

ایزوکپنیک بافرینگ و هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای در رشته‌های مختلف ورزشی

دکتر مهدی عباس‌پور^۱، روح الله محمدی^۲، خبات قمری^۳، دکتر مرتضی بهرامی نژاد^۴

چکیده

سابقه و هدف: در آزمون‌های ورزشی فزاینده پس از تعیین آستانه‌های تنفسی اول و دوم، فاصله بین دو آستانه به عنوان مرحله "ایزوکپنیک بافرینگ" (ایزو) و از آستانه تنفسی دوم تا پایان آزمون به عنوان مرحله "هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای" (هیپو) در نظر گرفته می‌شود. هدف تحقیق حاضر مقایسه مراحل ایزو و هیپو در ورزشکاران نخبه سه رشته ورزشی دو استقامت، کشتی و فوتبال بود.

مواد و روش‌ها: میزان اکسیژن مصرفی، دی اکسیدکربن دفع شده، تهویه تنفسی و ضربان قلب ۳۰ ورزشکار نخبه رشته‌های مذکور ضمن انجام آزمون فزاینده توسط گازآنالایزر اندازه‌گیری و با استفاده از نرم افزار ریاضی Matmatica گراف‌های مربوطه ترسیم گردید.

یافته‌ها: آزمون آنالیز واریانس یک سویه و تعقیبی HSD تفاوت معنی‌دار ($P \leq 0/05$) بین مرحله ایزوی گروه کشتی‌گیر با دو گروه دیگر را نشان داد. ۳۰٪ کل زمان آزمون گروه کشتی‌گیر به مرحله ایزو اختصاص یافت اما در گروه‌های دیگر این بخش ۲۰٪ کل زمان آزمون بود. در بخش هیپوی آزمودنی‌ها تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری: یافته‌های تحقیق حاکی از برتری نسبی ورزشکاران رشته‌های ورزشی فوتبال و دو استقامت در تامین انرژی از مسیرهای هوازی در مقایسه با کشتی‌گیران و توسعه یافتگی مرحله ایزو در کشتی‌گیران بود. یافته‌های تحقیق می‌تواند در هدف‌گذاری تمرینات تخصصی ورزشکاران رشته‌های مزبور مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ورزشکار نخبه، ایزوکپنیک بافرینگ، هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای.

مقدمه

با اجرای آزمون‌های ورزشی فزاینده^۱ (IT) شناخت نسبی از وضعیت فیزیولوژیک ورزشکار بدست می‌آید. با شناسایی دو دسته شاخص فیزیولوژیک بیشینه و زیر بیشینه بخشی از این شناخت به دست می‌آید. به عنوان مثال حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max})، حداکثر ضربان قلب (HR_{max})، حداکثر توان یا سرعتی که ورزشکار در آن سرعت به حداکثر اکسیژن مصرفی رسیده است (vVO_{2max}) از جمله شاخص‌های بیشینه در این آزمون‌ها است. هم چنین آستانه لاکتات و سرعت متناسب با آن، آستانه‌های تنفسی^۲ یک و دو (VT_1, VT_2) و سرعت متناسب با آن‌ها و نقطه جبرانی تنفسی^۳ (RCP)؛ از جمله شاخص‌های زیر بیشینه در این آزمون‌ها است. از این شاخص‌ها در طراحی و ارزیابی برنامه تمرینی استفاده می‌شود (۱، ۲، ۳، ۴). علاوه بر استخراج شاخص‌های فیزیولوژیک بیشینه و زیر بیشینه فوق‌الذکر اطلاعات دیگری نیز با اجرای این آزمون‌ها به دست می‌آید. از جمله این اطلاعات می‌توان به مراحل ایزوکپنیک بافرینگ^۴ (ایزو) و هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای^۵ (هیپو) در یک آزمون فزاینده اشاره نمود.

در تحقیقات فیزیولوژی ورزشی واژه‌های "ایزوکپنیک بافرینگ" و "هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای" برای اولین مرتبه در ۱۹۷۹ میلادی توسط واسرمن^۶ و همکاران استفاده گردیدند (۵). برای مطالعه تغییرات دی‌اکسید کربن تولیدی در طی یک آزمون فزاینده، سه مرحله فیزیولوژیکی در تبادلات گازی حین یک آزمون فزاینده قابل مشاهده است (۶). مرحله اول که دی‌اکسید کربن تولیدی حاصل از متابولیسم هوازی است و ارگانسیم در دفع آن مشکلی ندارد؛ مرحله دوم یا مرحله ایزوکپنیک بافرینگ^۷ که طی آن در پاسخ به افزایش فرایند بافرینگ یون بیکربنات و افزایش دی‌اکسید کربن، تهویه ریوی افزایش یافته و مانع از افزایش فشار سهمی دی‌اکسید کربن می‌گردد و ورزشکار علیرغم تحمل فشار در ادامه فعالیت مشکل چندانی ندارد و مرحله سوم یا مرحله هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای^۸ که به علت بروز متابولیسم اسیدی در ارگانسیم و بروز خستگی، ورزشکار قادر به ادامه فعالیت نخواهد بود. تفاوت‌های مشاهده شده در زمان بروز آستانه‌های تنفسی در یک آزمون فزاینده و به دنبال آن مدت زمان نسبی مراحل ایزو و هیپو در ورزشکاران آماتور و حرفه‌ای می‌تواند منشا تحقیقات و مطالعات جدیدی در شناسایی پتانسیل بافرینگ ورزشکاران و در نهایت بهبود عملکرد آن‌ها باشد (۷).

با توجه به مطالب پاراگراف بالا، مبنای تعیین مراحل ایزو و هیپو استفاده از تغییرات دی‌اکسید کربن است در صورتی در مقایسه با استفاده از تغییرات اکسیژن مصرفی (از قبیل تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی یا مراحل کسر و یا بدهی اکسیژن) هنگام فعالیت، استفاده کمتری از تغییرات دی‌اکسید کربن شده است. در مورد اهمیت مطالعه تغییرات دی‌اکسید کربن به عنوان اولین و بیشترین ماده توکسیک بدن حین فعالیت می‌توان به وجود ارتباط مستقیم بین دی‌اکسید کربن دفع شده و لاکتات خون حین ورزش (۸) و یا در مرحله ریکاور (۹، ۱۰) اشاره نمود. بنا بر گزارش چیچارو^۹ و همکاران (۱۱) مرحله ایزوکپنیک بافرینگ و هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای می‌تواند

1 Incremental Test (IT)

2 Ventilation Threshold (VT)

3 Respiratory Compensation point (RCP)

4 Isocapnic Buffering

5 Hypocapnic Hyperventilation

6 Wasserman

7 Isocapnic Buffering

8 Hypocapnic Hyperventilation

9 Chicharro

نشان دهنده ظرفیت بافری در دفع دی اکسید کربن و کاهش اسیدیته خون یک ورزشکار باشد. تحقیقات نشان داده است که تمرین ظرفیت بافری را بهبود می‌بخشد (۱۲، ۱۳) و ورزشکارانی که به طور مرتب درگیر فعالیت‌های بی‌هوازی با شدت بالا هستند - نظیر کشتی - در مقایسه با ورزشکاران استقامتی، ظرفیت بافری بهتری دارند (۱۴، ۱۵). با توجه به تفاوت مدت زمان فعالیت و شدت آن در سه رشته ورزشی فوتبال، کشتی و دو استقامت که طبعاً به لحاظ درگیر نمودن مسیرهای تامین انرژی و دیگر سازگاری‌های فیزیولوژیک ناشی از تمرینات دراز مدت نیز با هم متفاوت اند و به منظور شناخت وضعیت فیزیولوژیک ورزشکاران این سه رشته ورزشی و به ویژه ظرفیت بافرینگ آن‌ها، هدف مطالعه حاضر مقایسه این دو مرحله در ورزشکاران این سه رشته ورزشی در یک آزمون ورزشی فزاینده بود.

روش شناسی

روش تحقیق حاضر از نوع نوع علی - مقایسه ای و یا علی پس از وقوع بود. آزمودنی‌های این پژوهش را ۳۰ ورزشکار نخبه در سه رشته ورزشی فوتبال، کشتی و دو و میدانی (از هر رشته ۱۰ نفر) تشکیل می‌دادند. آزمودنی‌ها سابقه حضور در لیگ دسته اول کشتی، لیگ برتر فوتبال و سوپر لیگ دو و میدانی کشور را داشتند. شرط ورود به تحقیق داشتن حداقل یک دوره سابقه حضور در مسابقات لیگ در سه سال اخیر، تمرین منظم در ۳ ماه منتهی به تحقیق، نداشتن تمرین در ۲۴ ساعت گذشته، عدم بیماری و مصرف دارو در هفته آزمون و خستگی در روز آزمون بود. قطع فعالیت به هر دلیل از جمله از دست دادن تعادل حین دویدن روی نوار گردان و یا عدم تمایل ورزشکار به ادامه آزمون باعث خروج ورزشکار از تحقیق می‌گردید. کلیه ورزشکاران از روند تحقیق و محتوای آزمون ورزشی مطلع گشتند و سپس رضایت نامه شرکت در آزمون را امضا نمودند.

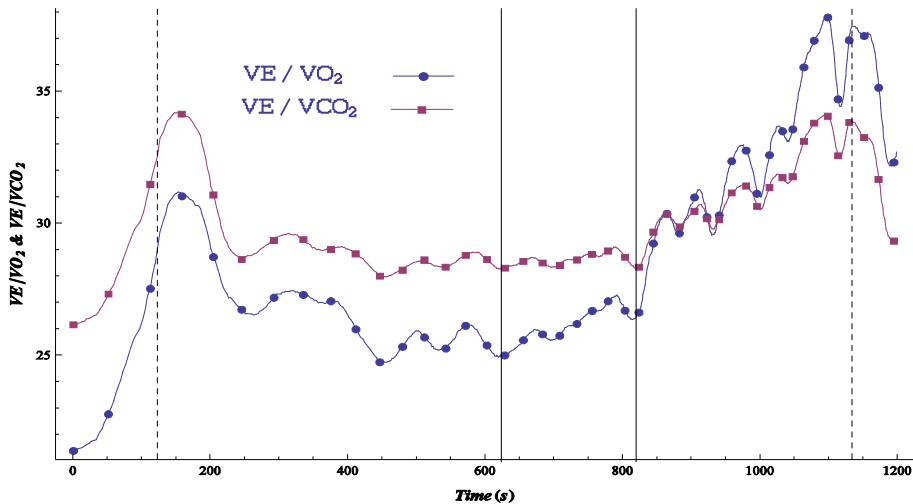
آزمون ورزشی: آزمون ورزشی از نوع فزاینده بود. این آزمون بر روی نوار گردان (مدل تکنوجیم ساخت کشور ایتالیا) با سرعت ۶ کیلومتر آغاز گشته و هر یک دقیقه یک کیلومتر به سرعت آن اضافه می‌گردید و تا سرعتی که دیگر ورزشکار قادر به ادامه آزمون نبود، ادامه یافت. ورزشکاران شرکت کننده در پژوهش روال عادی روزانه خود از زمان بیداری را رعایت کرده و پس از ۱۵ دقیقه گرم کردن آزمون ورزشی را اجرا نمودند.

اندازه‌گیری‌ها: پس از اندازه گیری قد، وزن و سن آزمودنی‌ها، فاکتورهای قلبی و تنفسی با استفاده از دستگاه گاز آنالایزور مدل K4b2 ساخت کشور ایتالیا ثبت شد. اندازه‌گیری‌ها شامل: اکسیژن مصرفی (VO_2)، دی اکسید کربن دفع شده (VCO_2) بر حسب میلی لیتر در دقیقه، میزان تهویه تنفسی^۱ (VE) بر حسب لیتر در دقیقه و تعداد ضربان قلب (HR) در دقیقه بود. در پایان با استفاده از نرم افزار ریاضی Matmatica گراف‌های مربوط به فاکتورهای قلبی - تنفسی مذکور ترسیم شد.

نحوه تعیین **آستانه‌های تنفسی** یک و دو: پس از ترسیم گراف‌های مربوط با توجه به نسبت‌های VE/VO_2 و VE/VCO_2 آستانه تنفسی اول جایی تعیین شد که منحنی VE/VO_2 حالت افزایشی داشته در صورتی که در منحنی VE/VCO_2 هیچگونه تغییری مشاهده نگردید و آستانه تنفسی دوم جایی تعیین شد که هر دو منحنی VE/VO_2 ، VE/VCO_2 حالت افزایشی داشتند (تصویر شماره ۱). در تعیین آستانه‌های تنفسی به شیوه فوق الذکر علاوه بر مینا قرار دادن گراف‌های VE/VO_2 ، VE/VCO_2 از گراف‌های تغییرات تهویه دقیقه ای و تغییرات ضربان قلب نیز در طی آزمون استفاده گردید، به طوری که هر دو شاخص مربوطه در آستانه‌های مزبور

افزایش ناگهانی نشان می‌دهند؛ اگرچه این امکان وجود داشت که به لحاظ زمانی تطبیق کامل و هم زمان همه فاکتورها در دو آستانه وجود نداشته باشد. در پایان فاصله زمانی بین آستانه‌های تنفسی یک و دو به عنوان فاز ایزو ($T_{VT2} - T_{VT1}$) و از آستانه تنفسی دوم تا پایان آزمون و رسیدن به خستگی بعنوان مرحله هیپو ($T_{final} - T_{VT2}$) در نظر گرفته شد (۱۱). همچنین زمان نسبی مراحل ایزو و هیپو در مقایسه با مدت زمانی که هر آزمودنی قادر به انجام آزمون فزاینده بود، بر حسب درصد ($(T_{VT2} - T_{VT1}/T_{final} * 100)$) و ($(T_{final} - T_{VT2}/T_{final} * 100)$) محاسبه و استخراج گردید.

روش‌های آماری: ابتدا به منظور رعایت پیش فرض‌های استفاده از آزمون‌های آماری پارامتریک از آزمون کلموگروف اسمیرنوف (K-S) برای اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌ها و از آزمون لوین برای اطمینان از وجود تجانس واریانس گروه‌ها استفاده شد. سپس برای مقایسه تفاوت‌های درون و بین گروهی سه گروه در مدت زمان نسبی فازهای ایزو و هیپو از آزمون آماری تحلیل واریانس یک سویه استفاده گردید. در صورت معنی داری آزمون آنوا از آزمون تعقیبی شفه برای تعیین دقیق‌تر وجود تفاوت بین گروه‌ها استفاده شد. در صورت نبودن پیش شرط‌های استفاده از آزمون‌های پارامتریک از آزمون ناپارمتری کروسکال والیس استفاده گردید. نرم افزار آماری استفاده شده SPSS نسخه ۱۷ و سطح معنی داری در کلیه آزمون‌ها $P \leq 0.05$ بود.



تصویر شماره ۱: نحوه تعیین آستانه‌های تنفسی ۱ و ۲، در آستانه تنفسی اول فقط منحنی VE/VO_2 (دایره دار) افزایش نشان می‌دهد، در صورتی که در آستانه تنفسی دوم هر دو منحنی (دایره و مربع) افزایش نشان می‌دهند. خطوط عمودی منقطع شروع و پایان تست و خطوط عمودی پیوسته نمایشگر آستانه‌های تنفسی یک و دو می‌باشند.

یافته‌ها

ویژگی‌های آنترپومتریک آزمودنی‌ها به تفکیک رشته ورزشی در جدول شماره ۱ آورده شده است. آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و در ادامه تعقیبی نشان داد بین قد دو گروه فوتبالیست و کشتی‌گیر در سطح معنی داری تفاوت معنی‌دار ($P \leq 0/05$) وجود دارد. چون بین داده‌های سن، وزن و شاخص توده بدنی سه گروه تجانس واریانس وجود نداشت، لذا امکان استفاده از آمار پارامتریک مقدر نبود. آزمون آماری ناپارامتری کروسکال والیس نشان داد که بین وزن و شاخص توده بدنی سه گروه تفاوت وجود داشت به طوری که شاخص توده بدنی گروه کشتی‌گیر از دو گروه دیگر به طور معنی داری بالاتر بود ($P \leq 0/01$)، (جدول شماره ۲).

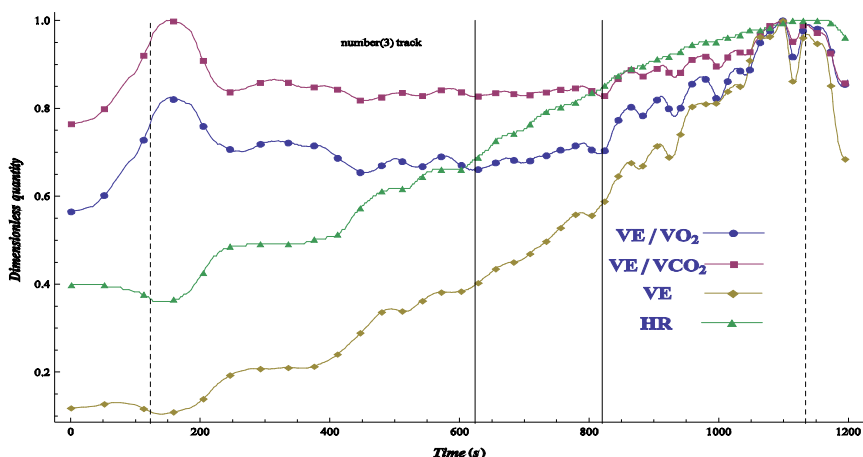
جدول شماره ۱: ویژگی‌های آنترپومتریک آزمودنی‌ها (میانگین \pm انحراف استاندارد)

متغیر	سن (سال)	قد (سانتی متر)	وزن (کیلوگرم)	شاخص توده بدن (وزن/قد ^۲)	گروه
کشتی‌گیر	۲۳/۲۵ \pm ۲/۷۱	۱۶۹/۰۰ \pm ۵/۸۸	۶۱/۱۵ \pm ۱۴/۴۲	۲۴/۰۱ \pm ۱۳/۱۸	
فوتبالیست	۲۶/۲۲ \pm ۵/۰۵	۱۷۹/۴۴ \pm ۶/۰۲	۷۶/۲۸ \pm ۴/۵۲	۲۳/۶۸ \pm ۰/۵۹	
دوندۀ استقامت	۲۲/۶۴ \pm ۲/۴۲	۱۷۶/۷۳ \pm ۷/۶۶	۶۵/۳۶ \pm ۸/۲۳	۲۰/۸۴ \pm ۱/۰۶	

در تصویر شماره دو گراف‌های مربوط به تغییرات VE/VO_2 ، VE/VCO_2 در آستانه‌های تنفسی یک و دو آورده شده است و همانگونه که در تصویر مشاهده می‌شود در آستانه تنفسی اول فقط نسبت تهویه به اکسیژن مصرفی افزایش نشان می‌دهد در صورتی که در آستانه تنفسی دوم هر دو نسبت تهویه بر دی اکسید کربن و تهویه بر اکسیژن مصرفی افزایش می‌یابند. در این تصویر دو فاکتور دیگر، تغییرات ضربان قلب و تغییرات تهویه دقیقه‌ای در طول آزمون آورده شده است. هم‌چنین زمان صرف شده در هر یک از مراحل ایزو و هیپو به تفکیک رشته ورزشی و تفاوت‌های مربوطه در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول شماره ۲: بیشینه شاخص‌های تنفسی سه گروه آزمودنی (میانگین \pm انحراف استاندارد)

متغیر	VO ₂ (ml/min.kg)	VE (l/min)	VCO ₂ (m.l/min)	VO ₂ (m.l/min)	گروه
کشتی‌گیر	۵۳/۳۳ \pm ۳/۸۸	۱۴۶/۵۰ \pm ۲۱/۴۴	۳۶۵۸/۷۱ \pm ۵۹۳/۶۲	۳۸۸۵/۷۴ \pm ۷۱۹/۰۹	
فوتبالیست	۵۵/۸۸ \pm ۷/۸۵	۱۵۳/۱۴ \pm ۶/۵۶	۴۲۷۲/۰ \pm ۷۵۴/۷۶	۴۵۰/۱۲۵ \pm ۴۶۸/۲۳	
دوندۀ استقامت	۶۰/۹۴ \pm ۵/۹۲	۱۵۱/۱۶ \pm ۱۴/۰۶	۳۹۶۱/۱۵ \pm ۴۵۴/۸۰	۴۲۱۲/۱۷ \pm ۴۹۸/۷۵	



تصویر شماره ۲: منحنی تغییرات پاسخ‌های قلبی - تنفسی یک آزمودنی در طول آزمون فزاینده بعنوان نمونه آورده شده است.

VE/VO₂: نسبت تهویه بر مصرف اکسیژن؛ VE/VCO₂: نسبت تهویه بر دی اکسید کربن دفع شده، VE: تهویه دقیقه ای؛ HR: ضربان قلب.

جدول شماره ۳: میانگین و انحراف استاندارد مراحل قبل از بروز آستانه تنفسی اول، ایزو و هیپوی سه گروه آزمودنی

متغیر	گروه	کشتی گیر	فوتبالیست	دونده استقامت	تفاوت
مدت آزمون (ثانیه)	۹۸۸/۱±۶۸/۹	۹۸۷/۲±۴۷/۶	۱۰۹۸/۸±۱۵۷/۰	*	
قبل از VT ₁ (% کل زمان)	۳۹/۳۱±۱۰/۰۳	۵۲/۵۹±۱۰/۱۸	۵۰/۰۲±۷/۴۴	**	
مرحله ایزو (% کل زمان)	۲۹/۴۰±۸/۰۰	۲۱/۴۹±۴/۴۳	۲۰/۶۹±۳/۸۶	**	
مرحله هیپو (% کل زمان)	۳۱/۲۹±۷/۰۳	۲۵/۹۲±۱۰/۳۶	۲۹/۲۹±۸/۶۴	-	

* سطح معنی داری (P ≤ ۰/۰۵). نتیجه آزمون تعقیبی HSD نشان داد این تفاوت بین دو گروه دونده استقامت و کشتی گیر وجود دارد.
 ** سطح معنی داری (P ≤ ۰/۰۱). نتیجه آزمون تعقیبی HSD نشان داد این تفاوت بین دو گروه کشتی گیر با فوتبالیست و کشتی گیر با دونده استقامت وجود دارد و هیچ گونه تفاوت معنی داری بین گروه‌های فوتبالیست و دونده استقامت وجود ندارد.

بحث و نتیجه گیری

در راستای هدف تحقیق که مقایسه مراحل ایزوکپنیک بافرینگ و هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای و هیپوی ورزشکاران سه رشته ورزشی کشتی، فوتبال و دو استقامت بود، وجود تفاوت معنی دار بین مرحله ایزو گروه کشتی گیر با دو گروه دیگر و عدم تفاوت معنی دار مرحله ایزوکپنیک بافرینگ دو گروه فوتبالیست و دونده استقامت مهمترین یافته مطالعه حاضر بود. اگر چه انتظار می‌رفت تفاوت بین مرحله هیپوکپنیک بیش تهویه‌ای گروه‌ها نیز تفاوت معنی دار داشته باشد، اما گروه‌های سه گانه پژوهش حاضر در این بخش هیچ‌گونه تفاوت معنی داری را نشان ندادند.

پیشینه تحقیق مطالعه‌ای که به طور همزمان به مقایسه ورزشکاران رشته‌های مختلف ورزشی به لحاظ مسیرهای غالب تامین انرژی در ورزشکاران نخبه در بخش‌های ایزو و هیپو پردازد وجود نداشت اما گزارش روکر^۱ و همکاران (۱۶) مبنی بر وجود تفاوت معنی‌دار بین مراحل ایزوی دوندگان سرعت و استقامت می‌تواند در تفسیر یافته‌های این تحقیق مورد استفاده قرار بگیرد. آنان گزارش نمودند که مرحله ایزوی دوندگان ۴۰۰ متر از دوندگان استقامت طولانی‌تر است. آنان این تفاوت را به علت تاخیر در زمان بروز آستانه جبرانی تنفسی و بهبود ظرفیت بافری دوندگان ۴۰۰ متر دانسته و اظهار داشته‌اند که به نظر می‌رسد ورزشکاران استقامتی مرحله ایزو ضعیفی دارند. در تحقیق حاضر تفاوت مرحله ایزوی گروه کشتی‌گیر با دو گروه دیگر و خصوصاً با دوندگان استقامت، می‌تواند همانند تفاوت دوندگان سرعت و استقامت توضیح داده شود. البته بالاتر بودن مرحله ایزوی کشتی‌گیران تحقیق حاضر در راستای تحقیقات دیگر نیز می‌باشد (۱۴، ۱۵). همان‌گونه که در بالا ذکر شد تفاوت معنی‌دار مرحله ایزوی کشتی‌گیران با بازیکنان فوتبال و دوندگان استقامت که چه به لحاظ مدت زمان فعالیت و چه به لحاظ شدت فعالیت گروه کشتی‌گیر با دو رشته دیگر تفاوت دارد، قابل پذیرش هست. وجود تفاوت بین مرحله ایزوی کشتی‌گیران با دوندگان استقامت و فوتبالیست‌ها وقتی قابل پذیرش هست که به مرحله قبل از مرحله ایزو توجه شود. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که حدود نیمی از زمان کل آزمون در دو گروه فوتبالیست و دو استقامت قبل از ورود به مرحله ایزو است در صورتی که گروه کشتی‌گیر در مدت زمان نسبی کمتری - حدود ۴۰٪ - این مرحله را گذرانده و سپس وارد مرحله ایزو شده‌اند. این یافته نیز می‌تواند بر برتری نسبی ورزشکاران رشته‌های ورزشی فوتبال و دو در تامین انرژی از مسیرهای هوازی در مقایسه با کشتی‌گیران داشته باشد. همان‌گونه که در مقدمه آورده شده است اجرای آزمون‌های ورزشی فزاینده با هدف شناخت وضعیت فیزیولوژیک ورزشکار صورت می‌گیرد و یافته‌های حاضر نیز ضمن نمایش قابل پذیرش این شناخت به استفاده کاربردی از نتایج این گونه آزمون‌ها اشاره دارد.

اگرچه سه گروه مزبور در بخش هیپو تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند اما برتری نسبی گروه کشتی‌گیر در مقایسه با دو گروه دیگر در این بخش و ادامه آزمون در شرایط بیش تهویه‌ای می‌تواند حاکی از توانایی بیشتر گروه کشتی‌گیر در تحمل شرایط اسیدوز و ادامه فعالیت باشد. با توجه به اینکه آزمودنی‌های این تحقیق به ویژه کشتی‌گیران همه ورزشکار نخبه در سطح ملی بودند، این موضوع نشان دهنده ضرورت توسعه این بخش و بهبود آمادگی متابولیسمی کشتی‌گیران است.

یافته‌های طرح حاضر از منظر تفاوت‌های درون گروهی نیز قابل توجه و بررسی می‌باشد. بر اساس ادبیات موجود مدت زمان نسبی مرحله ایزو بین ۲ تا ۳ دقیقه گزارش شده است (۶). یافته‌های طرح حاضر نشان می‌دهد این مدت زمان در گروه‌های دنده استقامت و فوتبالیست بین سه و چهار دقیقه و در گروه کشتی‌گیر حدود ۵ دقیقه می‌باشد. نوع پروتکل فزاینده به کار گرفته شده به لحاظ مدت هر مرحله و میزان افزایش شدت هر مرحله نسبت به مراحل ماقبل بر مدت زمان نسبی مراحل ایزو و هیپو تاثیر دارد. هر چند توصیه شده است پروتکل فزاینده طوری طراحی شود که مدت زمان رسیدن به خستگی ورزشکار بین ۸ تا ۱۲ دقیقه باشد (۱۷) اما میانگین مدت زمان سپری شده در این آزمون ۱۷ دقیقه بوده است. در مقایسه با پروتکل استفاده شده در طرح حاضر، استفاده از پروتکل‌های فزاینده با مراحل زمانی بالای یک دقیقه که معمولاً هم استفاده می‌شود و یا افزایش شدت بیشتر از یک کیلومتر بر ساعت هر مرحله نسبت به مرحله قبل می‌تواند به نتایجی متفاوت از طرح مزبور منتج

شود (۱۸) که مورد اخیر هم جای مطالعه بیشتر دارد. گفتنی است پیشنهاد مدت زمان بین ۸ تا ۱۲ دقیقه برای نمایش بهتر شاخص‌های بیشینه‌ای چون حداکثر اکسیژن مصرفی بوده است. در نهایت این محقق است که با توجه به هدف از اجرای آزمون، نوع آزمون فزاینده را انتخاب می‌کند و آزمون را طوری طراحی کند که هم زمان هر دو دسته شاخص‌های بیشینه و زیر بیشینه به بهترین نحو نمایش داده شوند.

نتایج درون گروهی در مراحل سه گانه قبل از ایزو، ایزو و هیپو بیانگر این واقعیت است که هر سه گروه ورزشکار نخبه طرح حاضر مدت زمان نسبی بیشتری را در مرحله قبل از وقوع مرحله ایزو گذرانده‌اند و این نشان دهنده اهمیت توان هوازی در اکثر رشته‌های ورزشی است. هم چنین یافته‌های درون گروهی نشان می‌دهد که کمترین میزان زمان سپری شده سه گروه مربوط به مرحله ایزو است و سه گروه مدت زمان بیشتری را در مرحله هیپو گذرانده‌اند و این یافته می‌تواند بیانگر توان بالای هر سه گروه در انجام و ادامه تست فزاینده در شرایط بیش تهویه‌ای و خستگی باشد و گزارش خاصی همانند مرحله ایزو وجود ندارد تا بتوان مدت زمان مطلق یا نسبی مرحله هیپویی شرکت کنندگان در طرح حاضر را بصورت مجزا یا روی هم با آن مقایسه کرد.

نکته مهم دیگری که باید در تفسیر نتایج آزمون فزاینده مورد توجه قرار گیرد این است که با توجه به یکسان بودن پروتکل آزمون فزاینده برای هر سه گروه، آیا مدت زمان رسیدن به خستگی برای گروه‌های شرکت کننده یکسان بوده است یا خیر؟ در این مطالعه میانگین مدت زمان گروه دوندان استقامت مدت زمان بیشتری را در مقایسه با دو گروه دیگر نشان می‌دهد (۱۸/۳۰ دقیقه در مقابل ۱۶/۴۶ دقیقه). در واقع گروه کشتی‌گیر در مدت زمان کمتری به شرایط خستگی و عدم توانایی در ادامه آزمون رسیده است. بخشی از این توانایی کمتر می‌تواند به مدت زمان کوتاه‌تر این گروه در قبل از مرحله ایزو برگردد. به هر حال دو گروه دوندان استقامت و فوتبالیست حدود ۵۰٪ از زمان آزمون را در این مرحله گذرانده‌اند در صورتی که توانایی گروه کشتی‌گیر در این بخش ۴۰٪ است. البته یک کشتی‌گیر نباید هم از این حیث شرایط مشابه دوندان استقامت یا فوتبالیست را داشته باشد و به لحاظ سازگاری‌های ناشی از تمرینات درازمدت و نوع عضلات درگیر و این که دویدن روی نوارگردان شباهت کمی با تجربه فعالیتی کشتی‌گیران دارد و کاملاً مشابه فعالیت اصلی دوندگان و فوتبالیست‌ها است، نتایج قابل پذیرش است. باز هم یادآوری می‌شود پروتکل‌های فزاینده دیگر با الگوهای افزایش شدت متفاوت از این پروتکل می‌توانند نتایجی متفاوت‌تر داشته باشند که انجام تحقیقات تکمیلی در این زمینه توصیه می‌شود.

از جمله یافته‌های دیگر این طرح که در تفسیر نتایج نباید نادیده گرفته شود ویژگی‌های فیزیولوژیک آزمودنی‌ها در شاخص‌های بیشینه تهویه تنفسی، حداکثر اکسیژن مصرفی بیشینه و حداکثر میزان دی اکسید کربن دفع شده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد بیشترین میزان VO_{2max} مربوط به دوندگان استقامت است و این یافته نیز دور از انتظار نیست؛ اما توانایی کمتر این گروه در دفع دی اکسید کربن علیرغم داشتن ماکزیمم تهویه دقیقه‌ای بالاتر نکته‌ای است که جای تعمق دارد. در بین سه گروه مطالعه حاضر بیشترین میزان توانایی دفع دی اکسید کربن مربوط به بازیکنان فوتبال می‌باشد و جالب است ماکزیمم تهویه دقیقه‌ای را هم دارا می‌باشند. نکته ای که در مقدمه هم آورده شده است این است که در تحقیقات فیزیولوژی ورزش توجه ویژه‌ای به حداکثر اکسیژن مصرفی شده است اما توجه به میزان دفع دی اکسید کربن به عنوان اولین و بیشترین ماده سمی^۱ بدن نیز نباید فراموش شود. در طرح حاضر کمترین شاخص‌های تنفسی را کشتی‌گیران دارند. وجود چنین

تفاوت‌هایی می‌تواند ناشی از پیچیدگی‌های متابولیسم خصوصا در زمینه کنترل و تنظیم تنفس می‌باشد. کازو^۱ (۳) بیان می‌دارد بعضی تئوری‌ها پیشنهاد می‌کنند که تنظیم تنفس حین ورزش ناشی از تحریکات عصبی قشر حرکتی بدنبال پیام‌های آوران حسی از عضلات اسکلتی است؛ در مقابل تئوری‌های دیگر سیگنال‌های هورمونی (H^+ , K^+ , P_aCO_2) را در کنترل تنفس دخیل می‌دانند (۱۹) ولی ایشان هر دو دسته عوامل را تواما در کنترل تنفس دخیل می‌داند به طوری که در ابتدای فعالیت و در شدت‌های پائین فعالیت عوامل عصبی سیستم عصبی مرکزی و در ادامه فعالیت و فعالیت شدید عوامل هورمونی و به ویژه PH خون در تنظیم تنفس نقش دارند. این امر ضرورت اندازه‌گیری‌های هورمونی را در تجزیه تحلیل فاکتورهای تنفسی حین ورزش نشان می‌دهد و به شناخت بهتر وضعیت متابولیسمی ورزشکار بدنبال اجرای آزمون‌های ورزشی از جمله آزمون‌های ورزشی فزاینده منجر می‌شود.

در پایان یادآوری می‌شود آنچه هدف اجرای آزمون فزاینده است شناخت بهتر وضعیت فیزیولوژیک ورزشکار است و در این راه تعریف دقیق و قطعا تخصصی تر پروتکل فزاینده متناسب با رشته ورزشی مورد نظر، می‌تواند محقق را بهتر به هدفش برساند. بنابر یافته‌های این تحقیق به نظر می‌رسد کشتی‌گیران نخبه از توسعه یافتگی خاصی در مرحله ایزو برخوردار باشند، بنابراین توصیه می‌شود هدف‌گذاری تمرینات تخصصی کشتی به گونه‌ای باشد که منجر به بهبود (افزایش) مرحله ایزو گردد؛ هر چند در این راستا انجام یک مطالعه برای مقایسه مرحله ایزوی دو گروه کشتی‌گیر آماتور و حرفه‌ای به منظور تبیین بهتر این موضوع توصیه می‌شود. هم چنین با توجه به عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار در بخش هیپوی آزمودنی‌های پژوهش حاضر به منظور پاسخ به این سوال که آیا واقعا مرحله هیپوی ورزشکاران نخبه رشته‌های مختلف ورزشی یکسان است یا متفاوت، انجام تحقیقات تکمیلی در این زمینه پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری: از مسئولین محترم مرکز سنجش و توسعه آمادگی جسمانی آکادمی ملی المپیک و ورزشکاران شرکت کننده در تحقیق حاضر تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References:

1. Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Buehler M, Williams C, Doust JH. (2000). Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Appl Physiol*, 89: 1744-1752.
2. Carter H, Pringle JS, Jones AM, Doust JH. (2002). Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. *Eur J Appl Physiol*, 86: 347-354.
3. Coso JD, Hamouti N, Aguado-Jimenez R, Mora-Rodriguez R. (2009). Respiratory compensation and blood PH regulation during variable intensity exercise in trained versus untrained subjects. *Eur J Appl Physiol*, 107: 83-93.
4. Jones AM, Poole DC. (2005). Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine. London, New York: Routledge, 2005, P xxv, 405.
5. Wasserman K, BJ Whipp, R Casaburi, M Golden and WL Beaver. (1979). Ventilatory control during exercise in man. *J appl Physiol*, 22: 71-85.
6. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. (1999). Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation*, 81(Suppl II): 14-30.
7. Lucia A, Hoyos J, Santalla A, Perez M, Carvajal A, Chicharro JL. (2002). Lactic acidosis, potassium and the heart rate deflection point in professional road cyclists. *Br J Sports Med*, 36: 113-117.
8. Hirakoba K, Yunoki T. (2002). Blood lactate changes during isocapnic buffering in sprinters and long distance runners. *J Physiol Anthropol*, 21(3): 143-149.
9. Yanoki T, Horiuchi M, Yano M. (1999). Kinetics of excess CO₂ output during and after intensive exercise. *Jpn J Physiol*, 49: 152-157.
10. Yanoki T, Ogata H, Yano T. (2003). Relationship between blood lactate concentration and excessive CO₂ expiration during and after ramp exercise. *Adv Exerc Sports Physiol*, 9: 97-103.
11. Chicharro JL, Hoyos J, Lucia A. (2000). Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypocapnic hyperventilation phases in professional cyclists. *Br J Sports Med*, 34: 450-455.
12. Juel C. (1998). Muscle PH regulation: role of training. *Acta Physiol Scand*, 162: 359-366.
13. Troup JP, Metzgar JM, Fitts RH. (1986). Effects of high-intensity exercise training on functional capacity of limb skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 60: 1743-1751.
14. Edge J, Bishop D, Goodman C. (2006). The effects of training intensity on muscle buffer capacity in female. *Eur J Appl Physiol*, 96: 97-105.
15. Parkhouse WS, McKenzie DC, Hochachka PW, Ovalle WK. (1985). Buffering capacity of deproteinized human vastus lateralis muscle. *J Appl Physiol*, 58: 14-17.
16. Roker K, Striegel H, Freund T. (1994). Relative functional buffering capacity in 400 – meter runners, long-distance runners and untrained individuals. *Eur J Appl Physiol*, 5: 430-434.
17. 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.
18. Bentley DJ, Newell J, Bishop. (2007). Incremental exercise test design and analysis: implication for performance diagnostics in endurance athletes. *Sport Med*, 37(7): 576-86.
19. Armstrong BW, Hurt HH, Blide RW. (1961). The hormonal regulation of breathing. *Science*. 133: 1897-1906.
20. Baguet A, Everaert I, De Naeyer H, Reyngoudt H, Stegen S, Beeckman S, Achten E, Vanhee L, Volckaert A, Petrovic M, Taes Y, Derave W. (2011). Effects of sprint

- training combined with vegetarian or mixed diet on muscle carnosine content and buffering capacity. *Eur J Appl Physiol*, 111: 2571-2580.
21. Beckers PJ, Possemiers NM, Van CE, Van BA, Wuyts k. vrints C, Conraads V. (2012). Comparison of three methods to identify the anaerobic threshold during maximal exercise testing in patients with chronic heart failure. *Am J of physic Med & Rehab*, Volume 91, Issue 2: 148-155.
 22. Cross TJ, Morris NR, Haseler LJ, Schneider DA, sabaphaty S. (2011). the influence of breathing mechanics on the development of the slow component of O2 uptake. *Respir Physiol Neurobiol*, 173: 125-131.
 23. Cross TJ, Morris NR, Schneider DA, Sabapathy (2012) Evidence of break-point in breathing pattern at the gas-exchange thresholds during incremental cycling young, healthy subjects. *Eur appl Physiol*, 112: 1067-1076
 24. Haouzi P. (2005). Theories on the nature of the coupling between ventilation and gas exchange during exercise. *Respiratory Physiology & Heurobiology*, 151: 267-279.
 25. Kreck TC, Shade ED, Lamm WJ, Mckinney SE, hlastala MP. (2001). Isocapnic Hyperventilation increases carbon monoxide elimination and oxygen delivery. *Am J Respir Crit Care Med*, Vol 163: 458-462.
 26. Lenti M, De Vito G, Di Palumbo AS, Sbriccoli P, Quatroini FM, Sacchetti M. (2011). Effects of aging and training status on ventilator response during incremental cycling exercise. *J Strength Condi Res*, 25(5): 1326-1332.
 27. Oshima Y, Miyamoto T, Tanaka S , Wadazumi T, Kurihara N, Fujimoto S. (1997). Relationship between isocapnic buffering and maximal aerobic capacity in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 76: 409 – 414.
 28. Whipp BJ. (2006). Physiological mechanisms dissociating pulmonary CO2 and O2 exchange dynamics during exercise in humans. *Exp Physiol*, 92.2: 347-355.
 29. Woorons X, Bourdillon Nicolas, Vandewalle Henri, Lamberto Christine, Mollard Pascal, Richalet Jean-Paul, Pichon Aure'lien. (2010). Exercise with hypoventilation induces lower muscle oxygenation and higher blood lactate concentration: role of hypoxia and hypercapnia. *Eur J Appl Physiol*, 110:367-377.
 30. Yano T, Yunoki T, Matsuura R, Arimitsu T. (2009). Relationship between Hyperventilation and excessive CO2 output during Recovery from repeated cycling sprints. *Physiol Res*, 58: 529-535.