پژوهش در علوم ورزشی شماره۲۱، زمستان ۱۳۸۷، صص۱۲۹-۱۱۷

اعتبار آستانه تنفسی جبرانی در برآورد شدت بحرانی

روح الله نیکویی[۱]، دکتر رضا قراخانلو [۲]، دکتر مرتضی بهرامی نژاد [۳]، علی غفاری[۴]

۱. کارشناس ارشد تربیت‌بدنی دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشیار دانشگاه تربیت مدرس
۳. مرکز سنجش آکادمی ملی المپیک
۴. کارشناس ارشد تربیت بدنی

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۴/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۶/۴

چکیده

در تعیین شدت بحرانی که بیانگر انتقال از تمرین متوسط به شدید است، روش‌های متعددی، اعم از تهاجمی و غیرتهاجمی، مورد استفاده قرارگرفته است. هدف از مطالعه حاضر تعیین اعتبار آستانه تنفسی اولیه و جبرانی در تعیین شدت بحرانی تمرین و تعیین ارتباط بین مدت زمان مرحله بافرینگ با ظرفیت هوازی و غیر هوازی بود. ۱۵ نفر مرد فعال به طور داوطلب در این تحقیق شرکت کردند و در سه جلسه مجزا با حداقل فاصله زمانی ۴۸ ساعت سه آزمون فزاینده را انجام دادند. آستانه تنفسی اولیه در آزمون تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی به وسیله افزایش ناگهانی در نمودار معادل تهویه‌ای اکسیژن، آستانه تنفسی جبرانی به وسیله افزایش ناگهانی در نمودار معادل تهویه‌ای دی اکسید کربن اندازه‌گیری و آستانه لاکتات در آزمون مرجع بر اساس تجمع لاکتات خون تعیین گردید. در خلال انجام آزمون‌ها گازهای تنفسی به طور نفس به نفس، ضربان قلب هر پنج ثانیه یک بار، میزان لاکتات خون هر سه دقیقه یک بار اندازه‌گیری شد. میزان همبستگی بین متغیرهای برآورد شده با یکدیگر به وسیله ضریب همبستگی پیرسون محاسبه و جهت تعیین توانایی پیش‌بینی از آنالیز رگرسیون استفاده شد. معنی‌دار بودن تفاوت بین متغییرها از طریق آزمون t زوجی مشخص شد. تفاوت معنی‌دار بین آستانه تنفسی جبرانی و آستانه لاکتات یافت شد($t(14) = 4.03 , p < 0/05$). این تفاوت بین آستانه تنفسی اولیه و آستانه لاکتات معنی دار نبود. همبستگی معنی‌دار بین VO_{2max} و مدت زمان مرحله بافرینگ به‌دست آمد در حالی‌که همبستگی بین بیشینه لاکتات تحمل شده و مدت زمان مرحله بافرینگ معنی‌دار نبود. مطالعه ما نشان داد که آستانه تنفسی جبرانی به طور معنی‌دار در شدت‌های کاری بالاتر از آستانه لاکتات اتفاق می‌افتد و بنابراین این پارامتر نمی‌تواند مستقیما" بازگو کننده شدت بیشینه‌ای از تمرین باشد که می‌توان برای یک دوره نامتناهی بدون افزایش مداوم در غلظت لاکتات خون حفظ شود هر

چند امکان استفاده از شدت حد واسط بین آستانه تنفسی جبرانی و آستانه لاکتات به عنوان شدت بحرانی محتمل به نظر می‌رسد. همچنین بین مدت زمان مرحله بافرینگ با ظرفیت هوازی فرد رابطه‌ای مستقیم و معنی‌دار موجود است و می‌توان از این شاخص در برآورد ظرفیت هوازی ورزشکاران استفاده نمود.

کلید واژه‌های فارسی: آستانه تنفسی اولیه، آستانه تنفسی ثانویه، مرحله بافرینگ.

مقدمه

در ورزش‌های استقامتی جهت دستیابی به اثرات بهینه و تعیین شدت تمرینی، مفاهیم متعددی از آستانه ارائه و در طراحی برنامه‌های تمرینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱). مهم‌ترین عامل در طراحی و تدوین برنامه‌های استقامتی، تعیین شدت تمرینی است که انتقال از تمرین متوسط به سنگین - به عبارت دیگر تغییر مسیر تولید انرژی از هوازی به بی‌هوازی - اتفاق می‌افتد (۲). روش‌های متعددی در تعیین این شدت بحرانی ارائه شده است (۳،۴،۵). دقیق‌ترین روش در تعیین این شدت بحرانی اخذ نمونه‌های مکرر خونی در خلال یک آزمون فزاینده استاندارد و تعیین آستانه لاکتات است، که به عنوان شدتی از تمرین که افزایش ناگهانی در میزان غلظت لاکتات خون مشاهده می شود، تعریف می‌شود(۶). به طور کلی می‌توان گفت که تمرین در سطح آستانه لاکتات برای مدت طولانی (بیشتر از یک ساعت) قابل تحمل است و این گونه تمرین می تواند ویژه ورزش‌های بلند مدت از قبیل دوی ماراتن، سه گانه و ... باشد، اگر چه در این زمینه هنوز تردید وجود دارد.. در عین حال در ورزش‌هایی از قبیل دوهای نیمه استقامت که در مدت زمان کمتر از یک ساعت تکمیل می‌شود، استفاده از شدت بحرانی که بیانگر بالاترین شدت کاری هوازی (اندکی بالاتر از آستانه لاکتات) است، می‌تواند مفیدتر باشد (۷،۸). در شناگران رقابتی بار کاری معادل با شدت بحرانی برابر با میزان لاکتات خون ۴ میلی مول است و کمتر از یک ساعت قابل تحمل است (۸). از جمله روش‌های مورد استفاده در تعیین شدت بحرانی استفاده از MLSS[1] است که به عنوان بالاترین شدت تمرینی است که بدون افزایش مداوم در میزان لاکتات خون حفظ می‌شود و در شدت‌های بالاتر از MLSS، بدلیل غالب شدن مسیر بی‌هوازی افزایش مداوم در میزان لاکتات خون اتفاق

1. Maximal Lactate Steady State

می‌افتد(۴،۹). علیرغم دقت بالا، این روش شامل انجام وهله‌های طولانی تمرینی در جلسات مجزا و اخذ نمونه‌های خونی است که بیانگر ماهیت تهاجمی و وقت گیر این روش می باشد. در عین حال، استفاده از تغییرات در تبادل پارامترهای گازی به وفور در برآورد آستانه لاکتات مورد استفاده قرار گرفته است که از ارتباط بین تولید CO_2 غیرمتابولیک ناشی از عمل بافرینگ اسید لاکتیک و تعیین آستانه تنفسی بهره می‌برد (۳،۴،۶). در خلال یک آزمون فزاینده استاندارد در پاسخ تهویه به تمرین دوآستانه تنفسی مجزا قابل تشخیص است : اولین آستانه، که آستانه تنفسی اولیه[1] یا تطابق تنفسی با تولید CO_2 نیز نامیده می‌شد، بیانگر افزایش غیرخطی در معادل تهویه‌ای اکسیژن (VE/VO_2) یا عدم تعادل بین VE و VO_2 است و ناشی از تولید CO_2 غیرمتابولیک ناشی از بافرینگ اسیدلاکتیک است که با غالب شدن مسیر بی‌هوازی اتفاق می‌افتد(۱۰). دومین آستانه تنفسی که آستانه تنفسی جبرانی[2] نامیده می‌شود، بیانگر افزایش غیر خطی در معادل تهویه‌ای دی اکسید کربن (VE/VCO_2) یا عدم تعادل بین VE و CO_2 است (۱۱) و زمانی اتفاق می‌افتد که سیستم تامپونی بدن در مقابل ازدیاد اسید لاکتیک تولیدی شکست می‌خورد و اسیدوز متابولیک شروع و PH خون کاهش می‌یابد(۵). به دنبال ارائه این دو آستانه تنفسی استفاده از پارامترهای گازی در تعیین آستانه بی‌هوازی به کار گرفته شده است (۱،۵،۶،۸). گیرسولبرگ اعتبار تبادلات پارامترهای گازی را درتعیین آستانه تنفسی و برآورد آستانه لاکتات مورد آزمون قرارداد و نتیجه گرفت که استفاده از VE/VO_2 بهترین روش در تعیین آستانه بی‌هوازی است (۴) . **مت‌گرن** طی تحقیقی به مقایسه آستانه تنفسی جبرانی بین ورزشکاران رقابتی بی‌هوازی، هوازی و تمرین نکرده پرداخت و بیشترین مقدار مربوط به این متغیر را در ورزشکاران هوازی کار یافت (۱۲). در عین حال تاکنون مطالعه‌ای اعتبار آستانه تنفسی جبرانی را در تعیین شدت بحرانی و ارتباط این متغیر با آستانه لاکتات را در یک گروه واحد مورد تحقیق قرار نداده است. با توجه به اینکه آستانه تنفسی جبرانی و$MLSS$ هر دو در شدت های بالاتر از آستانه لاکتات اتفاق می‌افتند و با توجه به ماهیت پرهزینه، تهاجمی و وقت‌گیر روش $MLSS$ این سوال مطرح می‌شود که آیا می‌توان با

1. Ventilatory Threshold
2. Respiratory Compensatory Threshold

استفاده از آستانه تنفسی جبرانی تنها در یک جلسه شدت بحرانی را تعیین نمود. لذا با توجه به اهمیت شاخص شدت بحرانی در طراحی برنامه‌های تمرینی ورزشکاران، هدف اول از مطالعه حاضر تعیین اعتبار آستانه تنفسی جبرانی در برآورد شدت بحرانی از طریق مقایسه آن با آستانه لاکتات و تعیین ارتباط این متغیر با آستانه لاکتات بود. همچنین فاصله زمانی بین این دو آستانه تنفسی در ادبیات مرحله بافرینگ[1] نامیده می‌شود (۵). تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که طول این مرحله با توجه به سطح آمادگی افراد از فردی به فرد دیگر متفاوت است، هر چند که در آزمودنی‌های سالم مدت آن ۲ – ۱ دقیقه است (۱۳). طول این مرحله بستگی به نرخ متابولسیم هوازی و بی‌هوازی بعد از آستانه تنفسی اولیه دارد. در عین حال اهمیت و کاربرد های این مرحله هنوز به طور کامل شناخته نشده است. لذا هدف دوم این مطالعه این بود که آیا مدت زمان این مرحله با متغیرهای تمرینی که به گونه‌ای بازگو کننده ظرفیت هوازی و بی‌هوازی باشند در ارتباط هست یا نه. به عبارتی دیگر آیا می توان از طریق مطالعه مرحله بافرینگ به تعامل بین تمرینات هوازی و بی‌هوازی مورد نیاز برای ورزشکاران مختلف پرداخت. بدین منظور ما ارتباط بین مدت زمان این مرحله با VO_{2max} و بیشینه لاکتات تحمل شده توسط آزمودنی‌ها را که به ترتیب به عنوان شاخص‌هایی از ظرفیت هوازی و بی‌هوازی در نظر گرفته شدند را مورد بررسی قرار دادیم.

روش تحقیق

۱۵ نفر مرد فعال تندرست که حداقل سابقه ۴ سال تمرین مداوم را داشتند، جهت شرکت در این تحقیق داوطلب شدند. آزمودنی‌ها از انجام فعالیت جسمانی شدید ۲۴ ساعت قبل از آزمون‌ها منع شدند. هر آزمودنی در سه جلسه مجزا با حداقل ۴۸ ساعت فاصله زمانی، سه آزمون فزاینده را انجام می‌داد. شاخص‌های آنتروپومتریک و ترکیب بدنی آزمودنی‌ها به وسیله دستگاه ترکیب بدن[2] اندازه‌گیری شد.

1. Isocapnic Buffering Phase
2. Body Composition Analyzer (Inbody 3.0, Biospace Co, Ltd. KOREA)

جدول ۱. توصیف ویژگی‌های فیزیولوژیک آزمودنی ها (متغیرها بر حسب میانگین ± انحراف معیار هستند)

متغیر	میانگین ± انحراف استاندارد
سن (سال)	۲٤ ± ۱/۰۸۲
قد (سانتیمتر)	۱۷۵/٦ ± ۵/۷۹
وزن (کیلوگرم)	٦۸/۹٦ ± ۵/۰۸۲
چربی بدن (درصد)	۹/٤۳ ± ۲/٤۹
Vo_{2max} (ml/kg/min)	٤۵/ ٤٦ ± ٦/٤۹

در این تحقیق جهت تعیین VO_{2max} آزمودنی‌ها از دستگاه گاز آنالیزر[1] استفاده شد. عمل کالیبره کردن دستگاه با استفاده از سیلندرهای سه لیتری محتوی گاز رفرنس برای هر آزمودنی انجام گرفت. سپس آزمودنی با امکانات لازم جهت اجرای این آزمون و همچنین ضربان سنج پلار جهت اندازه‌گیری ضربان قلب در خلال آزمون تجهیز می‌شد. گرم کردن به مدت ۳ دقیقه با سرعت ۴ کیلو متر بر ساعت روی تردمیل انجام می‌شد. آزمون با سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت آغاز و بعد ازگذشت هر یک دقیقه ۱ کیلومتر بر ساعت بر سرعت تردمیل افزوده می‌شد(۴). آزمودنی‌ها در خلال انجام آزمون از طریق ماسک دو طرفه با مقاومت اندک و فضای مرده ۴۰ میلی‌لیتر تنفس می‌کردند و گازهای تنفسی در تمامی طول آزمون نفس به نفس جمع‌آوری شد. این عمل تا وقوع VO_{2max} ادامه می‌یافت در حالیکه آزمودنی به طور شفاهی تشویق می‌شد تا آزمون را تا جائیکه امکان دارد، ادامه دهد. وقوع VO_{2max} در این تحقیق برای دستیابی به دو فاکتور از سه شاخص ۱- حالت فلات در VO_2 با وجود افزایش در سرعت دویدن، ۲- نسبت تبادل تنفسی بالاتر از ۱/۱ ، ۳- رسیدن به ضربان قلب بیشینه پیش بینی شده بر اساس سن (۴).

بعد از کالیبره کردن دستگاه، آزمودنی با امکانات لازم جهت اجرای این آزمون و همچنین ضربان سنج پلار جهت اندازه‌گیری ضربان قلب در خلال آزمون تجهیز می‌شد. در مرحله بعد از آزمودنی خواسته شد که به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۶ کیلو متر بر ساعت مرحله گرم کردن را روی تردمیل انجام دهد. سپس آزمون با ۵۰ درصد VO_{2max} آزمودنی آغاز می شد بعد از گذشت هر ۳ دقیقه ۸/. کیلو متر بر ساعت بر سرعت تردمیل افزوده می‌شد. آزمودنی‌ها در خلال انجام آزمون از طریق ماسک تنفس می‌کردند و گازهای تنفسی در

1. Gas Analyzer, (k4b2, Italy)

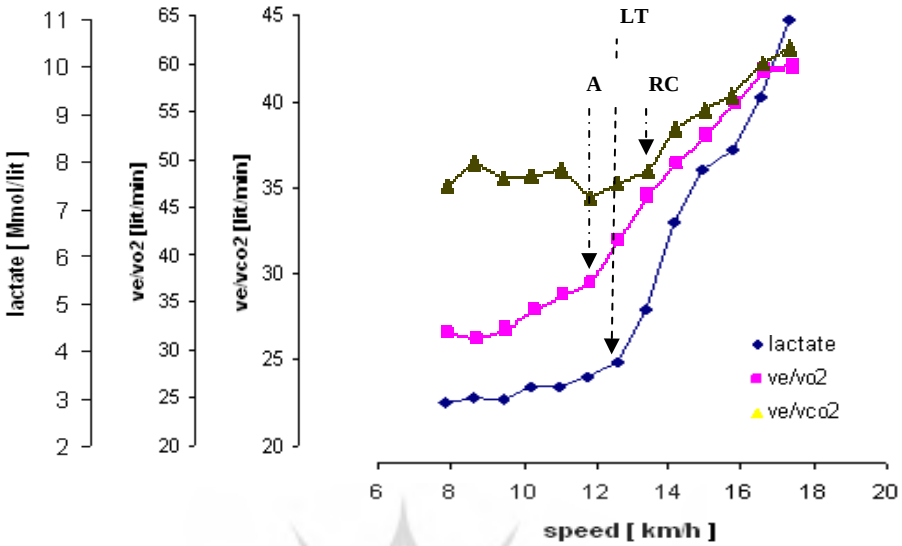
تمامی طول آزمون به طریقی که در بالا اشاره شد جمع‌آوری و متغیرهای VE، VO_2، VCO_2 نفس به نفس اندازه‌گیری می‌شد. این عمل تا وقوع Vo_{2max} ادامه می‌یافت (۴).

از ابتدا تا انتهای تمرین، نمودار مربوط به معادل تهویه‌ای اکسیژن ترسیم و آستانه تنفسی به عنوان افزایش ناگهانی در این نمودار بدون اینکه با افزایش در نمودار مربوط به معادل تهویه‌ای دی اکسید کربن همراه باشد، برآورد گردید (۱۰). با توجه به این تعریف تعیین این نقطه به وسیله نرم‌افزار Matlab7 انجام گرفت. جهت ترسیم منحنی بر روی داده‌ها از روش حداقل مجذورات خطا استفاده شد. با توجه با این تعریف منحنی درجه پنج بهترین منحنی بود که بر روی داده‌ها قرار می‌گرفت. سپس نمودار مربوط به مشتق دوم این منحنی ترسیم و جاییکه مشتق دوم منحنی از صفر رد می‌شد، به عنوان افزایش ناگهانی در نمودار در نظر گرفته می‌شد (۱۰) (شکل ۱).

از ابتدا تا انتهای تمرین، نمودار مربوط به معادل تهویه‌ای دی اکسید کربن ترسیم و آستانه تنفسی جبرانی به عنوان افزایش ناگهانی در این نمودار تعریف شد (۱۲). با توجه به این تعریف تعیین این نقطه به وسیله نرم افزار Matlab 7 و همانند روش ذکر شده برای آستانه تنفسی اولیه برآورد گردید (۱۰)(شکل ۱). بعد از یک مرحله گرم کردن به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۶ کیلو متر بر ساعت، آزمون با سرعت معادل ۵۰ درصد VO_{2max} آزمودنی آغاز می‌شد[۱]. سپس هر ۳ دقیقه یک بار ۸/. کیلومتر بر ساعت بر سرعت تردمیل افزوده می‌شد. این عمل تا سر حد واماندگی ادامه می یافت(در ۳۰ ثانیه).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

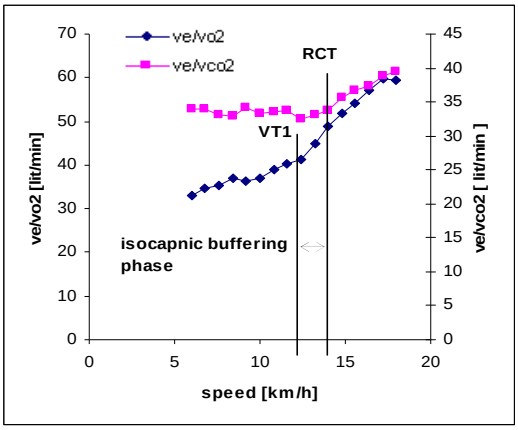
۱. جهت تعیین این مقدار ابتدا vo_{2max} آزمودنی در آزمون تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی مشخص می‌شد و ٦٠ درصد این مقدار محاسبه و سپس از روی داده‌های مربوط به آزمون تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی این مقدار در داده های ثبت شده مربوط به vo_{2max} مشخص می‌گردید و سرعت معادل با این مقدار در آزمون تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی به عنوان سرعت شروع در آزمون لاکتات استفاده می‌شد.



شکل ۱. تعیین آستانه تنفسی اولیه، آستانه تنفسی جبرانی و آستانه لاکتات در یکی از آزمودنی های تحقیق

انتهای هر مرحله ۳ دقیقه‌ای نمونه خونی از نوک انگشت (در هر مرحله یک انگشت) دست به وسیله pistol 2000 و lancet 2000 گرفته و میزان لاکتات خون به وسیله دستگاه آنالیز لاکتات[1] تعیین و ضربان قلب مقارن با عمل اندازه‌گیری لاکتات در هر مرحله نیز ثبت می‌گردید. جهت تعیین آستانه لاکتات نمودار غلظت لاکتات – سرعت دویدن ترسیم می‌شد و نقطه‌ای که در آن نمودار دچار افزایش ناگهانی می‌شد به عنوان آستانه لاکتات در نظر گرفته می‌شد (شکل ۱). در خلال آزمون گازهای تنفسی به طور مداوم جمع‌آوری می‌شد. مدت زمان مرحله بافرینگ از طریق تفاضل بین زمان وقوع آستانه تنفسی جبرانی و زمان وقوع آستانه تنفسی اولیه به دست آمد (شکل ۲)(۱۰).

1. lactate Analyzer- lactate scout, Senslab GmbH Leipzig, Germany



شکل ۲ . تعیین مرحله بافرینگ در یکی از آزمودنی‌های تحقیق

نتایج

خلاصه ای از ویژگی‌های آنتروپومتریکی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌های تحقیق در جدول ۱ آورده شده است. میانگین VO_{2max} آزمودنی‌ها برابر با ۴۵/۴۶±۲/۴۹ و بیشینه لاکتات تحمل شده به وسیله آزمودنی‌ها در آزمون مرجع ۱۰/۶۹±۱/۴۶ بود. مقادیر مربوط به متغیرهای معادل با آستانه تنفسی اولیه، جبرانی و لاکتات برآورد شده با هر روش در جدول ۲ آمده است.

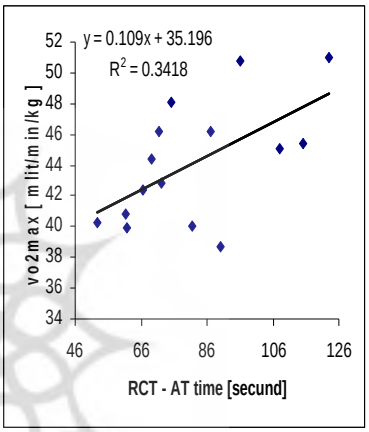
بین اکسیژن مصرفی معادل با آستانه لاکتات و آستانه تنفسی جبرانی تفاوت معنی‌دار یافت شد ($t\ (14) = 4.03\ ,\ p < .05$)، در حالیکه این تفاوت بین اکسیژن مصرفی معادل با آستانه لاکتات و آستانه تنفسی اولیه معنی‌دار نبود. آستانه تنفسی جبرانی به طور معنی‌دار در سرعتی بالاتر از آستانه لاکتات اتفاق افتاده بود($t\ (14) = 3.68\ ,\ P < .05$)، در حالی که تمامی آزمودنی‌ها وقوع آستانه جبرانی را در شدت کاری بالاتر از آستانه لاکتات نشان دادند. تفاوت بین سرعت وقوع آستانه لاکتات و آستانه تنفسی اولیه معنی‌دار نبود.

جدول ۲. میزان متغیرهای معادل با آستانه‌های تحقیق

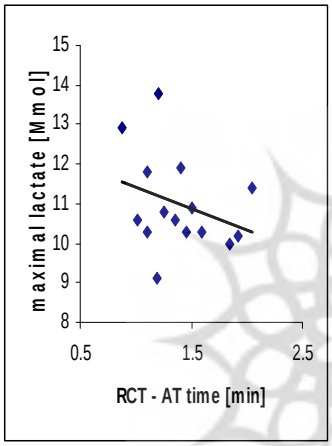
متغیر	آستانه لاکتات	آستانه تنفسی جبرانی	آستانه تنفسی اولیه
ضربان قلب (beat/min)	۱۶۶/۲ ± ۶/۹	۱۷۳/۵ ± ۹/۳	۱۵۸/۸ ± ۱۱/۱
اکسیژن مصرفی(ml/min)	۲۱۷۶/۶ ±۲۰۶/۴	۲۳۶۴/۶ ±۲۲۴/۷	۱۹۷۵ ± ۲۳۲/۲

متغیر ها بر اساس میانگین ± انحراف معیار می باشند

آستانه لاکتات، آستانه تنفسی جبرانی و آستانه تنفسی اولیه به ترتیب در۷/۸ ±۶۹/۲۵، ۹/۳±۷۶/۴۱ و ۸/۹±۶۲/۷۹ درصدی از VO_{2max} اتفاق افتاده بود. میانگین مدت زمان مرحله بافرینگ ۴۳/±۱/۳۵ دقیقه بود. بین حداکثر اکسیژن مصرفی با مدت زمان مرحله بافرینگ همبستگی معنی‌داری یافت شد ($r = 0.591$, $P< .05$). نمودار پراکنش و ارائه معادله پیش بین درشکل ۵ آمده است. بین بیشینه لاکتات تحمل شده توسط آزمودنی‌ها و مدت زمان مرحله بافرینگ همبستگی معنی‌دار یافت نشد (شکل ۶).



شکل ۵ . نمودار پراکنش بین زمان مرحله بافرینگ و VO_{2max}



شکل ٦. نمودار پراکنش بین زمان مرحله بافرینگ و بیشینه لاکتات تحمل شده توسط آزمودنی‌ها

بحث و نتیجه‌گیری

مهم‌ترین یافته این تحقیق این بود که آستانه تنفسی جبرانی در شدت‌های کاری بالاتر از آستانه لاکتات اتفاق می‌افتد و احتمالا این پارامتر نمی‌تواند بازگو کننده شدت بیشینه‌ای از تمرین باشد که می‌توان برای یک دوره طولانی بدون افزایش مداوم در غلظت لاکتات خون حفظ شود. اکسیژن مصرفی معادل با آستانه تنفسی جبرانی با اکسیژن مصرفی معادل با آستانه لاکتات تفاوت معنی‌دار داشت. آستانه تنفسی جبرانی به اندازه ۸/۶ درصد از VO_{2max} بالاتر از آستانه لاکتات و ۱۸/۳ درصد بالاتر از آستانه تنفسی اولیه اتفاق افتاده بود. این نتایج با عوامل تحت الشعاع ظهور آستانه تنفسی اولیه و جبرانی قابل تفسیر است.

معادل تهویه‌ای اکسیژن، تهویه دقیقه‌ای و معادل تهویه‌ای دی اکسید کربن تا لحظه رسیدن به آستانه به طرز مشابه افزایش پیدا می‌کنند. با وقوع آستانه، عمل بافرینگ اسید لاکتیک انجام می‌شود که سبب افزایش CO_2 و VE می‌شود در حالیکه اکسیژن مصرفی دچار تغییر نمی‌شود. پیامد این عمل افزایش در معادل تهویه‌ای اکسیژن می‌باشد در حالیکه معادل تهویه‌ای دی اکسید کربن بدون تغییر باقی می‌ماند (۱۴،۱۵). این عمل باعث افزایش ناگهانی معادل تهویه‌ای اکسیژن در اثر افزایش CO_2 غیر متابولیک ناشی از عمل بافرینگ می‌شود در حالیکه معادل تهویه‌ای دی اکسید کربن بدون تغییر می‌ماند(۱۵). تحقیقات متعددی از این شاخص جهت تعیین آستانه بی هوازی استفاده نموده‌اند (۱،۵،۶،۸). بعد از آستانه تنفسی اولیه، اسید لاکتیک تولیدی بلافاصله توسط HCO_3 بافر می‌شود. سپس در نقطه‌ای مشخص افزایش در تولید اسید لاکتیک از ظرفیت بیشینه بافرینگ بدن فزونی یافته و سقوط PH غیر قابل اجتناب می‌شود و پر تهویه‌ای اتفاق می‌افتد و سبب ظهور آستانه تنفسی جبرانی می‌شود (۱۰). مکانیسم‌های تحت الشعاع ظهور آستانه تنفسی جبرانی به طور کامل شناخته نشده‌اند اما سقوط PH و شروع اسیدوز متابولیک را به عنوان مهم‌ترین عامل معرفی کرده‌اند(۸،۱۰). دراین راستا مطالعه‌ای توسط میر انجام گرفت، که وی در تحقیق خود از تزریق وریدی بی‌کربنات جهت جلوگیری از سقوط PH استفاده نمود و نتیجه گرفت که تزریق وریدی بی‌کربنات باعث ظهور آستانه تنفسی جبرانی در مقادیر بالاتر اکسیژن مصرفی می‌شود (۵). تحقیقات مختلف ظهور آستانه تنفسی جبرانی را در خلال آزمون فرایندە خاطر نشان ساخته‌اند که قابل افتراق از آستانه تنفسی اولیه است (۱،۵،۱۶،۱۷). هر چند بعضی از محققان اذعان کرده‌اند که پاسخ دوم تهویه به آزمون فزاینده نمی‌تواند از اعتبار کافی برخوردار باشد و در تمامی موارد دیده نمی‌شود (۱۲،۱۸). علت این تناقض را می‌توان به طول مراحل آزمون استفاده شده در این آزمون‌ها نسبت داد چرا که واسرمن تاکید برآن دارد که جهت ظهور آستانه تنفسی جبرانی مراحل طولانی‌تر از ۴ دقیقه مناسب نیستند (۹،۱۳). هر چند آستانه تنفسی جبرانی در اثر پاسخ به کاهش اولیه و سقوط PH نسبت داده می شود که نشانگر آغار ناتوانایی سیستم بافرینگ است ، در عین حال مکانیزم‌های دیگری نیز در ظهور آن درگیر هستند، چرا که در مواردی هم که PH ثابت نگه داشته شده است، آستانه تنفسی جبرانی با تاخیر اتفاق افتاده است. عوامل کاندید

گیرنده‌های مکانیکی موضعی عضلانی (۱۳) ، ادراک درد (۱۹) و پتاسیم سرم بدن (۲۰،۲۱) هستند. ذکر این نکته حاوی اهمیت است که هر چند در این مطالعه آستانه تنفسی جبرانی شاخص مناسبی جهت تعیین شدت بحرانی نبود، لیکن با توجه به تعداد تنفس مشاهده شده در دقیقه در بار کاری معادل با آن، این احتمال وجود دارد که بتوان از تمرین در سطح آستانه تنفسی جبرانی جهت بهبود عملکرد عضلات تنفسی که می‌توانند عامل خستگی در فعالیت‌های بیشینه باشند استفاده نمود. تعیین صحت این امر نیازمند انجام دادن تحقیقات بعدی می‌باشد.

میانگین طول مرحله بافرینگ در این تحقیق برابر با ۴۳/ ± ۱/۳۵ دقیقه بود. طول این مرحله با توجه به وضعیت تمرینی، در افراد مختلف متفاوت است(۸). طول این مرحله بستگی به نرخ متابولسیم هوازی و بی هوازی بعد از آستانه تنفسی اولیه دارد. به این دلیل ما همبستگی بین زمان این مرحله را با بیشینه لاکتات تحمل شده و VO_{2max} به عنوان شاخص‌هایی از ظرفیت هوازی و بی هوازی به دست آوردیم. فرض ما این بود که در شدت کاری بالاتر از آستانه تنفسی اولیه چنانچه سرعت تولید لاکتات – به عنوان نمادی از مسیر بی هوازی در تولید انرژی – باشد بیانگر مشارکت بیشتر مسیر هوازی در تولید انرژی است که با زمان بیشتر مرحله بافرینگ همراه می‌شود. همبستگی معنی‌دار بین VO_{2max} و مدت مرحله بافرینگ بیانگر این است که بین مدت زمان این مرحله و ظرفیت هوازی فرد رابطه‌ای مستقیم برخوردار است. به بیان دیگر، این رابطه به دست آمده بیانگر فواید تمرینات بی‌هوازی برای ورزشکاران استقامتی است که به وسیله آن با بهبود ظرفیت تامپونی زمان وقوع آستانه تنفسی – کاهش PH – و به تبع آن خستگی را به تعویق بیندازند. هر چند مدت زمان مرحله بافرینگ را به حساسیت اجسام کاروتید نسبت می‌دهند (۲۲)، لیکن با توجه به ظرفیت ترکیبی بافرینگ بدن و پاسخ‌های متفاوت آنها به تمرین‌های متفاوت، طول این مرحله می‌تواند تحت تاثیر تمرین تغییر یابد و از این رو مطالعه پاسخ‌های فیزیولوژیک به تمرین در طول این دوره می‌تواند به عنوان شاخصی مفید در برآورد تطابق‌های اولیه با مرحله آغازین اسیدوز متابولیک ناشی از تجمع لاکتات مورد استفاده قرارگیرد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی این تحقیق این بود که آستانه تنفسی جبرانی در شدت‌های کاری بالاتر از آستانه لاکتات اتفاق می‌افتد و بنابراین نمی‌توان از این پارامتر جهت تعیین شدت بحرانی استفاده نمود. همچنین بین مدت زمان مرحله بافرینگ با ظرفیت هوازی فرد رابطه‌ای مستقیم و معنی‌دار موجود است و می‌توان از این شاخص در برآوزرد ظرفیت هوازی ورزشکاران استفاده نمود.

منابع:

1. Dekerll., J. Baron., B Dupont., L. Vanvelcenaher., J. Pelayo., P 2003. maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power., **Eru J Appl Physiol.,** 89: 281 – 28.
2. Borch, K.W., Ingjer, F., Larsen, S., and Tomten, S 1993. Rate of accumulation of the blood lactate during graded exercise as a predictor of anaerobic threshold., **J Sports Sci.,** 11: 49 – 55.
3. Beaver, W.L., Wasserman K., Whipp B.J." A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange". **J Appli Physiol.,** 64(6) 2020-2027.
4. Geir, S., Bjorn R., skjonsberg, H., and Fredrik, Biochem 2005. respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold., **J Sports Sci & Med.,** 4, 29 – 36.
5. Meyer, T., faude, O., scharhag, J., Urhausen, A., kindermann., W 2004. Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point?. **Br J Sports Med.,** 38: 622 – 625.
6. Michail, E., Border and Edward C., Rhodes, H 2000. "A review of the concept of the heart rate deflection point"., **Sport. Med.,** 30(1):31-46.
7. David, L., Michel, G., Anne, F.J., Patrice, F 2006., Maximal lactate steady state determination with a single incremental test exercise., **Eur J Appl Physiol.,** 96: 446 – 452.
8. Martin, L., Whyte, p 2000., comparison of critical swimming velocity and velocity at lactate threshold in elite triathletes, **Sport Med.,** 21: 366 – 368.
9. Tiago R.F., Fabrizio, C., Jailton, G.P., Benedito, S.D 2008., Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals., **J Sci & Med in Sport.,** 11:280-286.
10. Edil, L., S. and A. Giannella-Neto 2004. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds., **Eur J Appl Physiol.,** 93: 315–324.
11. Smith, C., G.M, Jonseam 2001. the relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turn point velocity in runners. **Eur J Appl Physiol.,** 85:19-26.

12. Matt, J., Green, Thaddeus R. Crews, Andrew, M 2003. "A comparison of respiratory compensation thresholds of anaerobic competitors, aerobic competitors and untrained subjects**"., Eur J Appl Physiol**., 90: 608 – 614.
13. Wasserman, K., Hansen, JE., Sue, DY., Whipp, BJ., Casaburi, R 1999. Principles of exercise testing and interpretation, 3rd edn. Lea & Febiger, Philadelphia, pp: 153–154.
14. Carlo, B., Miguel, V., Francisco, M., Joaquim, S., Laura, G 2004. Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. **Eur J Appl Physiol**., 93: 224–230.
15. Kara, M, Gokbel, B., Bediz, C.S 1999." A combined method for estimating ventilatory threshold"., **Med Sci Sport Exerc.,** 39(1) 9-16.
16. Ahmaidi, S., Hardy, J., Varray, A., et al 1993. respiratory gas exchanges indices used to detect the blood lactate accumulation threshold during an incremental exercise test in young athletes., **Eur J Appl Physiol.,** 66:31 – 6.
17. Mclellan, TM., Cheung, KS 1992. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and critical power, **Med Sci Sports Exerc.,** 24: 543 – 550.
18. Kazuto, O., Haruki, I., Naomi H., Tomoko, M., Akihiko, T., Keiko, O., Koike, T., AizawaLong, Fu., Naohiko, O 2004. Relationship between double product break point, lactate threshold, and ventilatory threshold in cardiac patients., **Eur J Appl Physiol.,** 91: 224–229.
19. Smith, S., Gallagher, K., Norton, K., et al 1999. ventilatory response to dynamic exercise elicited by intramuscular sensors., **Med Sci Sports Exerc.,** 31: 277 – 86.
20. Lucia, A., Hoyos, A., Santalla, A., Perez, M 2002. "lactate acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists"., **J Sport Med.,** 36: 113 – 117.
21. Busse, M., Scholz, J., Maassen, N 1992. plasma potassium and ventilation during incremental exercise in human: modulation by sodium bicarbonate and substrate availability., **Eur J Appl Physiol.,** 65: 340 – 6.
22. Deboeck, G. Niset, M. Lamotte, J-L. Vachiery, R. Naeije 2004. "Exercise testing in pulmonary arterial hypertension and in chronic heart failure"..,**Eur Respir J.,** 23: 747–751.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی