملکرد بی‌هوازی در مدت زمان کوتاه استفاده کنند.

منابع

1. Wilber, R.L. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 39(9): 1610-24.
2. Bonetti, D.L., Hopkins, W.G. (2009). Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia. *Sports Medicine*. 39(2): 107-27.
3. Vogt, M., Hoppeler, H. (2010). Is hypoxia training good for muscles and exercise performance?. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 52(6): 525-33.
4. Semenza, G.L. (2001). HIF-1 and mechanisms of hypoxia sensing. *Current Opinion in Cell Biology*. 13(2): 167-71.
5. Bailey, D.M., Davies, B., Baker, J. (2000). Training in hypoxia: modulation of metabolic and cardiovascular risk factors in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32(6): 1058-66.
6. Melissa, L., Maccougall, J.D., Tarnopolsky, M.A., Cipriano, N., Green, H.J. (1997). Skeletal muscle adaptations to training under normobaric hypoxic versus normoxic conditions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 29(2): 238-43.
7. Hamlin, M., Marshall, H., Hellemans, J., Ainslie, P., Anglem, N. (2010). Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 20(4): 651-61.
8. Burgomaster, K.A., Howarth, K.R., Phillips, S.M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M.J., McGee, S.L. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of Physiology*. 586(1): 151-60.
9. Gibala, M.J., McGee, S.L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain?. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 36(2): 58-63.
10. Laursen, P.B., Jenkins, D.G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine*. 32(1): 53-73.
11. Laursen, P.B., Shing, C.M., Peake, J.M., Coombes, J.S., Jenkins, D.G. (2005). Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 19(3): 527-33.
12. Libicz, S., Roels, B., Millet, G.P. (2005). Responses to intermittent swimming sets at velocity associated with max. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 30(5): 543-53.
13. Billat, V., Slawinski, J., Bocquet, V., Chassaing, P., Demarle, A., Koralsztein, J. (2001). Very Short (15s-15s) Interval-Training Around the Critical Velocity Allows Middle-Aged Runners to Maintain V' O₂ max for 14 minutes. *International Journal of Sports Medicine*. 22(03): 201-8.
14. Ziemann, E., Grzywacz, T., Luszczuk, M., Laskowski, R., Olek, R.A., Gibson, A.L. (2011). Aerobic and anaerobic changes with high-intensity interval training in active college-aged men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 25(4):1104-12.
15. Morton, J.P., Cable, N.T. (2005). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic and anaerobic performance. *The Journal of Ergonomics*. 48(11-14):1535-46.
16. McLellan, T., Kavanagh, M., Jacobs, I. (1990). The effect of hypoxia on performance during 30 s or 45 s of supramaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 60(2):155-61.
17. Ogura, Y., Katamoto, S., Uchimaru, J., Takahashi, K., Naito, H. (2006). Effects of low and high levels of moderate hypoxia on anaerobic energy release during supramaximal cycle exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 98(1):41-7.
18. Ogita, F., Tabata, I. (1999). The effect of high-intensity intermittent training under a hypobaric hypoxic condition on anaerobic capacity and maximal oxygen uptake. *The Journal of Biomechanics and Medicine*. 423-7.
19. Rusko, H., Tikkanen, H., Peltonen, J. (2004). Altitude and endurance training. *Journal of Sports Sciences*. 22(10):928-45.
20. Rodas, G., Ventura, J.L., Cadefau, J.A., Cussó, R., Parra, J. (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European Journal of Applied Physiology*. 82(5-6):480-6.
21. Jansso, E., Esbjörnsson, M., Holm, I., Jacobs, I. (1990). Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiologica Scandinavica*. 140(3):359-63.
22. MacDougall, J.D., Hicks, A.L., MacDonald, J.R., McKelvie, R.S., Green, H.J., Smith, K.M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology*. 84(6):2138-42.
23. Bogdanis, G., Nevill, M., Lakomy, H., Boobis, L. (1994). Muscle metabolism during repeated sprint exercise in man. *Journal of Physiology London*. 5(2), 1001-42.
24. Kavanagh, M., Jacobs, I. (1988). Breath-by-breath oxygen consumption during performance of the Wingate Test. *Canadian Journal of Sport Sciences*. 13(1):91-3.
25. Mizuno, M., Juel, C., Rasmussen, T., Mygind, E., Schibye, B., Rasmussen, B. (1990). Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *Journal of Applied Physiology*. 68(2):496-502.
26. Fujimaki, T., Asano, K., Mizun, K., Okazaki, K. (1999). Effects of high-intensity intermittent training at simulated altitude on aerobic and anaerobic capacities and response to supramaximal exercise. *Advances in Exercise and Sports Physiology*. 5(3):61-70.
27. Truijens, M.J., Toussaint, H.M., Dow, J., Levine, B.D. (2003). Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *Journal of Applied Physiology*. 94(2):733-43.
28. Terrados, N., Jansson, E., Sylven, C., Kaijser, L. (1990). Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin?. *Journal of Applied Physiology*. 68(6):2369-72.
29. Lindsay, F.H., Hawley, J.A., Myburgh, K.H., Schomer, H.H., Noakes, T.D., Dennis, S.C. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 28(11):1427-34.
30. Weston, A.R., Myburgh, K.H., Lindsay, F.H., Dennis, S.C., Noakes, T.D., Hawley, J.A. (1996). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 75(1):7-13.
31. Wolski, L.A., McKenzie, D., Wenger, H. (1996). Altitude training for improvements in sea level performance. *Sports Medicine*. 22(4):251-63.
32. Böning, D. (1997). Altitude and hypoxia training-a short review. *Sports Medicine*. 18(08):565-70.

33. Borisch, S., Bärtsch, P., Friedmann, B. (2002). Effects of strength endurance training in hypoxia on endurance capacity, blood volume on erythropoietin. *Sports Medicine*. 23(2):187-60.
34. Bailey, D.M., Davies, B. (1997). Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *British Journal of Sports Medicine*. 31(3):183-90.