تأثیر تمرین عضلات تنفسی در ارتفاع بر مصرف انرژی دمی، اشباع اکسیژن سرخرگی و عملکرد ۱۵۰۰ متر دوندگان استقامت تیم ملی

روح اله محمدی میرزایی[۱]✉، شادمهر میردار[۲]
۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی دانشگاه مازندران
۲. دانشیار دانشگاه مازندران

تاریخ دریافت مقاله:۹۵/۳/۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۳/۳۰

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی اثرات یک دوره تمرین عضلات دمی در ارتفاع بر انرژی مصرفی دمی، اشباع اکسیژن سرخرگی و عملکرد دوندگان تیم ملی استقامت بود.۱۲مرد دونده استقامت تیم ملی (سن۳/۱۴±۲۴/۴۱سال، قد۴/۲۳±۱۸۰/۵۰سانتی‌متر، وزن ۳/۴۶± ۶۶/۷۵ کیلوگرم، BMI۱/۰۷±۲۰/۵۳درصد) در شرایط هایپوکسی به طور تصادفی به دو گروه تمرین عضلات دمیIMTو کنترل تقسیم شدند. از آزمودنی‌ها آزمون‌های دوی۱۵۰۰متر، حداکثر قدرت عضلات دمی(S-Index)، انرژِی مصرفی عضلات دمی و SpO2 قبل و ۲۴ساعت بعد انجام شد. برنامه تمرینی شامل تمرینات مشابه تداومی، تناوبی، هوازی و مقاومتی برای هر دو گروه بود. دوندگان، به طور میانگین ۱۶جلسه در هفته به مدت چهار هفته زندگی در ارتفاع، تمرین در ارتفاع و تمرین در پایین (اجرای۳ جلسه تمرین فقط روزهای زوج در ارتفاع پایین و ادامه تمرینات به همراه خواب در ارتفاع بالا)در تمرینات حضور یافتند. تمرینات عضلات دمی برای گروه IMT شامل۳۰ تکرار با بینی بسته ۲ بار در روز (صبح و عصر) ۷ روز هفته به مدت چهار هفته با٪۵۰ S-Index اجرا گردید. برای تحلیل داده‌ها از روش آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در سطح معنی‌داری (P≤۰/۰۵) استفاده شد. تمرین عضلات دمی منجر به کاهش معناداری در زمان دوی ۱۵۰۰ متر، افزایش قدرت عضلات دمی از قبل تا بعد از تمرین و عدم تفاوت بین گروهی در انرژی مصرفی دو گروه شد. تفاوت معناداری SpO2 مشاهده نگردید (P≤۰/۰۵). به طور کلی به نظر می‌رسد استفاده از تمرین عضلات دمی به همراه تمرین اختصاصی در شرایط هایپوکسی، موجب افزایش قدرت عضلات دمی، بهبود کار تنفسی، کاهش میزان تهویه و کاهش زمان دوی ۱۵۰۰ متر در ارتفاعات پایین‌تر می‌گردد.

کلید واژه‌ها: تمرین عضلات تنفسی، هایپوکسی، SpO2، عملکرد استقامت، مصرف بهینه انرژی

Effect of inspiratory muscle training at high altitude on energy cost, arterial oxygen saturation and 1500m performance of national team's endurance runners

Abstract

Purpose: The aim of this study was to investigate the effect of inspiratory muscle training at high altitude on Energy cost, peripheral capillary oxygen saturation and 1500m performance among endurance runners. **Methods:** The study was carried on a group of Twelve endurance male runners (age: 244.41±3.14yrs, height: 180.5±4.23cm, weight: 66.75±3.46 kg, Body mass index: 20.53±1.07) among Iranian national team were randomly divided into case IMT training and control group in hypoxic condition. Exhaustive testing 1500m, energy coast, strength Index and arterial oxygen saturation tests were taken before and 24hour after. Training program include same continues, interval, aerobic and resistance training for two groups. Runners performed 16 training session per week in high live train high and low (LHTH,L) within four weeks (just 3 training sessions per week at even days performed at low altitude). **Results:** *Data were analyzed by analysis* of ANOVA repeated measure (P≤0.05). Inspiratory muscle training at hypoxia due to significant decrease in 1500m running time, inspiratory muscle strength and Energy coast in both group, but the differences in peripheral capillary oxygen saturation were not significant (P≤0.05). **Conclusions:** This study suggests that using inspiratory muscle training along with specified training in hypoxia increases inspiratory muscle strength and reduction in the work of breathing meanwhile it decreases ventilation and 1500meter running time in lower altitude.

Keywords: Respiratory muscle training- Hypoxia- SpO2- endurance performance- Energy cost

✉ **نویسنده مسئول:** روح اله محمدی میرزایی تلفن:۰۹۳۵۲۱۵۲۰۱۱
دانشگاه مازندران، دانشکده تربین بدنی و علوم ورزشی
پست الکترونیکی coach.iri@gmail.com

مقدمه

قرار گرفتن در معرض محیط هایپوکسی باعث می‌شود، کلیه سیستم‌های عملکردی بدن از جمله سیستم عضلانی، سیستم قلبی، عروقی و تنفسی با چالش های جدی از جمله تغییر در مکانیک تنفس روبرو شوند. در شرایط هایپوکسی کار تنفسی به علت کاهش فشار سهمی اکسیژن و کاهش تراکم گاز افزایش می‌یابد. این امر با خستگی عضلات تنفسی همراه است که منجر به افزایش WOB[1] و تضعیف مکانیک تنفس می‌گردد و این عمل باعث افزایش پارامترهای تهویه‌ای از قبیل حداکثر تهویه دقیقه‌ای و حداکثر فشار بازدمی و افزایش مصرف انرژی عضلات تنفسی می‌گردد (۱). در گذشته اجرای تمرینات به منظور بهبود عملکرد، دقیقاً بر روی عضلات محیطی و قلبی و عروقی متمرکز بوده است که در این تمرینات کل و یا قسمتی از بدن درگیر می‌گردید. برخی مطالعات حاکی از آن است که استفاده از تمرین عضلات تنفسی[2] (RMT) می‌تواند باعث بهبود عملکرد ورزشی از طریق مکانیسم‌های کاهش در میزان تنگی نفس[3] (RPB)، کاهش در میزان تلاش برای تنفس[4](RPE)، افزایش قدرت عضلات دمی[5] (s-index) ، و تضعیف پدیده بازتاب متابولیکی گردد. این اعمال باعث نگه داشتن و دستیابی ورزشکاران به حداکثر فلات عملکردی[6] می‌گردد (۲). تمرین عضلات تنفسی در طول مدت زمان اجرای تمرین باعث کاهش در متابولیسم عضلات تنفسی، کاهش در انباشتگی متابولیک‌ها و به تأخیر انداختن پاسخ گیرنده‌های متابولیکی می‌شود. این مکانیسم‌ها باعث کاهش در کار عضلات تنفسی می‌شوند در ابتدا به فرد اجازه می‌دهد که از الگوی تنفسی آهسته‌تر استفاده کند. دوم اینکه باعث کاهش در مقاومت راه‌های هوایی با افزایش سطوح نیتریک اکساید ایجاد می‌گردد. سوم اینکه افزایش در مکانیک موثر در عضلات تنفسی با بهبود در قدرت و کاهش در مقاومت راه‌های هوایی همراه است (۳). مشابه آن چه که با اجرای تمرینات استقامتی و تمرین در شرایط هایپوکسی در عضلات اسکلتی رخ می‌دهد، IMT نیز باعث افزایش آنزیم‌های اکسیداتیو و تغییر در نوع و اندازه فیبرهای عضلانی در عضلات تنفسی می‌گردد. تمرین و تقویت عضلات دمی باعث افزایش حداکثر قدرت عضلات دمی می‌شود که این امر باعث افزایش در میزان حجم جاری، کاهش تعداد تنفس در طی تمرین و افزایش در بهینه مصرف انرژی عضلات ریوی و در نهایت بهبود عملکرد ورزشی را به همراه خواهد داشت(۴).

یکی از روش‌های تمرین در ارتفاع طبیعی و هایپوکسی که ورزشکاران جهت بهبود عملکرد استفاده می‌کنند، شیوه زندگی در ارتفاع، تمرین در ارتفاع و تمرین در پایین[7] (LHTH,L) است. اجرای تمرینات استقامتی و قدرتی در ارتفاع از قبیل تمرینات با وزنه، پلایومتریک و شیب، باعث افزایش متابولیسم گلیکولیتیکی، و افزایش تولید انرژی از طریق مسیرهای بی‌هوازی به عنوان یک مکانیسم جبرانی جهت استفاده سریع‌تر از گلوکز به منظور مصرف بهینه انرژی می‌گردد(۵, ۶).

عواقب ناشی از هایپوکسی و تمرین در ارتفاعات باعث بهبود SpO2[8] و افزایش تحمل به فشار تمرین می‌گردد. مطالعات در رشته‌های دوچرخه سواری(۷)، قایقرانی(۸)، شنا (۹) و در دوندگان استقامت (۱۰) بر روی عملکرد ورزشی و ظرفیت‌های تمرینی، بهبود قابل ملاحظه‌ای در عملکرد ورزشی بعد از اجرای تمرینات IMT/RMT را گزارش کردند. تورنر و همکاران (۲۰۱۰) و آمارجی (۲۰۱۰) در مطالعات خود دریافتند که استفاده از روش‌های مختلف تمرینی در شرایط هایپوکسی جهت بهبود عملکرد ورزشی، با افزایش در متابولیسم‌های هوازی و بی‌هوازی همراه است(۱۱, ۱۲). میچ لوماکس[9] (۲۰۱۰) با بررسی تأثیر تمرین عضلات دمی روزانه ۳۰ تکرار با ۵۰٪ حداکثر قدرت عضلات دمی به مدت ۴ هفته در ۱۴ کوهنورد کوه نپال افزایش ۵٪ را در SaO2 بعد از IMT را گزارش کردند(۱۳). گودریچ[10] (۲۰۱۴) در مردان با فعالیت بدنی ۵ روز در هفته و هر روز به مدت ۳۰ دقیقه افزایش ۲٪ را در SaO2 گزارش کرد(۱۴). آلوارز هلمسا و همکاران[11] (۲۰۱۴) با بررسی ظرفیت‌های بی‌هوازی بعد از تمرینات استقامتی قدرتی در سطح دریا و ارتفاع ۲۵۰۰ متری، بهبود(۶/۷۵٪) در عملکرد پرش به سمت بالا در ارتفاع نسبت به سطح دریا را گزارش نمودند. آن‌ها در گزارشات خود بهبود

۳۲/۹٪ در تمرینات اینتروال بعد از ارتفاع و بهبود (۲۱/۹٪) را بعد از تمرین در شرایط نورموکسی اعلام کردند(۶). آستین چپ و بهپور (۱۳۹۴) در پژوهشی تحت عنوان تأثیر شش هفته تمرین عضلات دمی (IMT) بر سرعت شنا، تغییر معناداری IMT بر عملکرد مسافت ۲۵ متر در گروه تمرین را گزارش کردند ولی در ۵۰ و ۱۰۰ متر، تغییر معنادار نبوده است(۱۵).

نتایج متناقضی از تأثیر IMT بر بهبود عملکرد ورزشی گزارش شده است(۲, ۱۶). به طوری که در برخی از تحقیقات تفاوتی در سرعت اجرای دوچرخه سواری، دویدن و شنا کردن در حین استفاده از IMT در مقایسه با گروه کنترل دیده نشده است (۷, ۱۷, ۱۸). در پژوهش انجام شده بروی قایقرانان، عدم تغییر پس از RMT/IMT گزارش گردید(۸). استنباط برخی از مطالعات در خصوص تغییر VO2max بعد از IMT مورد قبول واقع نشده است. به هر حال VO2max تنها عامل تعیین کننده عملکرد تمرین استقامتی نیست. تقاضای فیزیولوژیکی از مکانیک کار تنفس یا انرژی مصرفی تنفسی باعث خستگی عضلات تنفسی و کاهش قدرت عضلات دمی در طی فعالیت‌های شدید می‌شود. ظاهراً این عوامل بر بهبود عملکرد استقامتی تأثیر گذار هستند. بیشتر مطالعاتی که پاسخ‌های IMT بر روی عملکرد ورزشی را بررسی کرده‌اند از تمرینات در شرایط نورموکسی و هایپوکسی هیپوباریک استفاده نموده‌اند و در شرایط ارتفاع طبیعی استفاده نشده است. لذا شناخت صحیح از اجرای فعالیتهای ورزشی در ارتفاع به همراه استفاده از تجهیزات مناسب تمرینی جهت ارتقای عملکرد ورزشکاران حرفه‌ای، از اهمیت زیادی برخوردار است. متأسفانه مطالعات کنترل شده‌ای وجود ندارند که حداکثر قدرت عضلات دمی، انرژی مصرفی عضلات دمی و درصد اکسیژن شریانی ورزشکاران حرفه‌ای در شرایط ارتفاع طبیعی و متعاقب آن عملکرد را بررسی کرده باشند. بنابراین، پژوهش حاضر در نظر دارد اثرات یک دوره تمرین عضلات دمی در ارتفاع بر انرژی مصرفی دمی، درصد اشباع اکسیژن سرخرگی و عملکرد ۱۵۰۰ متر دوندگان استقامت تیم ملی را مورد بررسی قرار دهد.

روش پژوهش

نمونه های پژوهش : پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی و به شکل آزمایشگاهی و میدانی انجام شد. نمونه آماری این پژوهش را ۱۲ دونده مرد عضو تیم ملی دوهای استقامت کشور ترکیبی از ۲ دونده در ماده ۱۵۰۰ متر، ۲ دونده در مواد ۵۰۰۰متر، ۱۰۰۰۰متر به همراه ۲ دونده در ماده صحرانوردی در گروه کنترل و ۱دونده در ماده ۱۵۰۰ متر، ۲ دونده در مواد۵۰۰۰متر، ۱۰۰۰۰متر به همراه ۳ دونده در ماده صحرانوردی در گروه تمرین با میانگین سن ۲۴ سال، بعضی با عناوین آسیایی تشکیل می‌دادند که به صورت داوطلبانه در مطالعه شرکت کردند. آزمودنی‌های پژوهشی در طی ۳ سال گذشته در عضویت تیم ملی به مسابقات قهرمانی آسیا اعزام شده بودند و هنگام اجرای پژوهش در اردوی تدارکاتی تیم ملی جهت اعزام به مسابقات قهرمانی آسیای چین ۲۰۱۵ در پژوهش شرکت کردند.

اندازه‌گیری اولیه: یک هفته قبل از آزمون، برای اطمینان از وضعیت سلامت آزمودنی‌ها و عدم سابقه بیماری قلبی- عروقی، دیابت، بیماری‌های عفونی و شرایط آلرژی، مصرف سیگار و یا هر نوع دارو و مکمل، پرسشنامه پزشکی سلامت مورد استفاده قرار گرفت. پس از یک دوره ۴۵ روزه بی‌تمرینی بعد از پایان مسابقات فصل به شکل (دوره بی‌تمرینی دوندگان به صورت استراحت فعال و با اجرای فعالیت‌هایی از قبیل شنا، کوهنوردی، پینگ پنگ و... همراه بوده است)[۱۲]، کلیه دوندگان تمرینات آمادگی عمومی خود را به مدت ۴ هفته پشت سر گذاشته بودند. کلیه دوندگان به منظور اندازه گیری قد، وزن، BMI و آشنایی با نحوه کار با دستگاه پاور برث[۱۳] (ساخت انگلیس) و اکسی متر مدل اسپیرولب، محصول کمپانی MIR (کشور ایتالیا) در مرکز سنجش آکادمی ملی المپیک حضور یافتند.

پروتکل پژوهش: آزمودنی‌ها با آرایش تصادفی در دو گروه کنترل (۶نفر) و گروه تمرین IMT (۶نفر) تقسیم‌بندی شدند. سپس در پیست استاندارد ۴۰۰ متری در ارتفاع متوسط ۱۴۰۰ متری، اجرای عملکرد دوی ۱۵۰۰ متر از هر دو گروه به عمل آمد و پس از ۲۴ ساعت با استفاده از

دستگاه Power Breathe اندازه‌گیری شاخص‌های دمی از قبیل حداکثر قدرت عضلات دمی[۱۴] با محاسبه میانگین ۳ عمل دم عمیق، انرژی مصرفی عضلات دمی[۱۵] در پایان ۳۰ عمل دم پیوسته عمیق و با استفاده از اکسیمتر اندازه‌گیری SpO2 در حالت استراحت در ارتفاع انجام شد. دوندگان دوره هایپوکسی خود را به مدت ۴ هفته همزمان با تمرینات اختصاصی به روش (R2M)، در ارتفاع ۲۵۰۰ متری (در این پژوهش شرایط هایپوکسی طبیعی با ارتفاع ۲۵۰۰ متر بالاتر از سطح دریا، ارتفاع در نظر گرفته شده است) کوه‌های زاگرس گردنه زالیان در فاصله ۲۵ کیلومتری شهرستان بروجرد از توابع استان لرستان با حجم تمرین ۱۴۰-۱۷۰ کیلومتر در هفته، به طور متوسط ۱۶جلسه در هفته و به صورت ۲-۳ جلسه در روز (ساعت۶ صبح، ۱۰ صبح و ۱۶عصر) که ترکیبی از تمرینات استقامتی، سرعتی، قدرتی و پلایومتریکی با شدت و حجم‌های متفاوت بود (جدول شماره۲)اجرا کردند. ۲۴ ساعت پس از آخرین روز پایان هفته ۴ از کلیه دوندگان طبق روشی یاد شده شاخص‌های عضلات دمی و SpO2 در ارتفاع و آزمون اجرای عملکرد دوی ۱۵۰۰ متر در ارتفاع متوسط ۱۴۰۰ متری (نورموکسی) به اجرا درآمد. تمرینات میدانی به صورت زندگی در ارتفاع، تمرین در ارتفاع و در پایین (LHTLH)، اجراء گردید.

جهت اجرای برنامه تمرین IMT ابتدا S-Index (حداکثر قدرتی را که عضلات دمی می‌توانند بر حسب cmH2O عمل دم انجام دهند. و معادل حداکثر فشار دمیMIP است) آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. پروتکل تمرین برای هر دو گروه (کنترل و IMT) شامل ۳۰ تکرار با بینی بسته و ۲ بار در روز (قبل از تمرین صبح و بعد از تمرین عصر) در ۷ روز هفته اجرا گردید. گروه IMT با افزایش بار دمی در پایان هر هفته و سپس با ٪۵۰ S-Index تمرینات خود را ادامه دادند و افزایش بار ناشی از افزایش قدرت عضلات تنفسی در پایان هر هفته تعیین می‌گردید (۱۳). تمرینات گروه کنترل با ٪۱۵ S-Index انجام گرفت که این افزایش بار هیچ تأثیری بر روی قدرت عضلات تنفسی در طی IMT نداشت و فقط به منظور نگه داشتن گروه کنترل شرایط و شرکت منظم در تمرینات و حذف مداخله‌های روانی صورت گرفت (جدول شماره۲). در طی جلسات تمرینی نوع تکنیک می‌توانست باعث بالا بردن عملکرد مانورهای تنفسی گردد که در این خصوص شرکت کنندگان از قبل به مدت ۲ روز با نحوه کار با دستگاه آشنا شدند. ارزیابی SpO2 به صورت غیرتهاجمی و با استفاده از پالس اکسی متر با قراردادن انگشت اشاره در داخل اکسی متری به مدت زمان ۳ دقیقه و به شکل خوابیده در شرایط استراحت کامل و فقط در ارتفاع انجام شد. این عمل در ساعات پایانی شب (کاهش تأثیر حداکثری متغیرهای تنفسی ناشی از پاسخ به تمرینات روزانه) انجام گردید.

تحلیل آماری: برای تحلیل داده‌ها از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف، تحلیل واریانس مکرر و آزمون تقیبی بانفرونی در سطح معناداری (P-Value ≤ ۰/۰۵و نرم افزار SPSS/21 استفاده شد.

میانگین و انحراف معیار مشخصات آزمودنیهای پژوهش (سن، قد، وزن، شاخص توده بدن) در جدول۱ آورده شده است.

جدول ۱. توصیف آماری مشخصات فردی آزمودنیها در هر گروه (میانگین± انحراف معیار)

شاخص	سن(سال)	قد(سانتیمتر)	وزن(کیلوگرم)	BMI
گروهIMT	۲۳/۱۶±۲/۸۵	۱۷۸/۳۳±۴/۰۸	۶۷/۵۰±۳/۱۴	۲۱/۲۹±۰/۳۵
گروه کنترل	۲۵/۶۶±۳/۱۴	۱۸۲/۶۶±۳/۳۸	۶۶/۰۰±۳/۸۹	۱۹/۷۸±۱/۰۲
کل	۲۴/۴۱±۳/۱۴	۱۸۰/۵۰±۴/۲۳	۶۶/۷۵±۳/۴۶	۲۰/۵۳±۱/۰۷

جدول۲. برنامه تمرینات میدانی به روشR2M و اجرای IMT دوندگان در معرض ارتفاع، برحسب شدت، نوع، تعداد و حجم تمرین (۲, ۶, ۱۹-۲۲).

حجم تمرین (کیلومتر در هفته)	خیلی بالا		۱۶۰ کیلومتر		۱۶۰کیلومتر	
	بالا	۱۴۰کیلومتر		۱۴۰کیلومتر		
	متوسط					
	پایین					
	خیلی پایین					
شدت تمرین (آستانه تهویه)		شدت ≥ آستانه تهویه۱ شدت ≥ آستانه تهویه۲	شدت ≥ آستانه تهویه۱ شدت ≥ آستانه تهویه۲ شدت ≥ آستانه تهویه۳	شدت ≥ آستانه تهویه۱ شدت ≥ آستانه تهویه۲ شدت ≥ آستانه تهویه۳ شدت ≥ حداکثر توان هوازی	شدت ≥ آستانه تهویه۱ شدت ≥ آستانه تهویه۲ شدت ≥ آستانه تهویه۳ شدت ≥ حداکثر توان هوازی	
نوع تمرین		استقامت سرعت استقامت قدرت استقامت تمپو دوی استقامت سرعت توان سرعت قدرت پلایومتریک ایزودینامیک	استقامت سرعت استقامت قدرت استقامت تمپو دوی استقامت سرعت توان استراتژی مسابقه سرعت قدرت پلایومتریک ایزودینامیک	استقامت سرعت استقامت قدرت استقامت تمپو دوی استقامت سرعت توان استراتژی مسابقه سرعت قدرت پلایومتریک ایزودینامیک	استقامت سرعت استقامت قدرت استقامت تمپو دوی استقامت سرعت توان استراتژی مسابقه سرعت قدرت پلایومتریک ایزودینامیک	
تعداد جلسات تمرین در هفته		۱۸	۱۸	۱۶	۱۵	
IMT 50% SINDEX		۳۰ تکرار قبل و بعد از تمرین	۳۰ تکرار قبل و بعد از تمرین	۳۰ تکرار قبل و بعد از تمرین	۳۰ تکرار قبل و بعد از تمرین	
متغییرهای اندازه گیری شده در ارتفاع		شاخص دمی و SpO2				شاخص دمی و SpO2
متغییر اندازه گیری شده در پایین		۱۵۰۰متر				۱۵۰۰ متر
تعداد روز		۱	۷	۷	۷+۲تیپر	۱
اندازه گیری		قبل				بعد

حداکثر ضربان قلب در آستانه تهویه۱ ≤ ۱۶۰
حداکثر ضربان قلب در آستانه تهویه۲ ≤ ۱۷۰-۱۶۰
حداکثر ضربان قلب در آستانه تهویه۳ ≤ ۱۸۰-۱۷۰
حداکثر ضربان قلب در توان هوازی ≤ ۱۸۰

نتایج

نتایج تحلیل واریانس اندازه‌گیری مکرر اثر ارتفاع بر متغیرهای پژوهش با عامل بین گروهی نشان داد که عملکرد دوی ۱۵۰۰ متر، زمان صرفنظر از نوع پروتکل و نوع گروه تغییر معنی داری کرده است (T_{10}= ۸۳۸/۶۵ P=۰/۰۱). اثر تعاملی زمان و گروه نیز تفاوت معناداری را نشان داد (P=۰/۰۱ , T_{10}=۱۹/۸۱۳). آزمون تعقیبی بانفرونی نشان داد که تفاوت معنی داری بین گروه کنترل و تمرین (۱/۱درصد) وجود دارد (P≤۰/۰۵). بررسی آماری متغیرهای قدرت عضلات دمی (P=۰/۰۱ , T_{10}=۲۶/۱۳) بیان گر تغیر معنی داری (P≤۰/۰۵) و انرژِی مصرفی عضلات دمی

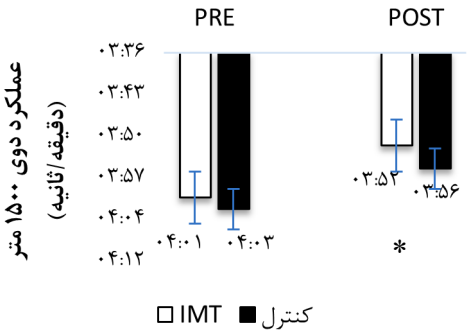
(T_{10}=۳/۲۰ ,P=۰/۰۱) بیان گر عدم تغییر در طول زمان قرار گرفتن در معرض ارتفاع بود (P≥۰/۰۵). اما آزمون تعقیبی در متغیر قدرت عضلات دمی تفاوت معنی‌داری و در متغیر انرژی مصرفی عضلات دمی عدم تفاوت معنی‌داری بین گروه کنترل و تمرین را نشان داد (P≤۰/۰۵). اثر تعاملی در متغیر قدرت عضلات دمی (T_{10}=۰/۰۵۵ ,P=۰/۸۲) عدم تفاوت و در متغیر انرژی مصرفی دمی تفاوت معنی داری را نشان داده شد (T_{10}=۲/۱۳۹ ,P=۰/۱۷). همچنین نتایج آماری نشان داد که متغیر SpO2 (T_{10}=۱/۳۱ ,P=۰/۲۷) در هیچکدام از گروه‌ها در طول زمان تغییر معنی‌داری نداشته است و بعلاوه تفاوت معنی‌داری بین دو گروه نیز مشاهده نشد (P≥۰/۰۵).

در جدول۳، میانگین و انحراف معیار اختلاف متغیرهای پژوهش در پاسخ به تمرین در شرایط هایپوکسی در گروه کنترل و تمرین آورده شده است.

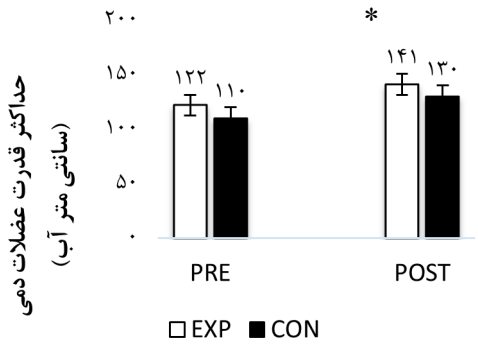
نتایج شکل ۱و۲و۳ نشان می‌دهند بین گروه IMT و کنترل در میزان اثرگذاری تمرین بر قدرت عضلات دمی، انرژی مصرفی عضلات دمی و عملکرد دوی ۱۵۰۰ متر دوندگان تیم ملی استقامت تفاوت معناداری وجود دارد.

جدول۳. میانگین و انحراف معیار اختلاف متغیرهای پژوهش در پاسخ شرایط هایپوکسی در گروه کنترل و تمرین

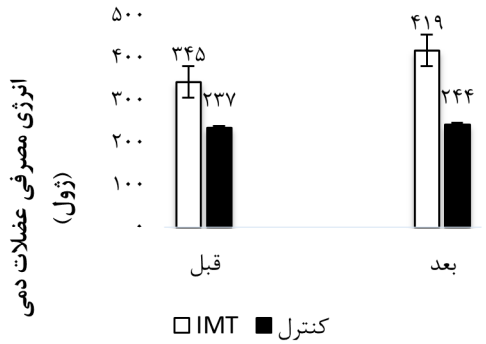
گروه / متغیر	گروه کنترل		گروه تمرین (IMT)	
	قبل	بعد	قبل	بعد
قدرت عضلات دمی (سانتی متر آب)	۱۱۰/۲۳±۲۲/۰۳	۱۳۰/۶۰±۱۰/۸۹	۱۲۲/۴۵±۲۲/۹	۱۴۱/۵۴±۱۸/۳۵
انرژی مصرفی عضلات دمی (ژول)	۲۳۷±۱۰۳	۲۴۴±۱۵۳	۳۴۵±۹۷	۴۱۹±۱۲۶
اشباع اکسیژن شریانی (درصد)	۹۴/۳۰±۰/۳۲	۹۴/۳۳±۰/۲۲	۹۴/۳۵±۰/۲۴	۹۴/۵۸±۰/۶۲
عملکرد دوی ۱۵۰۰ متر(دقیقه/ثانیه)	**۴:۰۳:۲۹±۰/۱۸**	**۳:۵۶:۵۲±۰/۳۰**	**۴:۰۱:۲۰±۰/۲۰**	**۳:۵۲:۳۱±۰/۵۰**



شکل ۱. میانگین تغییرات دوی ۱۵۰۰ متر (دقیقه/ثانیه) از قبل تا بعد در گروه IMT و کنترل
* نشان دهنده اختلاف معناداری پیش آزمون و پس آزمون گروه IMT می‌باشد.



شکل ۲. میانگین تغییرات قدرت عضلات دمی (سانتی متر آب) از قبل تا بعد در گروه IMT و کنترل
* نشان دهنده اختلاف معناداری پیش آزمون و پس آزمون گروه IMT می‌باشد.



شکل ۳. میانگین تغییرات انرژی مصرفی عضلات دمی(ژول) از قبل تا بعد در گروه IMT و کنترل
*نشان دهنده اختلاف معناداری پیش آزمون و پس آزمون گروه IMT می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

از مهمترین یافته‌های مطالعه حاضر که به منظور تأثیر یک دوره تمرین عضلات دمی در ارتفاع بر انرژی مصرفی عضلات دمی، اشباع اکسیژن سرخرگی و عملکرد دوندگان استقامت تیم ملی انجام گرفت، افزایش معنادار IMT پس از هایپوکسی بر قدرت عضلات دمی و کاهش معنادار زمان دوی ۱۵۰۰ متر بود. اگر چه انتظار می‌رفت قدرت عضلات تنفسی بین گروهی معنادار باشد اما گروه‌های پژوهش حاضر در این بخش هیچگونه تفاوت معنی داری را نشان ندادند. همچنین IMT در ارتفاع تأثیر معناداری در طول زمان اجرای تمرین و ماندگاری در ارتفاع مستقل از نوع گروه و تمرین بر مصرف انرژی عضلات دمی نداشت اگر چه تفاوت معناداری بین دو گروه IMT و کنترل مشاهده گردید. با در نظر گرفتن نتایج پژوهش‌های گذشته و مقایسه آن با پژوهش حاضر به نظر می‌رسد افزایش معنادار قدرت عضلات دمی بعد از یک دوره تمرین در گروه IMT (۱۸/۴۸درصد) و کنترل (۱۵/۶۰درصد) در شرایط هایپوکسی با نتایج پژوهش‌های مک کونل (۲۰۰۹)، کلیدینگ[16] و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر اجرای تمرینات عضلات دمی بر بهبود قدرت عضلات دمی در انواع رشته‌های مختلف ورزشی به استثنای غواصان و شناگران همسو بود. احتمالاً عدم بهبود بعد از IMT در شناگران به فشار آبی که بر قفسه سینه آن‌ها در طی اجرای تمرینات منظم شنا اعمال می‌گردد نسبت داده شود که مقاومت آب شبیه به IMT عمل می‌نماید. شناگران بسیار حرفه‌ای ممکن است به حداکثر فلات عملکردی عضلات تنفسی رسیده باشند و در نتیجه قادر به افزایش حداکثر فشار دمی بعد از اجرای تمرینات IMT نباشد (۴, ۹). نتایج درون گروهی پژوهش حاضر بیان گر این واقعیت است که قدرت عضلات دمی در هر دوی گروه کنترل و تمرین با افزایش همراه بوده است که این نشان دهنده اهمیت قرار گرفتن در معرض هایپوکسی صرف نظر از تأثیر دستگاه تقویت کننده عضلات دمی است. هایپوکسی به تنهایی باعث افزایش در تهویه، افزایش در تعداد تنفس و به دنبال آن افزایش کار تنفسی می‌شود که این اعمال با تقاضای بیش از حد جریان خون عضلات تنفسی همراه می‌باشند و نهایتاً منجر به افزایش قدرت عضلات تنفسی می‌گردد. اما نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات نیکس[17] (۲۰۰۹) و ویلگالا[18] (۲۰۰۶) مبنی بر اینکه شناگران و غواصان بهبود قابل توجهی را در میزان قدرت و استقامت عضلات تنفسی بعد از IMT نشان دهند، همسو نبود(۱۶, ۱۸). نتایج پژوهش حاضر در رابطه با تأثیر معنادار IMT در شرایط هایپوکسی با نتایج براون[19] (۲۰۱۴) همسو است. آن‌ها با بررسی میزان حداکثر فشار دمی قبل و بعد از تمرین عضلات تنفسی برروی قدرت عضلات تنفسی ۵۰ مرد سالم افزایش معناداری در حداکثر فشار دمی و حداکثر قدرت عضلات دمی گزارش نمودند(۲۳). از گزارش پیتر براون در تفسیر یافته‌های این تحقیق چنین می‌توان استفاده کرد که افزایش سن با کاهش در قدرت عضلات اسکلتی و تنفسی

همراه است و تغییرات ایجاد شده در عضلات تنفسی در پی IMT در افراد مسن مشابه به تغییرات عضلات اسکلتی در طی اجرای تمرینات قدرتی با وزنه است (۲۴, ۲۵). اجرای IMT مشابه به شرایط نورموکپنیک هایپرپنه است (حفظ هموستاز CO2 در طی هایپرپنه پردمی با افزایش تهویه) (۲۶, ۲۷). این عمل ارتباط نزدیکی در طی دویدن و دوچرخه سواری را نشان می‌دهد که هر دو نیازمند به سطوح بالا از انقباضات مکرر با حداکثر شدت هستند.

در نتایج پژوهش حاضر تفاوت معنادار در SpO2 استراحتی بعد از IMT در شرایط هایپوکسی مشاهده نگردید. تنها پژوهشی که در این زمینه محقق به آن دست یافته است پژوهش دونوی و همکاران (۲۰۰۷) است که تأثیر IMT بر متغیرهای فیزیولوژیکی و تغییراتSaO2 تحت شرایط هایپوکسی را بررسی کرده است (۲۸). درصد اشباع اکسژن شریانی استراحتی در ارتفاع ۴۸۸۰ و ۵۵۵۰ متری در مطالعه میتچ لوماکس[20] (۲۰۱۰) با ۶درصد کاهش مشاهده گردید که با نتایج پژوهش حاضر ناهمسو است. تناقض پژوهش حاضر با ادبیات موجود را می‌توان به اختلاف در ارتفاع ۲۵۰۰ متری پژوهش حاضر با ارتفاع۴۸۸۰ و ۵۵۵۰ متری نسبت داد. محتمل است ارتفاع بالاتر از ۲۵۰۰ متر با کاهش بیشتر SpO2 همراه باشد. این نکته جای تعمق دارد که اجرای تمرینات اختصاصی همزمان با IMT در ارتفاع با کاهش کار عضلات تنفسی در طول تمرینات و کاهش در مصرف انرژی و برون ده قلبی همراه است. این رخداد ممکن است به زمان طولانی‌تر انتقال گلبول‌های قرمز با توجه به افزایش بستر مویرگی ریوی مرتبط باشد که عدم تغییر SpO2 در گروه IMT را در پژوهش حاضر به همراه داشته باشد (۱۳, ۲۸). قرار گرفتن در محیط‌های مرتفع با کاهش SpO2 همراه است که در نتایج پژوهش حاضر می‌توان علت عدم تغییر SpO2در گروه کنترل را به زمان ماندگاری کوتاه دوندگان در ارتفاع ۲۵۰۰ متری و همچنین قرار نگرفتن در معرض ارتفاع بالاتر از ۲۵۰۰ متری و یا نخبه بودن این ورزشکاران نسبت داد (۲۹).

با توجه به نتایج پژوهش می‌توان گفت که زمان تأثیر معناداری در طی اجرای تمرین عضلات دمی و هایپوکسی در پیش آزمون و پس آزمون انرژی مصرفی عضلات دمی در دو گروه نداشت. نتایج هیسر و همکاران[21] (۲۰۱۴) بهبود بهره وری تنفسی پس از تمرین عضلات تنفسی را گزارش کردند که با یافته‌های پژوهش حاضر همسو است. افزایش در بهره وری عضلات تنفسی با تغییر در میزان حساسیت شیمیایی، حساسیت CO2 و تغییر در مکانیک ریوی با تعداد تنفس کمتر، حجم جاری بیشتر و طولانی شدن مدت زمان عمل بازدم (حجم پایان بازدمی کمتر) همراه است که منجر به کاهش در TI/Ttot می‌گردد (۳۰). این امر محتمل است که تأثیر IMT بر متغیرهای تنفسی در افراد نخبه پژوهش حاضر به نسبت افراد عادی کمتر است و از آن جا که افزایش قدرت عضلات دمی باعث افزایش در حجم و جریان دمی بیشتر می‌شود طبیعتاً این امر نیز باعث افزایش در مصرف انرژی عضلات دمی در حین اجرای IMT به پیرو آن افزایش در بهره وری تنفسی خواهد گردید. با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر تفاوت معناداری بین گروه کنترل و IMT در شرایط هایپوکسی بر انرژی مصرفی عضلات دمی مشاهده گردید که گروه IMT با افزایش (۲۱/۴۵ درصد) همراه بود. افزایش قدرت عضلات تنفسی پس از RMT باعث افزایش در قطر راه‌های هوایی و افزایش در حجم ریوی می‌گردد که به پیرو آن کاهش کار تنفسی را به همراه دارد. که با نتایج براون (۱۹۹۶) همسو است (۳۱). تغییرات در حجم‌ها و جریان‌های تنفسی در نتایج مطالعات لیدن هولم[22] (۲۰۰۷) نشان داده شده است. تغییر درSVC,FVC و مجموع این عوامل بر انرژی مصرفی عضلات دمی تأثیر گذارند. عامل اصلی تعیین کننده در FVC,SVC آناتومی بدن است که انتظار نمی‌رود با RMT تغییر پیدا کند، نهایتاً نتایج پژوهش حاضر نیز با عدم تغییر در طول زمان همراه بود. دلیل اثبات این موضوع را می‌توان به پروتکل تمرینی مورد استفاده نسبت داد و یا اینکه برنامه IMT در پژوهش حاضر به شکل کاملاً تخصصی برای دوندگان استقامت طراحی نشده است. احتمالاً طراحی یک برنامه تخصصی IMT نتایج بهتری را به همراه خواهد داشت (۳۲).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد تمرینات IMT در ارتفاع منجر به کاهش معناداری در زمان دوی ۱۵۰۰ متر بین گروهی در IMT (۱/۱درصد) و کنترل (۰/۶۳درصد) در پیش آزمون و پس آزمون در پاسخ به تمرین در شرایط هایپوکسی گردید. نتایج این پژوهش با نتایج آستین چپ و بهپرور(۱۳۹۴) همسو بوده که نقش تمرین عضلات دمی بر عملکرد شناگران دختر در مسافت ۲۵ متر را گزارش نمودند هر چند که این تغییر در مسافت‌های ۵۰و ۱۰۰ متر معنادار نشان داده نشد. یک دلیل احتمالی برای این نتایج می‌تواند قوی‌تر بودن سیستم تنفس در شناگران باشد (۱۵). نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های مک کونل و رومر (۲۰۰۵)، هولم (۲۰۰۴)، بیلی[۲۳] (۲۰۱۰)، جانسون (۲۰۰۷)، کیلدینگ (۲۰۱۰) همسو بوده که نقش IMT را در بهبود عملکرد تایم تریل، افزایش سرعت ریکاوری، کاهش سطوح لاکتات خون و تعویق در خستگی عضلات تنفسی در مطالعات را گزارش نمودند (۷, ۹, ۲۶, ۳۳, ۳۴). این نکته جای تعمق دارد که یکی از فرآیندهایی که در طی دویدن می‌تواند عملکرد را محدود کند احساس درک فشاری است که در طول رقابت‌ها اتفاق می‌افتد. برخی گزارش‌ها از بهبود عملکرد ورزشی تایم تریل دوچرخه سواران و VO2max آن‌ها بعد از تمرینات عضلات دمی حمایت می‌کنند (۷, ۱۷). نتایج پژوهش حاضر از یافته‌های چاپمن و همکاران[۲۴] (۱۹۹۸) حمایت می‌کند که تأثیر تمرین در روش LHTL با افزایش۱/۱٪ تا ۲/۱٪ در عملکرد دوی ۳۰۰۰ متر و ۳٪ در VO2max در سطح دریا را گزارش کردند (۳۵). گوره و همکاران[۲۵] (۲۰۰۵) در ۶ ورزشکار مرد استقامتی بعد از ۲۳ شب زندگی در ارتفاع ۳۰۰۰ متری و تمرین در ارتفاع ۶۰۰متری افزایش ۴٪ در VO2max و ۱٪ در مکانیسم‌های مؤثر بر حرکت گزارش گردید (۳۶). این امر بیانگر این واقعیت است که نوع پروتکل تمرینی به کار گرفته شده به روش R2M اعم از حجم، شدت و نوع تمرینات در پژوهش حاضر باعث بهبود عملکرد دوندگان شده است. نتایج پژوهش حاضر با توجه به بهبود عملکرد دوی ۱۵۰۰ متر بعد از هایپوکسی با نتایج لوین و استرای گاندرسون[۲۶] (۲۰۱۵)، دهنرت و همکاران[۲۷] (۲۰۰۲)، ساندرس و همکاران[۲۸] (۲۰۰۴)، ویت کوپسکی[۲۹] (۲۰۰۱) و نوملا و روسکو[۳۰] (۲۰۰۰) در بهبود عملکرد دویدن دوندگان همسو است (۲۱, ۳۷-۴۰). نکته مهم که باید در تفسیر نتایج پژوهش حاضر و پژوهش‌های صورت گرفته مورد توجه قرا گیرد این است که زندگی در ارتفاعات ۲۵۰۰ متری منجر به افزایش معنی داری در حجم گلبول‌های قرمز و غلظت هموگلوبین در دوندگان LH + TH,L می‌گردد. در هر صورت تمرین در ارتفاع ۱۲۵۰ متری و اجرای پروتکل تمرینی در پژوهش حاضر به ورزشکاران این امکان را می‌دهد که آن‌ها حداکثر شدت دویدن و حداکثر جریان خون حاوی اکسیژن‌دار را مشابه به سطح دریا به دست آورند و در نهایت منجر به برتری‌های سازگاری متابولیکی و عصبی عضلانی در این گروه از دوندگان نسبت به گروه‌های دیگر می‌گردد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق سیبنمن[۳۱] و همکاران (۲۰۱۲)، جور و همکاران (۲۰۰۱) همسو نیست. آن‌ها با بررسی LHTL گروه کنترل و تمرین بر روی ۱۶ دوچرخه سوار تیم ملی استقامت، تفاوت معناداری را در عملکرد تایم تریل ۲۶ کیلومتر، در شرایط نوروموکسی را مشاهده نکردند (۴۱, ۴۲). بر اساس ادبیات موجود، دوندگان پس از بازگشت از ارتفاع بالا به ارتفاع پایین‌تر بهبود قابل توجهی را در زمان دوی ۱۵۰۰ متر، قدرت عضلات دمی و تفاوت معنادار بین گروهی در انرژی مصرفی داشته اند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که شرایط خونی مثبت ناشی از زندگی و تمرین در ارتفاع و همچنین سازگاری‌های متابولیکی و عصبی عضلانی با تمرین در ارتفاع و تمرین در پایین به همراه استفاده از IMT در پروتکل تمرینی نتایج منحصر به فردی را در اجرای روش تمرین LH + TH,L در طی ۴ هفته تمرین در پژوهش حاضر به همراه داشته است.

در پایان یادآوری می‌شود آنچه هدف اجرای تمرینات اختصاصی و تمرین عضلات دمی در ارتفاع است بهبود وضعیت فیزیولوژیک ورزشکار است و در این راه تعریف دقیق و قطعاً تخصصی‌تر پروتکل متناسب با رشته ورزشی مورد نظر، می‌تواند محقق را بهتر به هدفش برساند. بنابر یافته‌های این تحقیق به نظر می‌رسد تمرین عضلات دمی

به همراه تمرین اختصاصی در شرایط هایپوکسی نمی‌تواند SpO2 را بهبود بخشد. هر چند که چنین تمریناتی باعث بهبود در عملکرد دوی ۱۵۰۰ متر، قدرت عضلات دمی و افزایش انرژی مصرفی دمی دوندگان شده است. محتمل است که پس از تمرین تعادل مطلوب بین عمل دم و بازدم و در نتیجه کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز در هر واحد از کار انجام شده صورت پذیرفته است. با توجه به اینکه ویژگی‌های خاصی برای ورزشکارانی که می‌خواهند از تمرین عضلات دمی بهره ببرند مشخص نیست بنابراین مربیان می‌بایستی ورزشکارانی را جهت اجرای تمرین عضلات دمی انتخاب کنند که رشته ورزشی آن‌ها نیاز به تهویه ریوی بالا داشته باشد. لذا با توجه به اینکه دوندگان دوهای استقامت و نیمه استقامت در طول تمرین و مسابقه نیازمند به استفاده از تهویه ریوی بالا هستند ولی تفاوت‌های فردی بین ورزشکاران از قبیل متغیرهای فیزیولوژیکی و روانشناختی نیز قابل بحث است. بنابراین این محتمل است که IMT در یک گروه باعث بهبود عملکرد عضلات تنفسی گردد ولی بر روی عملکرد ورزشی همان گروه تأثیر گذار نباشد. لازم است که IMT بر ورزشکاران با پروتکل‌های متفاوت (ترکیبی از تمرینات قدرتی و استقامتی) در شرایط محیطی مختلف اعمال گردد و اطمینان از اینکه شدت مؤثر، میزان جریان (شدت و انقباض عضلات تنفسی) و تغییرات حجم (دامنه حرکتی انقباضات عضلات تنفسی) در طول تمرین به اندازه کافی اعمال گردد. تحقیقات در آینده نیازمند اندازه‌گیری تعداد نمونه‌های بیشتر، استفاده از ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متری و استفاده از پروتکل‌های مختلف تمرینی با در نظر گرفتن اعمال متناسب اضافه بار در برنامه تمرینی ورزشکاران می‌باشد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از دوندگان عزیزی که با صبر و حوصله در این پژوهش شرکت کردند و آزمایشگاه دانشگاه مازندران نسبت به تهیه و خریداری دستگاه تقویت کنده عضلات تنفسی (Power Breathe)تشکر و قدردانی می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Work of breath
2. inspiratory muscle training
3. rating of perceived breathlessness
4. rating of perceived exertion
5. Strange Index
6. plateau maximum performance
7. Live high train high & Low
8. saturation arterial oxygen
9. mitch lomax
10. goordich
11. Álvarez-Hermsa
12. cross training
13. Power Bearthe مدل K5
14. S-Index
15. Energy
16. Kilding
17. Nicks
18. Wylegala
19. Brown
20. Mitch Lomax
21. heather
22. lindholm
23. baily
24. chapman
25. Gore
26. Levine and Stray-Gundersen
27. dehnert
28. saunders
29. Witkowski
30. Nummela A, Rusko
31. Siebenmann

منابع

1. Lundgren C. (1984). Respiratory function during simulated wet dives. Undersea biomedical research. 11(2):139-47.
2. HajGhanbari B, Yamabayashi C, Buna TR, Coelho JD, Freedman KD, Morton TA, et al. (2013). Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. The Journal of Strength & Conditioning Research. 27(6):1643-63.
3. Ray A, Pendergast D, Lundgren C. (2001). Respiratory muscle training improves swimming endurance at depth. Undersea & Hyperbaric Medicine. ۸۵ :(۳)۳۵;۸
4. McConnell AK. (2009). Respiratory muscle training as an ergogenic aid. Journal of Exercise Science & Fitness. 7(2):S18-S27.

5. Vogt M, Puntschart A, Geiser J, Zuleger C, Billeter R, Hoppeler H. (2001). Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. Journal of Applied Physiology. 91(1):173-82.

6. Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Corbi F, Pagès T, Viscor G. (2014). Anaerobic performance after endurance strength training in hypobaric environment. Science & Sports. 29(6):311-8.

7. Johnson MA, Sharpe GR, Brown PI. (2007). Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. European journal of applied physiology. 101(6):761-70.

8. Riganas C, Vrabas, IS, Christoulas, K, and Mandroukas, K. (2008). Specific inspiratory muscle training does not improve performance or Vo2max levels in well trained rowers. J Sports Med Phys Fitness. 48(3):7.

9. Kilding AE, Brown S, McConnell AK. (2010). Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. European journal of applied physiology. 108(3):505-11.

10. Leddy JJ LA, Patel S. (2007). Isocapnic hyperpnea training improves performance in competitive male runners. Eur J Appl Physiol. 99(2): 11.

11. Turner LA, Mickleborough TD, McConnell AK, Stager JM, Tecklenburg-Lund S, Lindley MR. (2011). Effect of inspiratory muscle training on exercise tolerance in asthmatic individuals.

12. Majmundar AJ, Wong WJ, Simon MC. (2010). Hypoxia-inducible factors and the response to hypoxic stress. Molecular cell. 40(2):294-309.

13. Lomax M. (2010). Inspiratory muscle training, altitude, and arterial oxygen desaturation: a preliminary investigation. Aviation, space, and environmental medicine. 81(5):498-501.

14. Goodrich J. (2014). Exercise induced arterial desaturation in recreationally active males at moderate altitude helps explain variability in relationship between total hemoglobin mass and VO2max..

15. Astinchap. A NB, Tadibi. V. (2015). The effect of inspiratory muscle training for six weeks (IMT) on swimming speed. Journal of physiology and sports management. 7(1):10.

16. Nicks C, Morgan D, Fuller D, Caputo J. (2009). The influence of respiratory muscle training upon intermittent exercise performance. International journal of sports medicine. 30(1):16-21.

17. McMahon ME, Boutellier U, Smith RM, Spengler CM. (2002). Hyperpnea training attenuates peripheral chemosensitivity and improves cycling endurance. Journal of Experimental Biology. 205(24):3937-43.

18. Wylegala JA ,Pendergast DR, Gosselin LE, Warkander DE, Lundgren CE. (2007). Respiratory muscle training improves swimming endurance in divers. European journal of applied physiology. 99(4):393-404.

19. Barry W. Fudge JSMP, Neil S. Maxwell, Gareth Turner, MSc. (2012). Altitude Training for Elite Endurance Performance. Current Sports Medicine Reports. 17(42):9.

20. Di Michele R, Merni F. (2014). The concurrent effects of strike pattern and ground-contact time on running economy. Journal of Science and Medicine in Sport. 17(4):41-48.

21. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. Sports Medicine. 34(7):465-85.

22. Le Meur Y, Hausswirth C, Mujika I. (2012). Tapering for competition: A review. Science & Sports. 27(2)77-87.

23. Brown PI, Sharpe GR, Johnson MA. (2010). Loading of trained inspiratory muscles speeds lactate recovery kinetics. Medicine and science in sports and exercise. 42(6):1103-12.

24. Brown PI, Sharpe GR, Johnson MA. (2012). Inspiratory muscle training abolishes the blood lactate increase associated with volitional hyperpnoea superimposed on exercise and accelerates lactate and oxygen uptake kinetics at the onset of exercise. European journal of applied physiology. 112(6):2117-29.

25. Brown PI, Johnson MA, Sharpe GR. (2014). Determinants of inspiratory muscle strength in healthy humans. Respiratory physiology & neurobiology. 196:50-5.

26. Holm P, Sattler A, Fregosi RF. (2004). Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. BMC physiology. 4(1):1.

27. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. (2002). Effects of inspiratory muscle training on time-

trial performance in trained cyclists. Journal of sports sciences. 20(7):547-90.

28. Downey AE, Chenoweth LM, Townsend DK, Ranum JD ,Ferguson CS, Harms CA. (2007). Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. Respiratory physiology & neurobiology. 156(2):137-46.
29. Mazzeo RS FC. (2006). Physiological and Pathological Responses to Hypoxia. ACSM's advanced exercise physiology. 42(25):7.
30. Held HE, Pendergast DR. (2014). The effects of respiratory muscle training on respiratory mechanics and energy cost. Respiratory physiology & neurobiology. 200:7-17.
31. Brown RH, Mitzner W. (1995). Effect of lung inflation and airway muscle tone on airway diameter in vivo. Journal of Applied Physiology. 80(5):1581-8.
32. Lindholm P, Wylegala J, Pendergast D, Lundgren C. (2007). Resistive respiratory muscle training improves and maintains endurance swimming performance in divers. Undersea & Hyperbaric Medicine. 34(3):169.
33. McConnell A, Romer L. (2004). Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy.
34. Bailey SJ, Romer LM, Kelly J, Wilkerson DP, DiMenna FJ, Jones AM. (2010). Inspiratory muscle training enhances pulmonary O2 uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. Journal of Applied Physiology. 109(2):457-68.
35. Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD. (1998). Individual variation in response to altitude training. Journal of applied physiology. 85(4):1448-56.
36. Gore CJ, Hopkins WG, Burge CM. (2005). Errors of measurement for blood volume parameters: a meta-analysis. Journal of applied physiology. 99(5):1745-58.
37. Lavin K, Guenette J, Smoliga J, Zavorsky G. (2015). Controlled-frequency breath swimming improves swimming performance and running economy. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 25(1):16-24.
38. Dehnert C, Hutler M, Liu Y, Menold E, Netzer C, Schick R, et al. (2002). Erythropoiesis and performance after two weeks of living high and training low in well trained triathletes. International journal of sports medicine. 23(8):561-6.
39. Witkowski S, Karlsen T, Resaland G, Sivieri M, Yates R, Harber M, et al. (2001). Optimal altitude for living high-training low. Medicine & Science in Sports & Exercise. 33(5):S292.
40. Nummela A, Rusko H. (2000). Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. Journal of sports sciences. 18(6):411-9.
41. Siebenmann C, Robach P, Jacobs RA, Rasmussen P, Nordsborg N, Diaz V, et al. (2012). Live high–train low using normobaric hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled study. Journal of Applied Physiology. 112(1):106-17.
42. Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ, Martin DT, Ashenden M, Clark SA ,et al. (2001). Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. Acta Physiologica Scandinavica. 173(3):275-86.