

## مقایسه ظرفیت های بافرینگ در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بین دوچرخه سواران نخبه استقامتی و سرعتی و ارتباط آن با شاخص های هوازی و بی هوازی

محسن حسن لی<sup>۱</sup>، روح الله نیکویی<sup>۲</sup>

۱. کارشناس ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان\*

۲. استادیار دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۰۲

### چکیده

هدف از مطالعه حاضر مقایسه ظرفیت های بافرینگ در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بین دوچرخه سواران نخبه استقامتی و سرعتی و ارتباط آن با شاخص های هوازی و بی هوازی بود. ۸ دوچرخه سوار استقامتی و ۶ دوچرخه سوار نخبه بی هوازی کار در دو جلسه مجزا با فاصله زمانی یک هفته یک آزمون فزاینده استاندارد و یک آزمون فرابیشینه یکنواخت را انجام دادند. در خلال آزمون فزاینده، گازهای تنفسی و نمونه خونی جهت اندازه گیری لاکتات، بی کربنات و PH جمع آوری شد. مرحله بافرینگ ایزوکپنیا به عنوان فاصله بین آستانه لاکتات و آستانه تنفسی جبرانی تعیین گردید. ظرفیت بافرینگ بی کربناتی از طریق فرمول  $\Delta [PH]$ ،  $\Delta [HCO_3]$  و ظرفیت غیر بی کربناتی از طریق  $\Delta [PH]$ ،  $[\Delta [HCO_3] - \Delta [LA], \Delta [PH]]$  بدست آمد. همبستگی بین متغیرها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون تعیین و معنادار بودن تفاوت بین متغیرها با آزمون t استیودنت مشخص گردید. ظرفیت بافرینگ بی کربناتی ( $P < 0.01$ ) و مدت زمان مرحله بافرینگ ( $P < 0.05$ ) و تغییرات لاکتات در مرحله بافرینگ ( $P < 0.01$ ) در گروه استقامتی به طور معنادار نسبت به دوچرخه سواران سرعتی بالاتر بود. همبستگی معنادار بین ظرفیت بافرینگ بی کربناتی با  $VO_{2max}$  ( $P < 0.05$ ) و ظرفیت بافرینگ بی کربناتی و کسر اکسیژن ( $P < 0.01$ ) بدست آمد. به طور خلاصه نتایج نشان داد ظرفیت های بافرینگ در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بین دوچرخه سواران استقامتی و سرعتی متفاوت و با ظرفیت های هوازی و بی هوازی آنان مرتبط است.

**واژگان کلیدی:** لاکتات، مرحله بافرینگ ایزوکپنیا، ظرفیت های بافرینگ، دوچرخه سواران نخبه.

## مقدمه

مرحله بافرینگ ایزوکپنیا<sup>۱</sup> به عنوان مدت زمان بین وقوع آستانه لاکتات و آستانه جبرانی تنفسی<sup>۲</sup> تعریف می شود (۱-۳). این مرحله با افزایش ناگهانی در غلظت لاکتات خون (وقوع آستانه لاکتات) آغاز و با شروع پرتهویه ای (وقوع آستانه تنفسی جبرانی) به اتمام می رسد و در طی این مراحل اسید لاکتیک تولیدی به وسیله سیستم بافرینگ بدن بافر می شود تا زمانی که سیستم بافرینگ در مقابل اسید لاکتیک تولیدی شکست می خورد که با سقوط در PH و وقوع پرتهویه ای همراه می شود (۲،۳). مدت زمان این مرحله را به حساسیت اجسام کاروتید، گیرنده های محیطی واقع در قوس آئورت و محل دو شاخه شدن شریان کاروتید مشترک، که در درجه اول نسبت به تغییرات مقدار اکسیژن خون و همین طور CO<sub>2</sub> و یون هیدروژن خون حساس هستند نسبت می دهند (۴). با این وجود عوامل دیگر از قبیل فرایند کینتیک لاکتات و ظرفیت بافرینگ نیز در مدت زمان این مرحله دخیل هستند (۵،۶).

ظرفیت بافرینگ بدن از اجزای مختلفی اعم از مرکزی (ظرفیت بافرینگ بی کربناتی خون) و پیرامونی (ظرفیت بافرینگ غیر بی کربناتی متشکل از بافرهای پروتئینی و فسفات) تشکیل شده است و این اجزا از نظر جبری با یکدیگر قابل جمع هستند (۷،۸). کل ظرفیت بافرینگ بدن در مرحله بافرینگ توسط دو بخش اصلی بافر بی کربنات، بافر فسفات ها و بافر پروتئین ها مشخص می شود که میزان آن را می توان با استفاده از فرمول  $\Delta [PH] \cdot \Delta [LA] + \Delta [LA]$  بدست آورد (۷،۹). همچنین میزان ظرفیت بافرینگ بی کربنات را نیز می توان از طریق  $\Delta [PH] \cdot \Delta [HCO_3]$  مشخص نمود و حاصل تفریق ظرفیت بافرینگ بی کربنات از ظرفیت کل بافرینگ یعنی  $[ [ [ P ] ] ] \cdot [ [HCO] ] \cdot [ [ P ] ] \cdot [ aLA ]$  بیانگر ظرفیت بافرینگ غیر بی کربناتی یعنی فسفات ها و پروتئین های عضلانی است (۷،۹). ظرفیت بافرینگ بدن شاخصی تمرین پذیر است که با توجه به نوع تمرین تطابق ایجاد شده در آن متفاوت می باشد (۱۰-۱۲). در بعضی از پژوهش ها این موضوع نشان داده شده است که ظرفیت بافرینگ در عضلات (بافرینگ غیر بی کربناتی) در ورزشکاران رقابتی بی هوازی کار نسبت به ورزشکاران استقامتی بالاتر است (۱۰،۱۱) که با ماهیت و نوع تمرین این گونه ورزشکاران همخوانی دارد. در عین حال مطالعاتی که سهم نسبی بافرینگ بی کربناتی و غیر بی کربناتی را در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بین ورزشکاران نخبه استقامتی و بی هوازی کار با هم مقایسه کرده باشد نادر است. لذا هدف اول از تحقیق حاضر مقایسه

1. Isocapnic buffering phase
2. Respiratory compensatory threshold

ظرفیت های بافرینگ بین دوچرخه سواران استقامتی و بی هوازی کار نخبه در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بود.

مدت زمان مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بستگی به اشتراک نسبی دستگاه های هوازی و بی هوازی در تامین انرژی بعد از آستانه تنفسی اولیه دارد (۱۳،۱۴). مکانیزم های فیزیولوژیکی ناشی از فعالیت در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا متأثر از پاسخ های فیزیولوژیک بدن به هر دو سیستم انرژی هوازی و بی هوازی است (۱۴). در طول این مرحله تلفیقی از دو دستگاه هوازی و بی هوازی مسئولیت تولید انرژی مورد نیاز بدن را بر عهده می گیرد و مطالعه تغییرات متغیرهای فیزیولوژیک در طی این دوره می تواند اطلاعات بسیار مفیدی از سازگاری های هوازی و بی هوازی ایجاد شده در اثر تمرین را فراهم آورد؛ مخصوصاً در ورزشکارانی که سیستم غالب در آنها صرفاً سیستم هوازی یا بی هوازی نیست. استفاده از متغیرهای مرحله ایزوکپنیا در کنار سود بردن از شاخص هایی همچون آستانه لاکتات و  $VO_{2max}$  جهت پیش بینی ظرفیت هوازی و بی هوازی ورزشکاران منطقی به نظر می رسد. لذا هدف دوم این بود که آیا ظرفیت های بافرینگ در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا می تواند بازگو کننده ظرفیت هوازی و بی هوازی باشند یا خیر. بدین منظور از ارتباط بین ظرفیت بافرینگ بی کربناتی با  $VO_{2max}$  و اکسیژن معادل با آستانه لاکتات جهت پیش بینی ظرفیت هوازی و ارتباط بین ظرفیت بافرینگ غیر بی کربناتی با کسر اکسیژن و حداکثر لاکتات تحمل شده جهت پیش بینی ظرفیت بی هوازی استفاده گردید.

### روش پژوهش

آزمودنی ها ۸ دوچرخه سوار استقامتی و ۶ دوچرخه سوار سرعتی نخبه که همگی عضو باشگاه ورزشی عقاب، ترافیک و پاسارگاد بودند و حداقل سابقه ۵ سال حضور در تیم ملی را داشتند، در دو جلسه مجزا یک آزمون فزاینده و یک آزمون فرابیشینه یکنواخت را تا سر حد واماندگی انجام دادند. آزمودنی ها از انجام فعالیت جسمانی شدید ۴۸ ساعت و خوردن ۴ ساعت قبل از اندازه گیری، منع شدند. خلاصه ای از ویژگی های آنروپومتریکی و فیزیولوژیکی آزمودنی های پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

در جلسه اول آزمودنی ها یک آزمون فزاینده استاندارد را بر روی چرخ ارگومتر انجام دادند و در خلال انجام آزمون از طریق ماسک دو طرفه با مقاومت و فضای مرده اندک تنفس می کردند و گازهای تنفسی در تمامی طول آزمون بوسیله دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی به طور نفس به نفس جمع آوری شد. عمل کالیبره کردن دستگاه با استفاده از سیلندرهاى سه لیتری محتوی گاز رفرنس برای هر آزمودنی انجام و پارامترهای گازی در خلال آزمون به طور نفس به نفس اندازه گیری

شد. قبل از شروع آزمون، قرار دادن آنژوکت در شریان بازویی توسط پزشک انجام و اولین نمونه خونی در حالت استراحت به اندازه ۰/۵ میلی لیتر جهت تعیین بی کربنات، PH و لاکتات استراحت اخذ شد. سپس آزمون با مرحله گرم کردن به مدت ۳ دقیقه، با ۱۰۰ وات شروع و افزایش در مقاومت به اندازه ۲۵ وات هر ۳ دقیقه یک بار اعمال شد (۱۵). این عمل تا وقوع  $VO_{2max}$  ادامه یافت. توان معادل با آخرین مرحله ای که به طور کامل تکمیل شده بود به عنوان  $P_{max}$  در نظر گرفته شد. همچنین جهت تعیین تغییرات این سه شاخص در حین تمرین و متعاقب آن در مرحله بافرینگ نمونه خونی در ۳۰ ثانیه انتهایی از هر مرحله اخذ و اندازه گیری های مربوط حاصل شد. جمع آوری نمونه خونی و اندازه گیری پارامترهای گازی در خلال یک آزمون واحد انجام گرفت تا از تغییرات غیر سیستماتیک جلوگیری به عمل آید.

جدول ۱. توصیف ویژگی های فیزیولوژیک آزمودنی ها

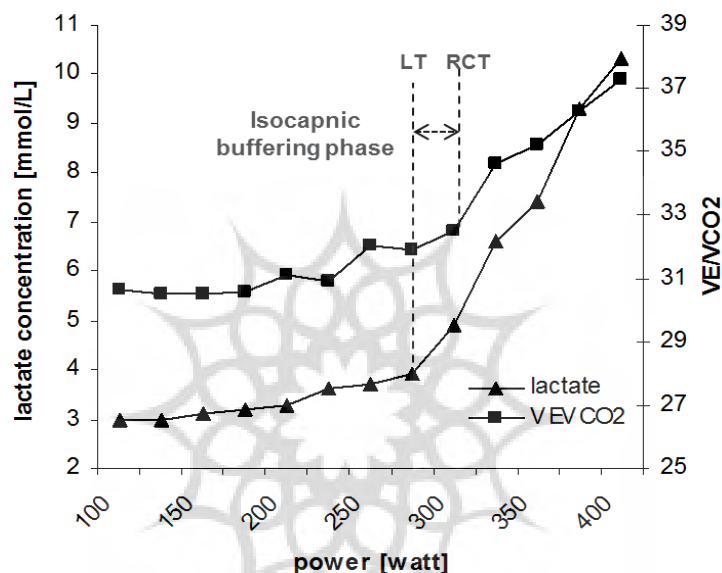
متغیر	سرعتی	استقامتی
سن (سال)	$21/33 \pm 2/33$	$22/5 \pm 3/29$
قد (سانتیمتر)	$176/5 \pm 4/76$	$182/12 \pm 4/85$
وزن (کیلوگرم)	$75/33 \pm 6/71$	$74/75 \pm 5/47$
شاخص توده بدن (کیلوگرم/متر <sup>۲</sup> )	$24/21 \pm 1/97$	$22/49 \pm 1/118$
حداکثر اکسیژن مصرفی (لیتر در دقیقه)	$3/88 \pm 0/21$	$4/39 \pm 0/26$
مدت زمان آزمون فزاینده (دقیقه)	$30/6 \pm 2/3$	$31/6 \pm 2/7$

متغیرها برحسب میانگین  $\pm$  انحراف معیار هستند.

تعیین آستانه لاکتات: در این پژوهش آستانه لاکتات به عنوان افزایش ناگهانی در نمودار غلظت لاکتات - بار کار تعریف و تعیین شد (شکل ۱)(۱۶). غلظت لاکتات معادل با این نقطه به عنوان غلظت لاکتات معادل با آستانه لاکتات در نظر گرفته شد (۱۶).

تعیین آستانه تنفسی جبرانی: از ابتدا تا انتهای تمرین، نمودار مربوط به معادل تهویه ای دی اکسید کربن ( $VE/VCO_2$ ) ترسیم و آستانه تنفسی جبرانی به عنوان افزایش ناگهانی در این نمودار تعریف شد (شکل ۱). با توجه به این تعریف جهت جلوگیری از هر گونه خطای احتمالی در تعیین این نقطه به طور چشمی این عمل به وسیله نرم افزار matlab انجام گرفت. ابتدا بهترین منحنی با حداقل مجذورات خطا بر روی داده ها ترسیم شد. سپس نمودار مربوط به مشتق دوم این منحنی ترسیم و جایی که مشتق دوم منحنی از صفر رد شد، به عنوان افزایش ناگهانی در نمودار در نظر

گرفته شد (۱۷). به دلیل این که آستانه تنفسی جبرانی در آزمودنی ها در فواصل بین دو مرحله اتفاق می افتاد، غلظت لاکتات معادل با آستانه تنفسی جبرانی از طریق تکنیک درون یابی<sup>۱</sup> انجام پذیرفت.



شکل ۱. تعیین مرحله بافرینگ ایزوکپنیا در یکی از آزمودنیهای تحقیق

تعیین مرحله بافرینگ: مرحله بافرینگ به عنوان فاصله زمانی بین شروع آستانه لاکتات و وقوع پرتوه ای یا شروع آستانه تنفسی جبرانی تعریف شد (۱۸) (شکل ۱).

تعیین سهم نسبی عوامل بافرینگ: با استفاده از فرمول  $\Delta [PH]$  .  $\Delta [LA]$  میزان کل بافرینگ بدن بدست آمد. میزان ظرفیت بافرینگ بی کربناتی از طریق  $\Delta [PH]$  .  $\Delta [HCO_3]$  مشخص و ماحصل تفریق ظرفیت بافرینگ بی کربنات از ظرفیت کل بافرینگ یعنی  $[ [ [ P ] ] ]$  .  $[ [ [ O ] ] ]$  °  $[ [ [ P ] ] ]$  .  $[ [ [ LA ] ] ]$  به عنوان ظرفیت بافرینگ غیر بی کربناتی محاسبه گردید (۷).

آزمون کسر اکسیژن: پس از گذشت یک هفته از آزمون اول، آزمودنی‌ها یک آزمون فوق‌بیشینه را بر روی چرخ ارگومتر انجام دادند. در خلال انجام آزمون، گازهای تنفسی در تمامی طول آزمون به طور نفس به نفس جمع‌آوری شد. آزمون با مرحله گرم کردن با توان ۱۰۰ وات به مدت ۵ دقیقه آغاز شد. سپس از آزمودنی‌ها خواسته شد که با شدت کاری برابر با ۱۲۰ درصد از  $P_{max}$  خود تا سر حد واماندگی تست را ادامه دهند (۱۵). جهت تعیین کسر اکسیژن، ابتدا اکسیژن مصرفی معادل با ۱۲۰ درصد  $P_{max}$  پیش‌بینی گردید. جهت پیش‌بینی این مقدار از ارتباط بین اکسیژن مصرفی معادل با شدت‌های کاری زیر آستانه لاکتات (تا جایی که این ارتباط مستقیم بود) استفاده گردید. تفاوت بین اکسیژن مصرفی در طول تست و ۱۲۰ درصد  $P_{max}$ ، نشان‌دهنده کسر اکسیژن اتفاق افتاده بود. به دلیل این که میزان مصرف اکسیژن در خلال آزمون فرابیشینه یکنواخت نیست، تست فرابیشینه به وهله‌های ۱۰ ثانیه‌ای تقسیم گردید و اکسیژن مصرفی هر ۱۰ ثانیه اندازه‌گیری و تفاضل آن با اکسیژن مصرفی معادل با ۱۲۰ درصد  $P_{max}$  مشخص گردید. مجموع تمامی تفاوت‌های موجود در وهله‌های ۱۰ ثانیه‌ای برابر با کسر اکسیژن توسعه یافته<sup>۱</sup> در نظر گرفته شد (۱۵).

اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی: نحوه اندازه‌گیری لاکتات، بی‌کربنات و PH: اندازه‌گیری لاکتات با استفاده از lactic acid assay kit, cat: K607-100, company: biovision طبق دستورالعمل شرکت سازنده و اندازه‌گیری بی‌کربنات و PH به وسیله دستگاه ABG<sup>۲</sup> اندازه‌گیری گردید.

تفاوت بین متغیرهای مورد نظر در دو گروه بوسیله آزمون t مستقل مشخص شد. رابطه بین متغیرها به وسیله ضریب همبستگی پیرسون تعیین و جهت توانایی در امر پیش‌بینی از آنالیز رگرسیون استفاده شد. تجانس واریانس دو گروه با آزمون F هارتلی سنجیده شد. سطح معناداری در تمامی آزمون‌ها  $= 0.05$  انتخاب شد.

## نتایج

جدول ۲ مقادیر معادل با آستانه لاکتات و آستانه تنفسی جبرانی در خلال آزمون فزاینده و تغییرات نسبی متغیرهای تحقیق را در طول مرحله بافرینگ ایزوکپنیا نشان می‌دهد.

1. Maximal accumulative oxygen deficit
2. Arterial blood gas analyzer

جدول ۲. مقادیر غلظت بی کربنات، PH، لاکتات و اکسیژن مصرفی معادل با آستانه های لاکتات و تنفسی جبرانی

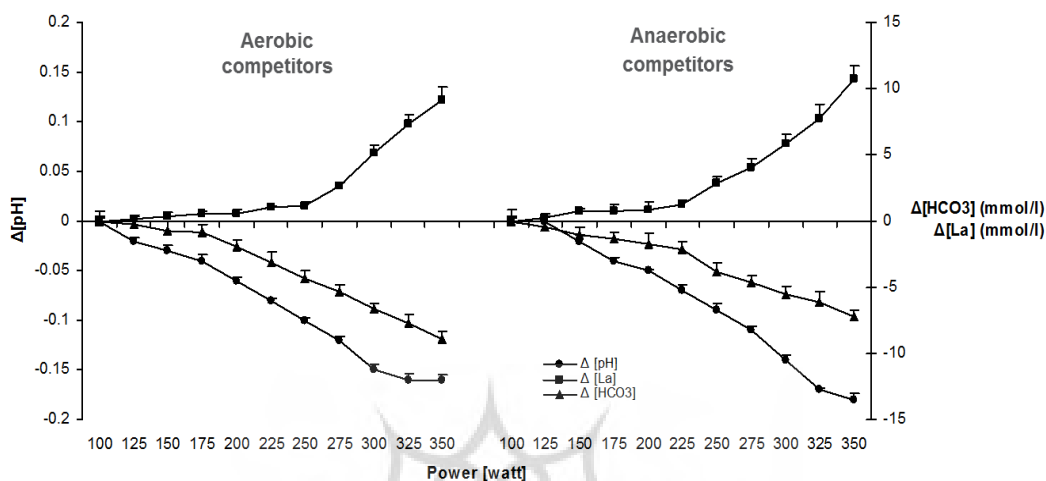
متغیر	گروه	آستانه لاکتات	آستانه تنفسی جبرانی	تغییرات نسبی #
بی کربنات (mmol/L)	استقامتی	۲/۲ ع ۲۰	۱/۶ ع ۱۷/۷	۱/۳* ع ۱۱/۷-
	سرعتی	۱/۲ ع ۱۹/۶	۱/۴ ع ۱۷/۹	۰/۹۵ ع ۸/۹۷-
pH	استقامتی	۰/۰۵ ع ۷/۲۸	۰/۰۴ ع ۷/۲۳	-۰/۶۶
	سرعتی	۰/۰۴ ع ۷/۲۷	۰/۰۴ ع ۷/۲۲	-۰/۶۸
غلظت لاکتات (میلی مول در لیتر)	استقامتی	۳/۲۸ ± ۰/۳۶*	۴/۷۲ ± ۰/۳۹*	۲۹/۴۵ ± ۲/۱**
	سرعتی	۳/۷۸ ± ۰/۲۷	۵/۶۹ ± ۰/۲۷	۴۷/۵۴ ± ۴/۲۱
اکسیژن مصرفی (لیتر در دقیقه)	استقامتی	۳/۲۴ ± ۰/۱۴*	۳/۶۸ ± ۰/۲۲*	-
	سرعتی	۲/۷۹ ± ۰/۱۵	۳/۳۳ ± ۰/۱۲	-

متغیرها بر اساس میانگین ± انحراف معیار می باشند.

\* اختلاف معنادار بین گروههای تحقیق ( $P < 0.05$ )، \*\* ( $P < 0.01$ )

# مقدار معادل با LT / مقدار معادل با LT - مقدار معادل با RCT

بین تغییرات نسبی بی کربنات در طول مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بین دو گروه تفاوت معنادار مشاهده شد ( $P < 0.05$ ) در حالی که تفاوت در متغیر PH بین دو گروه معنادار نبود. غلظت لاکتات معادل با آستانه لاکتات ( $P < 0.05$ ) و آستانه تنفسی جبرانی ( $P < 0.05$ ) و هم چنین تغییرات نسبی لاکتات در طول مرحله بافرینگ ایزوکپنیا ( $P < 0.01$ ) بین دو گروه تفاوت معنادار داشت. تغییرات زمانی متغیرهای بی کربنات، PH و لاکتات در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. تغییرات زمانی متغیرهای بی کربنات، PH و لاکتات در خلال آزمون فزاینده در گروههای تحقیق مقادیر پایه: گروه استقامتی: لاکتات (۲/۱ ± ۰/۲)، بی کربنات (۲۴/۳ ± ۰/۷)، PH (۷/۳۸ ± ۰/۰۰۴) گروه بی هوازی کار: لاکتات (۲/۵ ± ۰/۲)، بی کربنات (۲۳/۴ ± ۰/۸)، PH (۷/۳۷ ± ۰/۰۰۴)

اکسیژن مصرفی معادل با آستانه لاکتات ( $P < 0.05$ ) و آستانه تنفسی جبرانی ( $P < 0.05$ ) به طور معنادار در گروه استقامتی بالاتر بود. ظرفیت بی کربناتی به طور معنادار در گروه استقامتی از گروه سرعتی بالاتر بود ( $P < 0.05$ ) در حالی که ظرفیت غیر بی کربناتی بین دو گروه اختلاف معنادار نداشت. مقایسه سایر متغیرهای فیزیولوژیک بین گروه ها در جدول ۳ ارائه شده است.

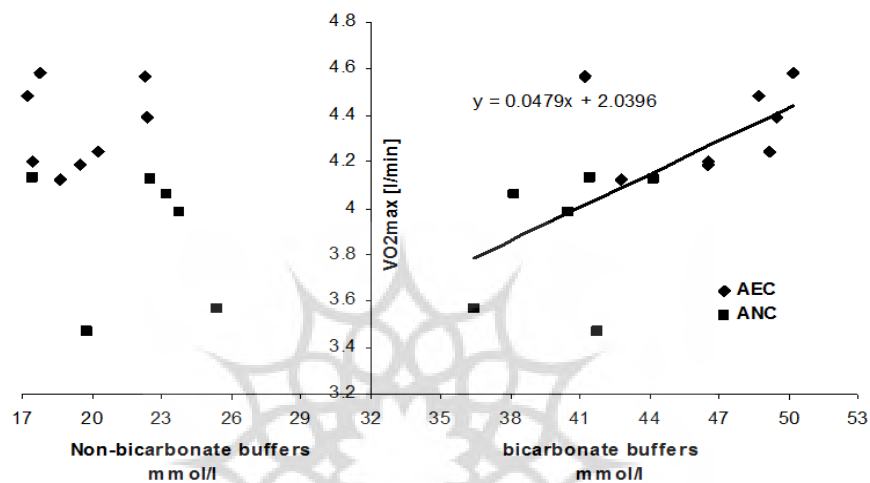
جدول ۳: مقایسه برخی از متغیرهای تحقیق بین گروه ها

متغیر	استقامتی	سرعتی
ظرفیت بافرینگ بی کربنات (میلی مول در لیتر در واحد PH) *	۴۶/۸۸ ± ۲/۵۸	۴۰ ± ۲/۷۵
ظرفیت بافرینگ غیر بی کربنات (میلی مول در لیتر در واحد PH)	۱۹/۱۳ ± ۲/۷۴	۲۲/۳۳ ± ۳/۰۷
مدت زمان مرحله بافرینگ (ثانیه) *	۲۲۰/۵ ± ۳۱/۷۴	۱۶۵/۶۷ ± ۱۹/۰۷
کسر اکسیژن توسعه یافته (لیتر در دقیقه) *	۹/۱ ± ۱/۲	۱۱/۵۱ ± ۱/۵۱
Pmax (وات)	۳۳۴/۲ ± ۲۴/۵	۳۱۷/۷ ± ۲۲/۷
بیشینه لاکتات تحمل شده (میلی مول در لیتر) *	۸/۹ ± ۱/۲	۱۱/۰۱ ± ۱/۶۲
مدت زمان آزمون کسر اکسیژن (دقیقه) *	۴/۱۴ ± ۰/۹	۵/۰۲ ± ۱/۱

متغیر ها بر اساس میانگین ± انحراف معیار می باشند  
\* اختلاف معنادار بین گروههای تحقیق ( $P < 0.01$ )

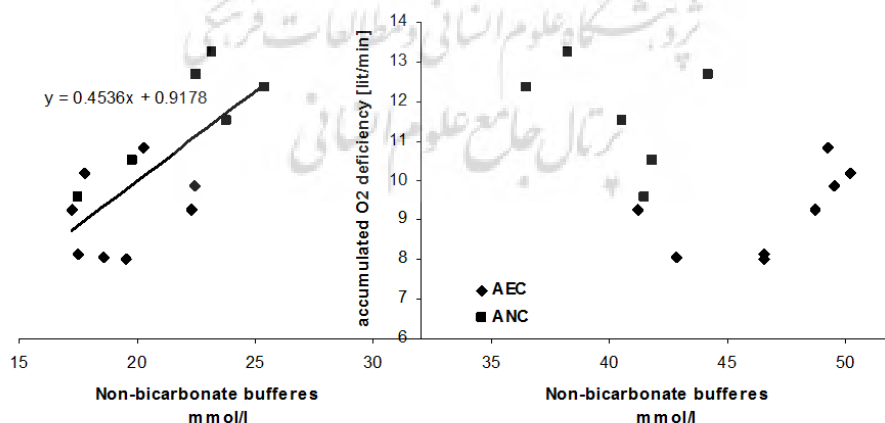


ارتباط معنادار بین ظرفیت بی کربناتی و  $VO_{2max}$  بدست آمد ( $r = 0.64 - P < 0.05$ ) در حالی که ارتباط بین ظرفیت غیر بی کربناتی و  $VO_{2max}$  معنادار نبود (شکل ۳). همچنین بین ظرفیت بی کربناتی و اکسیژن مصرفی معادل با LT رابطه معناداری یافت نشد.



شکل ۳. ارتباط بین ظرفیتهای بافرینگ با  $VO_{2max}$

ارتباط معنادار بین ظرفیت غیر بی کربناتی و کسر اکسیژن بدست آمد ( $r = 0.71 - P < 0.01$ ) در حالی که ارتباط بین ظرفیت بی کربناتی و کسر اکسیژن معنادار نبود (شکل ۴). همچنین بین ظرفیت غیر بی کربناتی و حداکثر لاکتات تحمل شده رابطه معناداری یافت نشد.



شکل ۴. ارتباط بین ظرفیتهای بافرینگ با کسر اکسیژن

## بحث و نتیجه گیری

در مطالعه حاضر مقایسه ظرفیت های بافرینگ در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بین دوچرخه سواران نخبه استقامتی و سرعتی و ارتباط آن با شاخص های هوازی و بی هوازی مورد بررسی قرار گرفت. مهمترین یافته های تحقیق حاضر بدین شرح بود (۱) ظرفیت بافرینگ بی کربناتی در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا در دوچرخه سواران استقامتی از همتایان سرعتی بیشتر است (۲) ظرفیت بافرینگ بی کربناتی و غیر بی کربناتی در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا با ظرفیت های هوازی و بی هوازی ارتباط معنادار دارند و می توانند در جهت پیش بینی سازگاری های تمرینی مورد استفاده قرار گیرند.

در مقایسه با دوچرخه سواران سرعتی، دوچرخه سواران استقامتی مقادیر بالاتری از اکسیژن مصرفی و توان معادل با هر دوی آستانه لاکتات و آستانه تنفسی جبرانی را از خود نشان دادند. در عین حال مقادیر اکسیژن مصرفی معادل با آستانه تنفسی جبرانی در گروه بی هوازی کار نیز قابل توجه بود. ماهیت متفاوت تمرینی این گروه می تواند بخشی از تفاوت های مشاهده شده را توضیح دهد (۱۹،۲۰). مکانیسم های متعددی مقادیر  $VO_{2max}$  و آستانه های متعدد را تحت تاثیر قرار می دهند به شکلی که سازگاری های مرکزی - اعم از سازگاری های قلبی - تنفسی، هماتولوژیک، آنژیوژنیک و ... که بیشتر در ورزش های استقامتی اتفاق می افتند بیشتر تمایل به بهبود  $VO_{2max}$  دارند، در حالی که سازگاری های محیطی همانند بهبود ظرفیت تامپونی عضلانی که در تمرینات بی هوازی غالب هستند، تأثیر بیشتری بر مقادیر آستانه می گذارند (۱۱،۱۲). کوشش های تمرینی پر شدت که اغلب توسط دوچرخه سواران سرعتی انجام می شود با کاهش PH خون و عضله سبب تحریک تنفس می شود (۱۹،۲۰). این محرک می تواند سیستم های بافرینگ از قبیل تنفس جبرانی را تحریک و منجر به بهبود آن شود که نتیجه غایی این عمل بهبود آستانه تنفسی جبرانی در این دسته از ورزشکاران است. اندازه گیری همزمان لاکتات، PH و پارامترهای گازی در مطالعه حاضر به اثبات این احتمال کمک می کند. اگر چه دو گروه تقریباً ظرفیت بافرینگ کل یکسانی را نشان دادند در عین حال کاهش در بی کربنات در شدت های کاری بالا در دوچرخه سواران سرعتی نسبت به استقامتی کمتر بود که به معنی این است که این دسته از ورزشکاران یون هیدروژن بیشتری را از طریق بافرینگ غیر بی کربناتی، من جمله بافرینگ تنفسی، دفع کرده اند.

در مطالعه حاضر ظرفیت بی کربناتی به طور معنادار در دوچرخه سواران استقامتی از گروه سرعتی بالاتر و تغییرات بی کربنات در مرحله بافرینگ نسبت به دوچرخه سواران سرعتی بیشتر بود. بی کربنات مهم ترین بافر بدن در سطح خون و مایع بین سلولی است و غلظت آن با نسبت ۱:۱ با افزایش در غلظت لاکتات پلاسما کاهش می یابد (۵). کاهش در سطوح بی کربنات خون به علت

ورود آن به داخل سلول جهت مقابله با کاهش درون سلولی PH است. به دلیل این که در ازای دفع یون هیدروژن به میزان یک میلی مول در لیتر، از بی کربنات خون به مقدار یک میلی مول در لیتر کاسته می شود، لذا کل بافرینگی که توسط بی کربنات بدن انجام می شود بستگی به سطوح اولیه آن در خون و مایع خارج سلولی دارد (۵). در تحقیق حاضر مقادیر بی کربنات استراحتی خون در گروه استقامتی نسبت به گروه سرعتی بالاتر بود که می تواند ظرفیت بی کربناتی بالاتر در این گروه را تفسیر نماید. از طرف دیگر، کاهش بی کربنات در مرحله بافرینگ در گروه سرعتی نسبت به گروه استقامتی پایین تر بود. این نتیجه در حالی بدست آمد که افزایش غلظت لاکتات در طول مرحله بافرینگ در این گروه از همتایان استقامتی بالاتر بود. در تفسیر این نتیجه تغییرات پلازما در حین تمرین نیز باید در نظر گرفته شود که در تحقیق حاضر اندازه گیری نشد. در عین حال، به دلیل کوتاه بودن مرحله بافرینگ ایزوکپنیا (۴-۲ دقیقه) و یکسان بودن شرایط آزمون برای دو گروه به احتمال زیاد درگیری این عامل در اختلاف مشاهده شده بسیار ناچیز است. روی هم رفته، افزایش غلظت لاکتات بدون کاهش همزمان بی کربنات حاکی از انجام بیشتر بافرینگ غیر بی کربناتی در عضلات اسکلتی ورزشکاران سرعتی است. کوشش های تمرینی پر شدت که به طور معمول توسط ورزشکاران سرعتی انجام می شود، وابستگی زیادی به تامین انرژی از طریق مسیر فسفاژن و گلیکولیز بی هوازی دارد (۲۱) و تحریک مداوم این دو میسر می تواند سبب بهبود ظرفیت های غیر بی کربناتی از قبیل بافرهای فسفاژنی و پروتئینی درون عضلانی شود (۲۲، ۲۱). بر خلاف وجود مدارک مبنی بر اثرات مفید فعالیت های پر شدت بر بهبود ظرفیت بافرینگ بی کربناتی، این متغیر بین دو گروه تفاوت معنادار نداشت. سهم نسبی اندک بافرینگ بی کربناتی در کل عملیات بافرینگ در حین تمرین می تواند این نتیجه را تفسیر نماید چرا که نشان داده شده است که بافرینگ بی کربناتی در حین تمرین تنها ۸ درصد از کل عملیات بافرینگ را انجام می دهد.

در مطالعه حاضر رابطه معناداری بین ظرفیت های بافرینگ در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا با شاخص های هوازی و بی هوازی یافت شد. نتایج نزدیک نیز قبلاً در مطالعات دیگر و رابطه معنادار بین مدت زمان مرحله بافرینگ ایزوکپنیا با  $VO_{2max}$  گزارش شده است (۲۳). همچنین گزارش گردیده است که پیشرفت در عملکرد هوازی با بهبود ظرفیت بافرینگ بی کربناتی همراه است (۸). هر دو نقطه آغازین و انتهایی مرحله بافرینگ بر  $VO_{2max}$  تاثیر گذارند. شاخص  $VO_{2max}$  توسط مقادیر آستانه لاکتات تحت تاثیر قرار می گیرد چرا که مقادیر بالاتر این شاخص مستلزم توانایی انجام تمرین بدون افزایش در غلظت لاکتات خون است. همچنین مقادیر آستانه تنفسی جبرانی نیز بر این شاخص تاثیر گذار است چرا که شدت های بالاتر از آستانه تنفسی جبرانی نیز برای مدت زیاد قابل تحمل نیستند و وقوع زود هنگام آستانه تنفسی جبرانی منجر به وقوع زود هنگام  $VO_{2max}$  و کمتر شدن

این متغیر می شود. وقوع آستانه تنفسی جبرانی بستگی به قدرت ظرفیت های بافرینگ بدن در طول مرحله بافرینگ دارد؛ چرا که با انجام بافرینگ بیشتر در این مرحله آستانه تنفسی جبرانی دیرتر اتفاق می افتد و وقوع  $VO_{2max}$  به شدت های بالاتر موکول می شود. لذا به دلیل وجود این تعامل، ارتباط معنادار بین ظرفیت های بافرینگ بی کربناتی با  $VO_{2max}$  در این تحقیق بدست آمد. ارتباط بدست آمده بین ظرفیت های بافرینگ در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا با ظرفیت های هوازی و بی هوازی از اهمیت خاصی برخوردار است؛ چرا که در طول این مرحله روند تولید انرژی تلفیقی از هر دو سیستم هوازی و بی هوازی است. لذا در کنار استفاده از شاخص هایی چون آستانه لاکتات و  $VO_{2max}$  استفاده از این شاخص نیز در پیش بینی ظرفیت های هوازی و بی هوازی در ورزش هایی که از هر دو سیستم تولید انرژی جهت تامین نیازمندی های انرژی های فعالیت سهم می برند، به پژوهشگران پیشنهاد می گردد.

### تقدیر و تشکر

محققان بدین وسیله از کلیه ورزشکاران باشگاه های عقاب، ترافیک و پاسارگاد که در این تحقیق شرکت کردند، تشکر به عمل می آورند.

### منابع

- ۱) نیکویی روح الله، قراخلو رضا، بهرامی نژاد مرتضی، غفاری علی. اعتبار آستانه تنفسی جبرانی در برآورد شدت بحرانی. فصلنامه پژوهش در علوم ورزشی. زمستان ۱۳۸۷؛ ۲۱: ۳۰-۱۱۷
- 2) John J, Leddy AL, Snehal P, Frank M, Cathy B, David RP. Isocapnic hyperpnea training improves performance in competitive male runners. *Eur J Appl Physiol*. 2007; 99:665° 76.
- 3) Piergiuseppe AE, Mariaconsuelo V, Damiano AC, Miriam R, Gianluca C, Francesca G, et al. Disappearance of isocapnic buffering period during increasing work rate exercise at high altitude. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*. 2008; 15:354° 8.
- 4) Sasan M, Brain J, Karlman W, Andrew H. Role of the carotid bodies in therspiretory compensation for the metabolic acidosis of exercise in human. *Journal of physiology*. 1991; 444: 567° 78.
- 5) Francois P, Bernard A. Lactic acid buffering, nonmetabolic CO2 and exercise hyperventilation. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2006; 150: 4° 18.
- 6) Graham JK, Caterina T, Emil M, Claudia T, Alexandra L, David M. Cytosolic pH buffering during exercise and recovery in skeletal muscle of patients with cc Ardle s disease. *Eur J Appl Physiol*. 2009; 105:687° 94.

- 7) Dieter B, Carola K, Barbel H, Matthias H, Norbert M. Extracellular bicarbonate and non-bicarbonate buffering against lactic acid during and after exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 453 ° 64.
- 8) Kemp GJ, Boning D, Beneke R, Maassen N. Explaining pH change in exercising muscle: lactic acid, proton consumption, and buffering vs strong ion difference. *Am J Physiol.* 2006; 291: 235 ° 7.
- 9) Dieter B, Carola K, Barbel H, Matthias H, Norbert M. Causes of differences in exercise-induced changes of base excess and blood lactate. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 99:163 ° 71.
- 10) Edge J, Bishop D, Hill-Haas S, Dawson SB, Goodman C. Comparison of muscle buffer capacity and repeated-sprint ability of untrained, endurance- trained and team-sports athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 96:225 ° 34.
- 11) Matt J, Green R, Crews M. A comparison of respiratory compensation thresholds of anaerobic competitors, aerobic competitors and untrained subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2003; 90: 608 ° 14.
- 12) Rocker K, Striegel H, Freund T, Dickhuth HH. Relative functional buffering capacity in 400-meter runners, long-distance runners and untrained individuals. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1994; 5:430 ° 4.
- 13) Brian JW. Physiological mechanisms dissociating pulmonary CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> exchange dynamics during exercise in humans. *Exp Physiol.* 2007; 92 (2): 347 ° 55.
- 14) Juan DC, Nassim H, Roberto AJ, Ricardo MR. Respiratory compensation and blood pH regulation during variable intensity exercise in trained versus untrained subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2009; 107: 83 ° 93.
- 15) Wasserman k, Jon I, Medbo A, Christian M, Izumi T. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol.* 1988; 64(1): 50-60.
- 16) Nikooie R, Gharakhanlo R, Rajabi H, Bahraminegad M, Ghafari A. Noninvasive determination of anaerobic threshold by monitoring the %spo<sub>2</sub> changes and respiratory gas exchange. *The Journal of Strength and Conditioning Research.* 2009; 23(7): 2107-13.
- 17) Edi LS, Antonio GN. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 93: 315 ° 24.
- 18) Bentley DJ, Vleck VE, Millet GP. The isocapnic buffering phase and mechanical efficiency: relationship to cycle time trial performance of short and long duration. *Canadian Journal of Applied Physiology.* 2005; 30(1): 46 ° 52.
- 19) Esfarjani F, Laursen P. Manipulating high-intensity interval training: Effects on VO<sub>2</sub>max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport.* 2007; 10: 27-35.
- 20) Gaesser GA, Poole DC, Gardner BP. Dissociation between VO<sub>2</sub>max and ventilatory threshold responses to endurance training. *Eur J Appl Physiol.* 1984; 53: 242 ° 7.
- 21) Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley M. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol.* 2012; 590:1077 ° 84.
- 22) Culbertson JY, Kreider RB, Greenwood M, Cooke M. Effects of beta-alanine on muscle carnosine and exercise performance: a review of the current literature. *Nutrients.* 2010; 2 (1): 75-98.

23) Oshima Y, Miyamoto T, Tanaka S, Wadazomi T, Kuriara N, Fujimoto S. Relationship between isocapnic buffering and maximal aerobic capacity in athletes. Eur J Appl Physiol. 1997; 76 (5):409 ° 14.

ارجاع دهی به روش ونکوور:

حسن لی محسن، نیکویی روح الله. مقایسه ظرفیت های بافرینگ در مرحله بافرینگ ایزوکپنیا بین دوچرخه سواران نخبه استقامتی و سرعتی و ارتباط آن با شاخص های هوازی و بی هوازی. فیزیولوژی ورزشی. تابستان ۱۳۹۳؛ ۶(۲۲):۴۴-۱۳۱.



**Comparison of buffering capacities during isocapnic buffering phase  
between elite endurance and anaerobic competitors and their  
relationship to aerobic and anaerobic indexes**

**M. Hasanli<sup>1</sup>, R. Nikooie<sup>2</sup>**

1. Master of Shahid Bahonar University of kerman
2. Assistance professor at Shahid Bahonar University of kerman\*

**Received date: 2013/09/09**

**Accepted date: 2014/04/22**

---

**Abstract**

The aim of present study was to compare of buffering capacities during isocapnic buffering phase between elite endurance and sprint-trained cyclist and their relationship to aerobic and anaerobic indexes. Fourteen elite cyclist who were either anaerobic (n=6) or aerobic competitors (n=8) performed one standard incremental test and a supramaximal exercise test until exhaustion in 2 separated sessions. During incremental test respiratory gases were measured and arterial blood samples were collected for lactate, bicarbonate and pH measurements. Isocapnic buffering phase was defined as the time between lactate threshold and respiratory compensatory threshold. Bicarbonate buffering was identified via  $[HCO_3^-]$ ,  $[PH]$  and non-bicarbonate capacity was calculated from  $[LA] \cdot [PH] \cdot [HCO_3^-] \cdot [PH]$  formula, respectively. Two independent sample t test was used for all comparison between groups and the relationship between variables was measured by Person correlation test. Bicarbonate buffering capacity ( $p < 0.01$ ), isocapnic buffering phase length ( $p < 0.05$ ) and blood lactate changes during isocapnic buffering phase ( $p < 0.01$ ) in endurance cyclists were significantly higher than sprint-trained group. Significant correlation was found between bicarbonate buffering capacity and  $VO_{2max}$  ( $p < 0.05$ ) and non-bicarbonate buffering capacity and maximum accumulative oxygen deficiency ( $p < 0.01$ ). Our results indicated that relative contribution of bicarbonate and non-bicarbonate buffers against lactic acid during isocapnic buffering phase is different between elite endurance and sprint-trained cyclist and has the relationship with their aerobic and anaerobic capacities.

**Keywords:** Lactate, Isocapnic buffering phase, Buffering capacities, Elite cyclists.

---

\* Corresponding author

E-mail: r\_nikooie@uk.ac.ir