(۱) فیش ۸، علوم ورزشی
شماره دهم، ص ص ۹۷-۱۰۵
دریافت: ۸۳/۱۰/۱۵
پذیرش: ۸۴/۰۱/۲۴

تعیین آستانهٔ بی‌هوازی به روش D_{max}

دکتر معرفت سیاه کوهیان [۱]، محمدرضا ذوالفقاری [۲]

پژوهشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

چکیده

هدف: تعیین آستانهٔ بی‌هوازی با استفاده از نقطهٔ شکست ضربان قلب (HRDP) با هدف تعیین شدت بهینهٔ تمرین مورد توجه پژوهشگران علوم ورزشی واقع شده و برای مربیان و ورزشکاران اهمیت فراوانی دارد. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف تعیین آستانهٔ بی‌هوازی با به‌کارگیری HRDP و استفاده از روش بیشترین فاصله (D_{max}) به اجرا درآمد.

روش: برای این منظور ۱۵ نفر (با میانگین و انحراف معیار سنی ۱/۳۲ ± ۲۱ سال، قد ۵/۲ ± ۱۷۸ سانتی‌متر، و وزن ۶/۷۸ ± ۶۴/۲ کیلوگرم) به عنوان آزمودنی‌های پژوهش انتخاب شدند. به منظور ایجاد HRDP از پروتکل هالمن استفاده شد. در این پروتکل برای تعیین HRDP، بار کار اولیه ۴۰ وات بود و در هر دقیقه تا مرحلهٔ بازماندگی ۲۰ وات اضافه شد. ضربان‌های قلب فعالیت آزمودنی‌ها لحظه به لحظه با استفاده از دستگاه پولار ثبت شد. همزمان در ۵ مرحلهٔ مختلف با استفاده از انژوکت نمونهٔ خون از سیاهرگ دست چپ آزمودنی‌ها جمع‌آوری و میزان اسید لاکتیک آن‌ها به طور مستقیم اندازه‌گیری شد. در تعیین آستانهٔ بی‌هوازی با استفاده از HRDP و منحنی عملکرد ضربان قلب (HRPC)، دو روش مستقیم (اسیدلاکتیک) و D_{max} با هم مقایسه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که روش D_{max} در برآورد آستانهٔ بی‌هوازی روش دقیق و حساسی است و تفاوت معنی‌داری بین این روش و روش مرجع وجود ندارد و همبستگی بالایی با روش مبنا دارد ($R = ۰/۹۹۲$).

نتیجه‌گیری: روش D_{max} جایگزین مطمئنی برای روش سنتی، پرهزینه و وقت‌گیر خون‌گیری متعدد است. بر همین اساس مربیان و ورزشکاران می‌توانند برای تعیین آستانهٔ

---

۱. عضو هیئت علمی دانشگاه محقق اردبیلی. ۲. عضو هیئت علمی دانشگاه ارومیه

بی‌هوازی، از این روش استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: آستانهٔ بی‌هوازی، HRDP، روش D_{max}

مقدمه

آستانهٔ بی‌هوازی، به عنوان شدت کار یا میزان اکسیژن مصرفی (VO_2) تعریف شده است که با اسیدوز سوخت و سازی شروع می‌شود و با تغییرات در تبادل گازهای تنفسی مرتبط است (۱). تعیین آستانهٔ بی‌هوازی برای برنامه‌ریزی دقیق شدت تمرینات، یکی از موضوع‌های مهم و مورد توجه پژوهشگران بوده است. نظر به اینکه روش‌های مختلفی از جمله روش سنجش مستقیم میزان لاکتات خون، روش آستانهٔ تهویه، عموماً برای تعیین آستانهٔ بی‌هوازی روش‌های پرهزینه و وقت‌گیری است، در سال‌های اخیر روش‌های دیگری برای تعیین آستانهٔ بی‌هوازی از جمله روش بلک بورن (۷۰ درصد ضربان قلب بیشینه)، روش ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه، معادلهٔ نارینا، و مدل D_{max} یا حداکثر فاصله مورد توجه قرار گرفته است (۲).

پیشتر کانکانی و همکارانش، برای مقابله با مشکلات روش سنجش مستقیم اسیدلاکتیک آزمون میدانی را برای دوندگان پیشنهاد کرده بودند (۳). با توجه به نقطه ضعف روش کانکانی و همکارانش در تعیین آستانهٔ بی‌هوازی به روش خطی، چنگ و همکارانش (۲)، مدل بیشترین فاصله یا D_{max} را مطرح کردند. در واقع در روش کانکانی، هنگام انجام یک فعالیت با یک کار معین، که به تدریج بار آن افزایش می‌یابد، ضربان قلب در طی انجام کار ثبت می‌شود؛ سپس منحنی افزایش ضربان قلب از خط مستقیم همزمان با افزایش بارکار ترسیم می‌شود. در این منحنی نقطه‌ای وجود دارد که با افزایش بار کار، ضربان قلب افزایش نمی‌یابد و از خط راست منحرف می‌شود که نقطهٔ شکست ضربان قلب (HRDP)[1] نامیده می‌شود. در روش کانکانی، معادلهٔ خط راست ضربان قلب تا قبل از HRDP محاسبه و خط راست مورد نظر ترسیم می‌شود. به همین ترتیب معادلهٔ خط راست ضربان قلب پس از HRDP نیز محاسبه و خط راست مربوط به آن نیز ترسیم می‌شود و محل تلاقی این دو خط راست، HRDP را نشان می‌دهد که طبق نظر کانکانی و همکارانش همان آستانهٔ بی‌هوازی است

1. Heart Rate Defection Point

(۳،۴). با این حال، باید توجه داشت که تعیین آستانهٔ بی‌هوازی در همهٔ افراد و آزمودنی‌ها با استفاده از این روش امکان‌پذیر نیست (۳، ۵، ۶).

چنگ و همکارانش به منظور رفع نواقص روش کانکانی روش D_{max} را ارائه نمودند. بزرگ‌ترین مزیت این روش آن است که HRDP در مورد همهٔ آزمودنی‌ها و افراد و به عبارت دیگر نقطهٔ آستانه (بی‌هوازی و تهویه) همواره تعیین می‌شود. در واقع در روش D_{max} نقطهٔ شکست ضربان قلب از خط مستقیم ملاک عمل قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، در منحنی ضربان قلب - زمان (که بار کار در آن به تدریج افزایش می‌یابد)، اولین و آخرین نقطهٔ منحنی با استفاده از یک خط راست به همدیگر متصل می‌شوند. بیشترین فاصلهٔ بین این خط راست و منحنی به عنوان HRDP مورد توجه قرار می‌گیرد. پیشنهاد شده است که حداقل مقدار ضربان قلب برای تعیین دقیق HRDP باید بین ۱۴۰ تا ۱۵۰ باشد (۷). بر همین اساس، در پژوهش حاضر، آستانهٔ بی‌هوازی با استفاده از روش‌های منحنی مستقیم اسیدلاکتیک (روش مینا) و مدل D_{max} تعیین گردید تا مشخص شود، آیا می‌توان D_{max} را جایگزین روش سنتی منحنی اسیدلاکتیک نمود؟

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

روش و مواد

الف) آزمودنی‌ها

آزمودنی‌های این پژوهش را مردان جوان فعال تشکیل می‌دادند که ۲ تا ۳ بار در هفته فعالیت ورزشی داشتند. همهٔ آزمودنی‌ها از نظر سوابق درمانی و بیماری‌ها، مصرف دارو، مصرف سیگار، میزان فعالیت روزانه، وضعیت عمومی سلامتی و تندرستی ارزیابی و همگن شدند. آزمودنی‌ها یک هفته پیش از شرکت در برنامهٔ تمرینی (پروتکل تمرینی) همهٔ فعالیت‌های ورزشی را قطع کرده بودند و برنامهٔ رژیم غذایی معمولی خود را ادامه می‌دادند. مشخصات فیزیکی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌های این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های جسمانی، ترکیب بدنی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها

متغیرها	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
سن (سال)	۲۱	۱/۳۲	۲۰	۲۴
قد (سانتی‌متر)	۱۷۸	۵/۲۰	۱۶۸	۱۸۶
وزن (کیلوگرم)	۶۴/۲	۶/۷۸	۵۴	۷۲
شاخص جرم بدن (کیلوگرم/متر مربع)	۲۰/۱۸	۱/۷۹	۱۷/۲۱	۲۳/۵۱
حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	۴۰/۳۲	۷/۱۶	۳۰/۲۶	۵۱/۹۸
حداکثر اکسیژن مصرفی (لیتر بر دقیقه)	۲/۵۷	۰/۳۵	۱/۹۸	۲/۹۲
فشار خون سیستول (میلی‌متر جیوه)	۱۲۲/۳۳	۱۱/۸۹	۱۱۰	۱۴۰
فشار خون دیاستول (میلی‌متر جیوه)	۷۹/۴۴	۹/۵۰	۶۰	۹۰
درصد چربی بدن	۱۱/۴۹	۲/۲۲	۸/۷۹	۱۵/۱۹
توده بدون چربی (کیلوگرم)	۵۶/۷۶	۵/۳۳	۴۹/۲۵	۶۵/۰۹
وزن چربی (کیلوگرم)	۷/۴۶	۲/۱۲	۴/۷۵	۱۰/۹۳
ضربان قلب استراحت (ضربه در دقیقه)	۵۸/۸۸	۵/۳۲	۵۰	۶۹
ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه)	۱۸۸/۸۹	۳/۶۹	۱۷۲	۲۰۷

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

روش خون‌گیری

در پژوهش حاضر، خون‌گیری از آزمودنی‌ها هنگام اجرای پروتکل تمرینی، با استفاده از انژوکت انجام شد. یک نمونهٔ خون در مرحلهٔ استراحت و سپس دو نوبت قبل از HRDP و دو نوبت پس از HRDP گرفته شد. فاصلهٔ بین هر نمونهٔ خون‌گیری به تعداد ۱۰-۵ ضربان قلب در دقیقه بود طوری که اولین نمونهٔ خونی (با توجه به HRDP هر یک از آزمودنی‌ها) بین ۱۰ تا ۲۰ ضربان پایین‌تر از HRDP، دومین نمونهٔ خونی بین ۵ تا ۱۰ ضربان پایین‌تر از HRDP، سومین نمونهٔ خونی بین ۵ تا ۱۰ ضربان بالاتر از HRDP، و چهارمین نمونهٔ خونی بین ۲۰-۱۰ ضربان بالاتر از HRDP گرفته شد. میزان اسیدلاکتیک خون آزمودنی‌ها در حین انجام پروتکل تمرینی علاوه بر حالت استراحت، در چهار نقطه مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار گرفت. شایان ذکر است که پیش از خون‌گیری (یک هفته قبل)، آزمودنی‌ها برای مطالعهٔ مقدماتی و تعیین HRDP، پروتکل تمرینی را اجرا کردند.

برای نمونه گیری (پیش از شروع پروتکل تمرینی) یک انژوکت به سیاهرگ دست چپ

آزمودنی‌ها وصل می‌شد (به منظور جلوگیری از هیپوکسی و افزایش میزان اسیدلاکتیک زمان استفاده از انژوکت از کارو استفاده شد). در زمان استراحت با استفاده از سرنگ ۵cc، خون‌گیری و در طی اجرای پروتکل تمرینی، کلید انژوکت باز و خون وارد لولهٔ ونوجک[1] (حاوی مادهٔ ضدانعقاد) می‌شد. در هر مرحلهٔ خون‌گیری ابتدا خون موجود از داخل انژوکت خارج و خون همان مرحلهٔ مورد نظر گرفته می‌شد. درجه حرارت محیط زمان خون‌گیری بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. همهٔ نمونه‌های خونی از ساعت ۱۵ تا ۱۸ بعد از ظهر گرفته شدند.

روش ثبت ضربان قلب فعالیت

تغییرات ضربان قلب فعالیت آزمودنی‌ها طی اجرای پروتکل تمرینی با استفاده از دستگاه پولار (Polar Vantage Sport Tester XL) لحظه به لحظه ثبت می‌شد. برای جلوگیری از بروز هر گونه خطا هنگام ثبت لحظه به لحظهٔ ضربان قلب، از دو عدد ساعت ویژهٔ دستگاه پولار استفاده می‌گردید که یکی از آن‌ها روی دست آزمودنی بسته می‌شد و دومی در اختیار پژوهشگر قرار می‌گرفت. هنگام اجرای پروتکل تمرینی، تعداد ضربان قلب فعالیت آزمودنی‌ها توسط دوربین فیلم‌برداری ضبط می‌شد. شایان ذکر است که دستگاه پولار در هر ۵ ثانیه میانگین ضربان قلب را نشان می‌دهد. به طور مثال از ثانیهٔ اول تا پنجم، میانگین ضربان قلب و پس از ثانیهٔ دوم تا ششم، میانگین ضربان قلب را نشان می‌دهد و الی آخر؛ به همین دلیل مقادیر ضربان قلب در صفحهٔ نمایش تله‌متری هر چند لحظه عوض می‌شود، که این تغییرات مربوط به میانگین ۵ ثانیه است. بر همین اساس و همچنین با توجه به ادبیات موجود در این زمینه، فواصل خون‌گیری بین ۵ تا ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شد.

پروتکل تمرینی

پروتکل تمرینی مورد استفاده در پژوهش حاضر، پروتکل هافمن بود. این پروتکل شامل شش تا هشت دقیقه رکاب‌زدن روی دوچرخهٔ ارگومتر Tunturi مدل ۶۰۴ بود. برای اجرای پروتکل تمرینی، آزمودنی‌ها به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه با شدتی معادل ۳۰ وات بدن خود را گرم

1. Vetojek

کردند، سپس با ۷۰ دور در دقیقه و با شدت ۱۴۰ وات شروع به رکاب زدن کردند. فشار کار در حین مراحل اجرای پروتکل تمرینی در هر دقیقه ۲۰ وات افزایش یافت. سرعت رکاب زدن، در هنگام اجرای پروتکل ثابت بود. افزایش فشار کار تا آنجا ادامه می‌یافت که آزمودنی قادر نبود ریتم کار را حفظ کند و به حالت بازماندگی ارادی می‌رسید و با تشخیص پژوهشگر و یا اظهار خودآزمودنی، پروتکل متوقف می‌شد.

روش محاسبهٔ HRDP با استفاده از روش D_{max}

با توجه به ثبت لحظه به لحظهٔ ضربان قلب آزمودنی‌ها در حین فعالیت، ضربان قلب در مراحل مختلف ثبت می‌شد و با استفاده از برنامهٔ رایانه‌ای طراحی شده، منحنی تابع لگاریتمی مجموعهٔ نقاط ضربان قلب، ترسیم و آن گاه ابتدا و انتهای منحنی با استفاده از یک خط راست به همدیگر متصل شد. جایی که خط راست و منحنی ضربان قلب بیشترین فاصله را از همدیگر داشتند، از خط راست، برمنحنی، خط عمودی وارد شد که محل تلاقی این دو خط، HRDP را نشان می‌داد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

روش اندازه‌گیری اسیدلاکتیک

با توجه به پایین بودن پایایی و روایی دستگاه‌های اندازه‌گیری اسیدلاکتیک با استفاده از کیت‌های مخصوص، سنجش و اندازه‌گیری اسیدلاکتیک خون در این پژوهش با استفاده از روش آنزیمی در آزمایشگاه بیوشیمی پاتوبیولوژی مرکزی شهر تهران انجام شد. پلاسمای نمونه‌های جمع‌آوری شده (به اندازهٔ ۲/۵ تا ۳ میلی‌متر)، با فاصلهٔ زمانی ۱۰ تا ۱۵ دقیقه پس از خون‌گیری با استفاده از دستگاه سانتریفوژ جداسازی می‌شد. برای جلوگیری از لخته شدن نمونه‌های جمع‌آوری شده تا انجام سانتریفوژ (۱۰ تا ۱۵ دقیقه)، از مادهٔ ضدانعقاد خون استفاده می‌گردید. سپس با استفاده از یک پیپت در شرایط استریل پلاسمای جدا شده در یک لولهٔ جداگانهٔ ونوجک وارد شد و به صورت آنزیمی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۸).

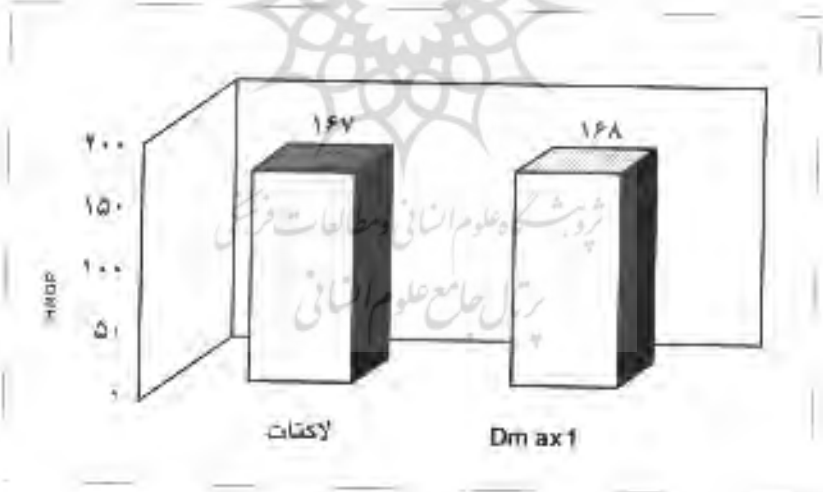
روش آماری

برای مقایسهٔ روش D_{max} با روش لاکتات در تعیین آستانهٔ بی‌هوازی از آزمون T مستقل،

برای محاسبهٔ همبستگی بین متغیرها، از ضریب همبستگی پیرسون و برای طراحی و تهیهٔ نرم‌افزار و نمودارها از نرم‌افزار Excel، بسکتال Visual Basic و عملیات List Square استفاده شد.

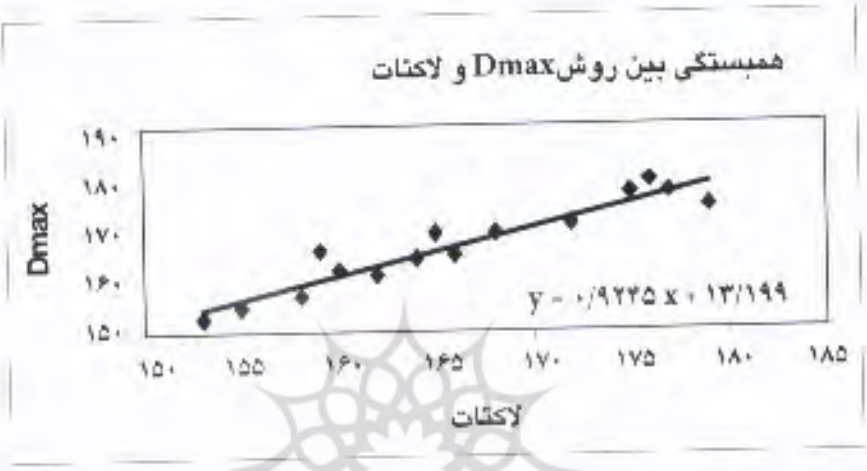
نتایج

مقایسه روش D_{max} با روش مرجع (اندازه‌گیری مستقیم اسیدلاکتیک خون) اختلاف معنی‌داری را بین آن دو نشان نداد در واقع یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بین دو روش سیدلاکتیک و D_{max} می‌باشد (نمودار ۱، P_0 ۰/۰۰۱).



نمودار ۱. مقایسه دو روش اندازه‌گیری لاکتات و D_{max} در برآورد آستانه بی‌هوازی با استفاده از HRDP

در رابطه با همبستگی موجود بین روش‌های مختلف تعیین آستانهٔ بی‌هوازی با استفاده از HRDP نتایج پژوهش حاضر، حاکی از آن است که بین روش مرجع (سنجش مستقیم سیدلاکتیک خون) و روش D_{max} همبستگی بسیار بالایی وجود دارد ($R=0/923$)، همان گونه که در نمودار ۲ ملاحظه می‌شود، همبستگی بین دو روش تقریباً خطی و مثبت است.



نمودار ۲. همبستگی بین روش سنجش اسیدلاکتیک و D_{max} در برآورد آستانهٔ بی‌هوازی با HRDP

بحث

نتایج ناشی از کاربرد روش D_{max} با هدف تعیین آستانهٔ بی‌هوازی و مقایسهٔ آن با روش مرجع (اندازه گیری مستقیم اسیدلاکتیک خون) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود ندارد. یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهشی انجام شده در این خصوص همخوانی دارد (۱۴-۹، ۶). در مورد ادبیات پژوهش، براساس نتایج برخی از پژوهش‌ها که در پروتکل تمرینی فزاینده به ویژه تحقیقاتی که روی افراد میانسال به اجرا درآمده است، HRDP مشاهده نمی‌شود (۲۲-۱۵). نکتهٔ حائز اهمیت آن است که عوامل و متغیرهای مختلفی در این خصوص می‌تواند بر نتایج پژوهش حاضر اثرگذار باشد که از جملهٔ این عوامل می‌توان نوع پروتکل تمرینی، روش محاسباتی مورد استفاده و مکانیزم‌های فیزیولوژیکی درگیر را نام برد. براساس داده‌های به دست آمده از این پژوهش با استفاده از مدل D_{max} و مقایسهٔ آن با روش مرجع دقت و حساسیت روش D_{max} در برآورد آستانهٔ بی‌هوازی مشخص می‌شود.

در همهٔ آزمودنی‌های پژوهش حاضر، آستانهٔ بی‌هوازی بین مرحلهٔ سوم و چهارم خون‌گیری قرار داشته است؛ جایی که براساس مدل D_{max}، HRDP نیز در آن اتفاق افتاده است. نتایج این پژوهش، در ارتباط با بررسی همبستگی بین روش خون‌گیری (اسید

لاکتیک) و D_{max} حاکی از ارتباط بسیار قوی بین آن‌ها بوده ($R=0/92$) و نیز حاکی از اعتبار روش D_{max} در برآورد آستانهٔ بی‌هوازی با استفاده از HRDP است.

به نظر می‌رسد نوع پروتکل تمرینی مورد استفاده جهت تعیین آستانهٔ بی‌هوازی یکی از عوامل مهم در پاسخ ضربان قلب به شمار می‌رود. به عبارت دیگر زمانی که پروتکل تمرینی مورد نظر براساس زمان طی شده مرحله‌بندی و فاصله‌بندی بشود و براساس آن بار کار افزایش یابد، HRDP با احتمال بیشتری رخ خواهد داد، برعکس زمانی که بار کار از پروتکل تمرینی بر اساس مسافت طی شده، تنظیم گردد، احتمال وقوع HRDP کاهش می‌یابد (۱۸، ۱۲). برهمین اساس در مطالعات و پژوهش‌های زیادی که در این خصوص به اجرا درآمده است، HRPC به صورت خطی بوده و HRDP وجود نداشته است. دی‌وایت و همکاران؛ جونز و داست؛ ریبرو و همکاران، هافمن، یوگن و پریدلر؛ یوکان و هافمن؛ تانج وهلر و لسو؛ واسرمن و همکاران از جمله محققان و پژوهشگرانی هستند که در مطالعات خود HRDC خطی مشاهده کردند (۲۴، ۲۳، ۱۶-۱۳، ۱۲، ۵، ۱).

با توجه به اینکه روش تجزیه و تحلیل رایانه‌ای، دقیق‌ترین روش به کار رفته جهت تعیین HRDP و در نهایت آستانهٔ بی‌هوازی می‌باشد به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (۲۹، ۲۷، ۲۴، ۲۱، ۱۹، ۱۷-۱۵، ۱۱-۹، ۷، ۲). همچنین از محاسبات و عملیات ریاضی برای افزایش اعتبار HRDP استفاده می‌شود (۲۹، ۲۱-۱۸، ۱). براساس اطلاعات موجود، در پژوهش حاضر نیز از برنامه‌های تجزیه و تحلیل رایانه‌ای با استفاده از محاسبات و عملیات ریاضی (برنامه‌نویسی پاسکال و Visual Basic) استفاده شد. تجزیه و تحلیل و بررسی داده‌های حاصل و همهٔ آزمودنی‌ها مبین آن بود که روش D_{max} در برآورد آستانهٔ بی‌هوازی به استفاده از HRDP روش مناسب و دقیقی است، چرا که نقطهٔ تعیین شده با استفاده از تجزیه و تحلیل رایانه‌ای و محاسبات ریاضی (عملیات مشتق‌گیری از توابع لگاریتمی) به عنوان HRDP با بیشتر تحقیقات و ادبیات تحقیق همخوانی داشت (۲۹-۲۷، ۲۴، ۲۱-۱۵، ۱۱-۹، ۷-۴). از طرف دیگر، با توجه به اینکه آستانهٔ بی‌هوازی با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم اسیدلاکتیک خون مورد ارزیابی قرار گرفته بود، مقایسهٔ نقاط برآورد شده به عنوان HRDP با استفاده از روش D_{max}، دقیقاً مبین دقت و صحت این روش بود. زیر در این خصوص، یافته‌های این پژوهش با یافته‌های اسکلیرومانکس و دیگر پژوهشگران

همخوانی دارد (۲۱، ۱۹، ۱۱). در پژوهش مالکن و همکارانش، سطح اسیدلاکتیک خون به میزان ۴ میلی‌مول بر لیتر به عنوان شاخص آستانهٔ بی‌هوازی (LTP۲) در نظر گرفته شده بود (۵، ۲۶، ۳۰-۳۴).

به طور کلی، نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که روش Dmax با استفاده از HRDP در یک پروتکل تمرینی فزاینده در برآورد آستانهٔ بی‌هوازی، روش دقیقی می‌باشد. با این حال در ارتباط با استفاده از روش Dmax برای برآورد آستانهٔ بی‌هوازی بایستی توجه داشت که عوامل مختلفی می‌توانند برآورد آستانهٔ بی‌هوازی را تحت‌الشعاع قرار دهند. الگوی ریاضی و نرم‌افزار رایانه‌ای مورد استفاده در این خصوص نقش مهمی بازی می‌کند، به طوری که با استفاده از معادلات لگاریتمی و برنامه‌نویسی رایانه‌ای دقیق‌تری شکل برآورد آستانهٔ بی‌هوازی به روش Dmax عملی می‌شود. با توجه به نتایج پژوهش، مربیان، ورزشکاران و دست‌اندرکاران امر ورزش به خصوص ورزش قهرمانی می‌توانند با استفاده از ضربان‌های قلب آزمودنی (ورزشکار)، در یک فعالیت کوتاه مدت (۵ تا ۱۰ دقیقه)، بدون صرف هزینه و وقت زیاد و اندازه گیری متعدد اسیدلاکتیک خون، به سهولت و به دقت آستانهٔ بی‌هوازی ورزشکار خود را تعیین نموده و برنامهٔ تمرینات خود را از نظر شدت، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی نمایند.

پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Rogers KL, Reybrouck T, Weymans M, et al (1995) The relationship between heart rate defelection and ventilatory threshold in children following heart surgery. *Pediatr Exerc Sci*, 7: 263-9.
2. Cheng B, Kuipers H, Snyder AC, et al. (1992) A new Approach for the determination of ventilator, and lactate thresholds. *Int J Sport Med* Oct; 13(7): 518-22.
3. Cononi F, Ferrari M, Ziglio PG, et al. (1985) Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol*, 52.
4. Zacharogiannis E, Farrally M (1993) Ventilator threshold. Heart rate defelction point and middle distance running performance. *J Sport Med Phys Fitness*; 33: 337-47.

5. Hofmann P, Bunc V, Leitner H, et al. (1995) Verification of heart rate threshold. Eur. *J Appl Physiol*; 70:263-9.
6. Thorland W, Podolin DA, Mazzeo RS (1994) Coincidence of lactate threshold and HR-power output threshold under varied nutritional states. *Int J Sport Med*; 15:301-4.
7. Kara M, Gokbel H, Bentz C, et al. (1996) Determination of the heart reate deflection point by the D_{max} method. *J Sport Med Phys Fitness*; 31-4.
8. Tilze F, Tilze Bio chemistry (1989) *Human Kinetics* 3rd Edition, PP. 781-8.
9. Bunc V, Hofmann P, Leitner H, et al. (1995) Verification of heart rate threshold, Eur. *J Appl Physiol*; 70:263-9.
10. Hofmann P, Pokan R, Kreidler K, et al. (1994) Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function. *Int J Sport Med*; 15:232-7.
11. Pokan R, Hofmann P, Preidler K, et al. (1993) Correlation between inflection of heart rate/work performance curve and myocardial function at exhausting cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol*; 67: 385-8.
12. Foster C, Spantz P, Georgakopoulos N, (1994) Left Ventricular function in relation to the heart rate performance curve. *Clin Exerc Physiol*; 1:29-32.
13. Bunc V, Heller J, Leso J (1988) Kinetics of heart rate responses to exercise. *J Sports Sci*; 6:39-48.
14. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, et al. (1973) Anaerobic threshold and respiratory exchange during exercise. *J Applic Physiol*; 35: 236-43.
15. de Wit MJP, Cles Wduwe CJ, Wolzhagen, PJJM, et al. (1997) Validity of peak oxygen uptake calculations from heart rate deflection points. *Int J Sport Med* 18: 201-7.
16. Jones AM, Doust JH, (1995) Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point. *Int J Sports Med*; 16: 451-4.
17. Bentley MR, Rhodes EC, Coutts KD (1998) Reliability of a mathematical model to reproduce heart rate threshold and the relationship to ventilatory threshold [abstract]. *Med Sci Sport Exerc*; 30 Suppl, 320.
18. Hofmann P, Pokan R, Lehmann M, et al. (1994) *Influence of parasympathetic blockade on heart rate performance curve and blood lactate during incremental cycle ergometer exercise* The way to win: International Congress on Applied Research in Sport, Aug 9-11; Helsinki, 233-6.
19. Hofmann P, Pokan R, Schmid P, et al. (1996) Load dependent myocardial function

Int J Sport Med; 17:S 13.

20. Pokan R, Hofmann P, Von Duvillard SP, et al. (1998) Paraympathetic receptor blockade and the heart rate performance curve. *Med Sci Sport Exerc*; 30: 229-33.
21. Droghetti P, (1986) Determination of the anaerobic threshold on a rowing ergometer by the relationship between work output and heart rate. *Scand J Sport Sci*, 8:59-62.
22. Fernandes-Pastor VJ, Perez F, Garcia JC, et al. (1997) Maintenance of the threshold/maximum heart rate quotient in swimmers. *Rew Esp Fisiol* Sep; 53(3): 327-34.
23. Pokan R, Hofmann P, Von Duvillard SP, et al. (1999) The heart rate turns point reliability and methodological aspects. *Med Sci Sport Exerc*; 31; 903-7.
24. Riberiro JP, Fielding RA, Hughes V, et al. (1985) Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. *Int J Sport Med*; 6:220-4.
25. Mahon AD, Vaccaro P (1991) Can the point of deflection from linearity of heart rate determine ventilator threshold in children? Pendiatr *Exerc Sci*; 3:256-62.
26. Schmid A, Hounker M, Aramendi JF, et al. (1998) Heart rate deflection compared to 4 mmol×l $^{-1}$ lactate threshold during incremental exercise and to lactate during steady state exercise on an arm-cranking ergometer in paraplegic athletes. *Eur J Appl Physiol*; 78:177-82.
27. Cellini M, Vitiello F, Naglieli A, et al. (1986) Noninvasive determination of the anaerobic threshold in swimming. *Int J Sport Med*; 7:347-51.
28. Maffulli N, Sjodin B, Ekblom B, (1987) A Laboratory method for noninvasive anaerobic threshold determination, *J Sport Med*; 27: 419-23.
29. Torkmakidis SP, Leger L (1988) External validity of the Conconi's heart rate anaerobic threshold as compared to the lactate threshold. *Exere Physic*; 3:43 58.
30. Narita K, Sakamoto S, Mizushige K, et al. (1999) Development and evaluation of a new target heart rate formuls for the adequate exercise training level in healthy subjects. *J Cardiol* May; 33i5): 265-72.
31. Gaisl G, Wiesspiner G, (1988) A noninovasive method of determining the anaerobic threshold in children. *Eur J Sport Med*; 8: 41-4.
32. Pendergast D, Derretelli P, Rennie DW (1979) Aerobic and glycolytic metabolism in arm exercise. *J Appl Physiol*; 47: 754-60.
33. Ballarin E, Sudhues U, borsetto C, et al. (1996) Reproductibility of the Conconi test: test repeatability and observer variations. *Int J Sport Med*; 17: 520-7.

test: test repeatability and observer variations. *Int J Sport Med*, 17: 520-7.

34. Conconi F, Borsetto C., Casoni I, et al. (1998) Noninvasive determination of the anaerobic threshold in cyclists in medical and scientific aspects of cycling. In: Burke R, Newsom MM, editors. Medical and scientific aspects of cycling. Champaign (IL): *Human Kinetics*. 79-91.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی