



دانشگاه شهید بهشتی

فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی

بهار و تابستان ۱۳۹۷، دوره ۱۱، شماره ۱، صفحه‌های: ۱۲۸-۱۲۹

مقایسه نقطه شکست ضربان قلب به روش $S.D_{max}$ با آستانه تهویه‌ای در مردان غیرفعال

مهدی اسبرزاده، معرفت سیاه‌کوهیان*، لطفعلی بلبلی

گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۲۰ اصلاح مقاله: ۹۵/۱۱/۸ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۲/۳

هدف: هدف از این پژوهش بررسی ارتباط بین نقطه شکست ضربان قلب (HRDP) با استفاده از مدل کوتاه‌ترین فاصله ($S.D_{max}$) با دومین آستانه تهویه‌ای (VT_2) بود.

روش‌ها: بیست و یک نفر مرد غیرفعال داوطلب (با میانگین سن $19/9 \pm 1/31$ سال، قد $173/4 \pm 5/3$ سانتی‌متر، وزن $67/9 \pm 8/9$ کیلوگرم، اکسیژن مصرفی بیشینه $3/08 \pm 0/52$ لیتر بر دقیقه) آزمون ورزشی فزاینده نوارگردان را تا رسیدن به واماندگی اجرا کردند. برای تعیین HRDP، ضربان قلب آزمودنی‌ها به وسیله دستگاه پولار ثبت و با استفاده از برنامه رایانه‌ای طراحی شده آنالیز شد. گازهای تنفسی در طول آزمون فزاینده توسط دستگاه گاز آنالایزر اندازه‌گیری شد. از آزمون t وابسته، مدل گرافیکی بلند-آلتمن و روش آماری همبستگی درون‌خوشه‌ای (ICC) برای پردازش داده‌ها استفاده شد.

نتایج: HRDP در تمامی آزمودنی‌های این پژوهش مشاهده شد. تفاوت معناداری بین متغیرهای ضربان قلب، اکسیژن مصرفی، تهویه، حجم جاری و تواتر تنفسی مطابق با HRDP و VT_2 وجود نداشت ($P > 0/05$). همچنین نتایج آزمون ICC و نمودارهای بلند-آلتمن نشان داد که همگرایی بالایی بین ضربان قلب و اکسیژن مصرفی اندازه‌گیری شده در HRDP و VT_2 وجود دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که $S.D_{max}$ روش مطمئنی برای جانشینی روش‌های تهاجمی، پرهزینه و وقت‌گیر است. بنابراین، می‌توان از روش $S.D_{max}$ برای تعیین آستانه بی‌هوازی در مردان جوان سالم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آستانه بی‌هوازی، نقطه شکست ضربان قلب، روش $S.D_{max}$ ، دومین آستانه تهویه‌ای.

مقدمه

آستانه بی‌هواری به‌عنوان شدتی از تمرین تعریف شده است که فراتر از آن متابولیسم هواری نمی‌تواند کل انرژی مورد نیاز را تأمین کند و سهم متابولیسم بی‌هواری برای تولید انرژی افزایش می‌یابد. امروزه، بعضی از مربیان آستانه‌های تهویه‌ای ورزشکاران را به منظور ایجاد برنامه‌های ورزشی ویژه برای آنها، ارزیابی می‌کنند (۱). اندازه‌گیری پارامترهای تنفسی در طول آزمون‌های فزاینده باعث ارزیابی دو آستانه تهویه‌ای می‌شود (۲). مطابق با واسرمن و همکاران، آستانه‌های تهویه‌ای به‌وسیله منحنی‌های معادله‌های تهویه‌ای (V_E/V_{CO_2} و V_E/VO_2) در مقابل توان در طی آزمون ورزشی فزاینده روی چرخ کارسنج، نشان داده می‌شوند. اولین آستانه تهویه‌ای^۱ (VT_1) به‌عنوان «آستانه تهویه» یا «آستانه تهویه‌ای سازگار» نامیده شده است که پیامد افزایش پرتهویه از طریق افزایش تولید دی‌اکسید کربن (CO_2) متابولیسمی مرتبط با شدت تمرینی بالاتر از آستانه بی‌هواری است. به‌طوری‌که منحنی V_E/VO_2 به‌طور غیرخطی افزایش می‌یابد در حالیکه V_E/V_{CO_2} به‌صورت ثابت باقی می‌ماند. دومین آستانه تهویه^۲ (VT_2) «آستانه تهویه‌ای ناسازگار» یا «نقطه جبران تنفس» نامیده شده است. چون پرتهویه‌ای برای دفع CO_2 تولید شده متابولیسمی کافی نیست، تهویه^۳ (VE) افزایش می‌یابد در حالی که V_{CO_2} ثابت باقی می‌ماند که منجر به افزایش بیشتر در V_E/V_{CO_2} تا وقوع خستگی می‌شود (۲).

با توجه به اینکه روش اندازه‌گیری مستقیم اسید لاکتیک و روش آستانه تهویه برای تعیین آستانه بی‌هواری، روش‌های پرهزینه و وقت‌گیر هستند، در دو دهه اخیر توجه پژوهشگران علوم ورزشی به ارزیابی و سنجش لحظه به لحظه ضربان قلب معطوف شده است. پاسخ ضربان قلب به تمرین فزاینده همیشه خطی نیست بلکه نقطه شکستی در منحنی ضربان قلب-کار جسمانی نشان داده شده است که اصطلاحاً نقطه شکست ضربان قلب^۴ (HRDP) نامیده

می‌شود (۳). گزارش شده است که HRDP مطابق با آستانه بی‌هواری است. در سال ۱۹۸۲، کانکانی و همکاران برای اولین بار پیشنهاد کردند که HRDP می‌تواند به‌عنوان یک روش غیرتهاجمی و ساده برای تعیین آستانه بی‌هواری در دوندگان استفاده شود (۴). اگرچه هیچ یک از تحقیقات به‌طور مستقیم و منطقی رابطه بین HRDP و آستانه بی‌هواری را گزارش نکرده‌اند، اما وقوع HRDP با پتاسیم خون رها شده از عضلات فعال (۵ تا ۸)، حساسیت کاتکولامینی میوکاردیوم، فعالیت پاراسمپاتیکی (۳ و ۹) و همچنین طبق گزارش‌های اخیر با کسر خروجی بطن چپ^۵ (LVEF) (۱۰، ۶، ۵) و افزایش حجم ضربه‌ای (SV) در بارکارهای بیشینه (۱۱) در ارتباط است.

توانایی HRDP برای تعیین آستانه بی‌هواری به خاطر نتایج مختلف در پیشینه تحقیق هنوز نامعلوم مانده است (۱۲). در این راستا نتایج بعضی از تحقیقات حاکی از آن است که ارتباط معناداری بین HRDP و آستانه بی‌هواری وجود دارد (۱۳ تا ۱۵). درحالی‌که چندین پژوهشگر گزارش کرده‌اند که HRDP در همه آزمودنی‌ها مشاهده نمی‌شود (۳ و ۱۶). همچنین گزارش شده است که در آزمودنی‌هایی که HRDP مشاهده شده است، آستانه بی‌هواری بالاتر از مقادیر واقعی برآورد شده است (۱۷ تا ۱۹). بنابراین در مدل کانکانی، HRDP نمی‌تواند برآوردکننده دقیقی برای آستانه بی‌هواری باشد (۱۷).

باتوجه به محدودیت‌های روش کانکانی و همکاران در تعیین آستانه بی‌هواری، چنگ و همکاران روش بیشترین فاصله^۶ (D_{max}) را برای تعیین آستانه بی‌هواری پیشنهاد کردند. در روش D_{max} ، اولین و آخرین نقطه منحنی ضربان قلب-زمان با استفاده از یک خط راست به همدیگر متصل می‌شوند. بیشترین فاصله بین این خط راست و منحنی به‌عنوان HRDP قرار می‌گیرد (۲۰). مزیت این روش این است که می‌توان از طریق آن HRDP را در همه افراد نشان داد. پیشنهاد شده است که حداقل مقدار ضربان قلب برای برآورد

پروتکل پژوهش

قبل از شروع اجرای آزمون از آزمودنی‌ها درخواست شد که از انجام فعالیت بدنی شدید، حداقل ۴۸ ساعت قبل از اجرای آزمون امتناع کنند و خود را در شرایط عادی برای انجام آزمون قرار دهند. همچنین ارزیابی‌های اولیه مانند قد و وزن به وسیله دستگاه سنجش قد و وزن مدل سکا^۷ ساخت کشور آلمان، شاخص توده بدنی با استفاده از نسبت وزن به مجذور طول قد (کیلوگرم بر متر مربع) و درصد چربی به وسیله کالیپر هارپندن^۸ ساخت کشور آلمان انجام شد (جدول ۱). در نهایت یک آزمون ورزشی پیش‌رونده و امانده‌ساز (GXT) برای تعیین VO_2max HRDP، و آستانه تهویه‌ای با استفاده از تردمیل (Sport ART مدل 6150E، ساخت کشور انگلستان) انجام شد. در طول اجرای آزمون ورزشی و امانده‌ساز گازهای تنفسی به صورت نفس به نفس با استفاده از دستگاه گاز آنالایزر (Ganshorn Medizin Electronic GMBH-Germany) جمع‌آوری شد. همچنین در این تحقیق VO_2max آزمودنی‌ها از طریق دستگاه گاز آنالایزر به طور مستقیم اندازه‌گیری شد. معیارهای رسیدن به VO_2max عبارت بودند از: به فلات رسیدن اکسیژن مصرفی با وجود افزایش در سرعت دویدن، افزایش ضربان قلب بالاتر از ۹۰ درصد از ضربان قلب بیشینه (سن-۲۲۰) و افزایش مقادیر نسبت تبادل تنفسی به بیش از ۱/۱ (۲۳).

روش‌های آزمایشگاهی

برای تعیین آستانه‌های تهویه‌ای اول و دوم (VT_1, VT_2) از روش واسرمن استفاده شد (۲). نمودارهای مربوط به V_E/VO_2 و V_E/VCO_2 -بارکار در طول آزمون ورزشی فزاینده ترسیم شد (نمودار ۱). آستانه تهویه‌ای اول (VT_1) به وسیله اولین افزایش غیرخطی در منحنی VE/VO_2 بدون اینکه در منحنی V_E/VCO_2 تغییری مشاهده شود، تعیین شد. همچنین آستانه تهویه‌ای دوم (VT_2) به وسیله افزایش غیرخطی در منحنی V_E/VCO_2 همزمان با دومین

دقیق HRDP ۱۴۰ تا ۱۵۰ ضربه باشد (۲۱ و ۲۲). چندین پژوهش نشان داده‌اند که از HRDP به روش D_{max} می‌توان برای تعیین آستانه بی‌هوازی استفاده کرد (۱۵ و ۲۱)، و بستگی به سن، جنس و سطح تمرینات ندارد (۳).

با توجه به اینکه HRDP روشی غیرتهاجمی و کم‌هزینه برای تعیین آستانه بی‌هوازی است، می‌توان از این روش برای تنظیم و برنامه‌ریزی شدت تمرینات در افراد مختلف استفاده کرد. با توجه به اینکه قابلیت HRDP برای تعیین آستانه بی‌هوازی به خاطر نتایج متفاوت در پیشینه تحقیق هنوز کاملاً روشن نیست (۳) و نبود توافق همگانی درباره اینکه کدام روش برای برآورد آستانه بی‌هوازی مناسب است، این پژوهش برای تعیین اعتبار HRDP تعیین‌شده به روش $S.D_{max}$ با آستانه تهویه‌ای انجام شد.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش

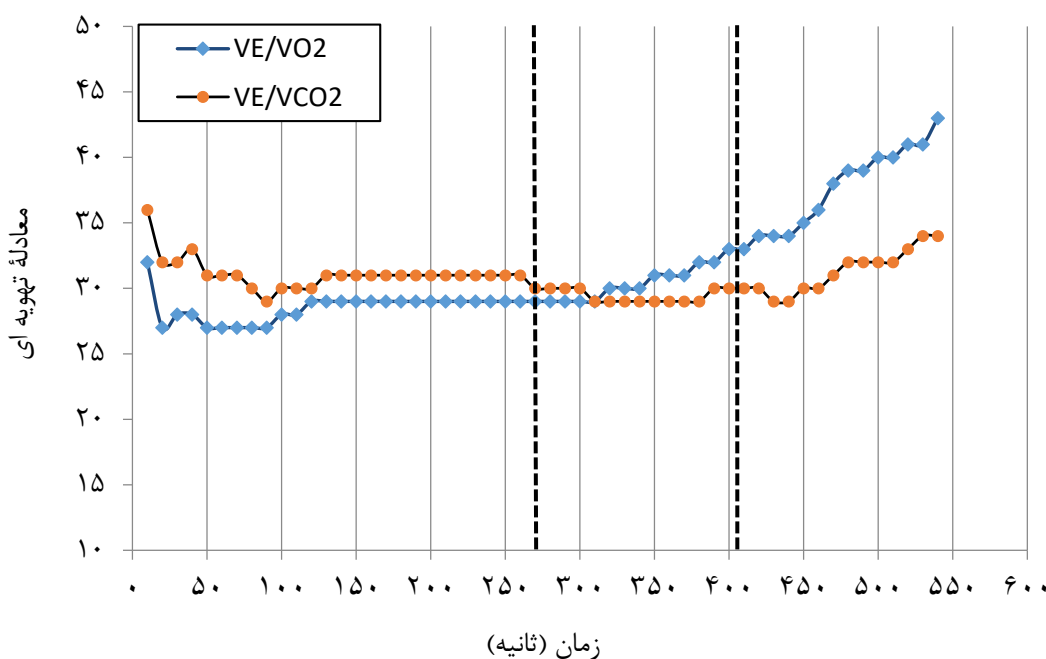
این پژوهش، از نوع نیمه‌تجربی است و جامعه آماری این تحقیق دانشجویان پسر تمرین‌نکرده دانشگاه محقق اردبیلی بودند که ۲۳ نفر از آنها در این تحقیق شرکت کردند. در ابتدا پرسش‌نامه ارزیابی پزشکی و فرم رضایت‌نامه به وسیله همه آزمودنی‌ها تکمیل شد. بین ۲۳ نفر از آزمودنی‌ها دو نفر به دلیل عیب و نقص در تعیین HRDP و VT از تجزیه و تحلیل نهایی حذف شدند. خلاصه‌ای از مشخصات جسمانی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین مشخصات جسمانی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها

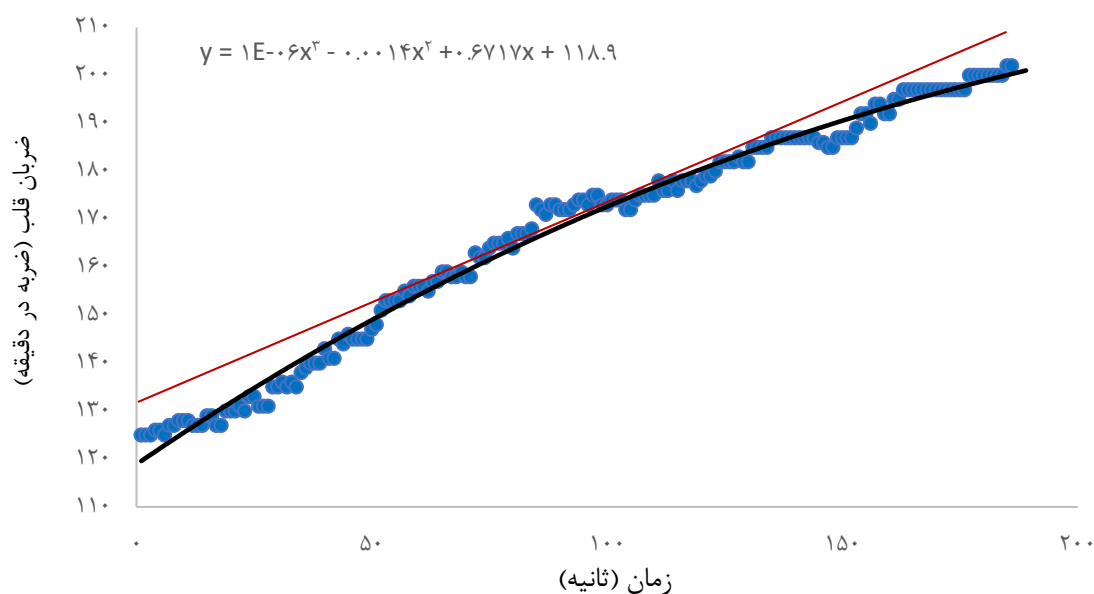
متغیر	انحراف معیار \pm میانگین
سن (سال)	۱۹/۹۱ \pm ۱/۳۱
وزن (کیلوگرم)	۶۷/۸۶ \pm ۸/۹۴
قد (سانتی‌متر)	۱۷۳/۳۶ \pm ۵/۳۳
درصد چربی (%)	۱۳/۶۵ \pm ۴/۹۸
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۲/۶۱ \pm ۲/۸۷
ضربان قلب استراحت (ضربه در دقیقه)	۶۶/۲۳ \pm ۶/۶۵
اکسیژن مصرفی بیشینه (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	۴۱/۳۵ \pm ۵/۲۵

مجموعه نقاط ضربان قلب ترسیم شد. سپس ابتدا و انتهای منحنی با استفاده از خط راست به همدیگر متصل شد. جایی که خط راست و منحنی ضربان قلب بیشترین فاصله را از همدیگر داشتند، از خط راست بر منحنی، خط عمودی وارد شد که محل تلاقی این دو خط، HRDP را نشان داد (نمودار ۲) (۲۱ تا ۲۴).

افزایش در منحنی V_E/VO_2 برآورد شد (۲). همچنین برای محاسبه HRDP، تغییرات ضربان قلب آزمودنی‌ها به وسیله ضربان‌سنج پولار به صورت لحظه به لحظه ثبت شد و وارد نرم‌افزار کامپیوتری طراحی شده مبتنی بر مدل بیشترین فاصله و شیب خط موازی شد. در این برنامه، ابتدا منحنی توابع لگاریتمی



نمودار ۱. روش تعیین آستانه تهویه‌ای به وسیله مؤلفه‌های تهویه‌ای (V_E/VCO_2 و V_E/VO_2)



نمودار ۲. تعیین HRDP به روش S.Dmax

تحلیل آماری

داده‌های توصیفی با میانگین \pm انحراف استاندارد گزارش شده است. به منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک^۹ استفاده شد. به منظور تعیین تفاوت بین متغیرهای اندازه‌گیری شده در HRDP و آستانه تهویه‌ای دوم (VT₂) از آزمون تی وابسته استفاده شد. همچنین برای ارزیابی همگرایی بین HRDP و VT₂ از روش‌های آمار استنباطی ضریب همبستگی درون‌خوشه‌ای (ICC) و مدل گرافیکی بلاند-آلتمن^{۱۰} استفاده شد. تمام عملیات آماری تحقیق به وسیله نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ و Medcalc انجام و سطح معناداری $\alpha \leq 0/05$ در نظر گرفته شد.

نتایج

جدول ۲، میانگین و انحراف معیار مقادیر بیشینه به‌دست‌آمده برای متغیرهای VO₂، RER، HR، VE، RR و زمان واماندگی در طول اجرای آزمون ورزش فزاینده را نشان می‌دهد. براساس نتایج ضریب همبستگی درون‌خوشه‌ای، تفاوت معناداری بین ضربان قلب، اکسیژن مصرفی، تهویه دقیقه‌ای، حجم جاری (Vt)، و تواتر تنفسی که در HRDP و VT₂ اندازه‌گیری شده بود، وجود نداشت (جدول ۳). همچنین یافته‌ها نشان داد که همگرایی بالایی بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده وجود دارد (جدول ۳).

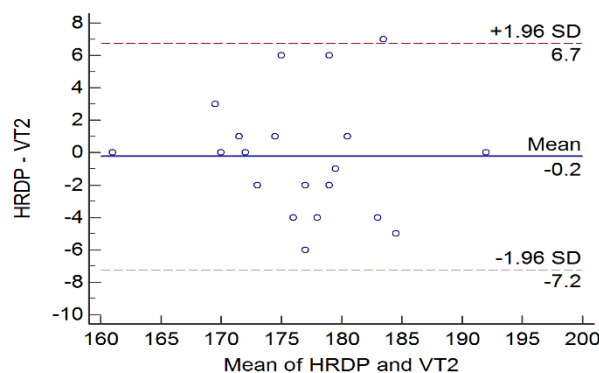
جدول ۲. مقادیر بیشینه به‌دست آمده برای متغیرهای تهویه‌ای و فیزیولوژیکی در طول آزمون ورزشی فزاینده

متغیر	VO ₂ (لیتر بر دقیقه)	VCO ₂ (لیتر بر دقیقه)	RER# (%)	HR (ضربه بر دقیقه)	VE* (لیتر بر دقیقه)	زمان واماندگی (دقیقه)
مقادیر میانگین \pm انحراف معیار	۳/۰۸ \pm ۰/۵۲	۴/۰ \pm ۰/۴۶۵	۱/۰ \pm ۳۵/۱۱	۱۹۷/۵ \pm ۵۲/۸۰	۱۲۱/۱۸ \pm ۶۷/۰۱	۱۱/۰ \pm ۹۸/۹۸

*تهویه دقیقه‌ای # نسبت تبادل تنفسی

جدول ۳. ICC متغیرهای اندازه‌گیری شده با فاصله اطمینان ۹۵٪ در HRDP و VT₂

مقدار P	فاصله اطمینان ۹۵٪		ضریب همبستگی درون خوشه‌ای (ICC)	متغیر
	کرانه پایین	کرانه بالا		
۰/۷۶۳	۰/۷۰۰	۰/۹۴۴	۰/۸۶۶	ضربان قلب (ضربه بر دقیقه)
۰/۶۰۷	۰/۹۱۲	۰/۹۸۵	۰/۹۶۳	حجم اکسیژن دمی (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه)
۰/۳۹۲	۰/۸۴۱	۰/۹۷۱	۰/۹۳۱	تهویه دقیقه‌ای (لیتر بر دقیقه)
۰/۳۷۸	۰/۸۸۲	۰/۹۷۹	۰/۹۵۰	حجم جاری (لیتر)
۰/۷۳۹	۰/۸۹۲	۰/۹۸۱	۰/۹۵۵	تواتر تنفسی (نفس بر دقیقه)



نمودار ۳. مقایسه بلاند-آلتمن بین ضربان قلب تعیین شده در آستانه بی‌هوایی به وسیله HRDP (روش S.D_{max}) با VT₂. خط افقی میانی نشان‌دهنده میانگین تفاوت‌ها است. خطوط خط چین شده بالا و پایین محدوده ۹۵٪ همگرایی و دامنه انحراف استاندارد $\pm 1/96$ از میانگین را نشان می‌دهد.

HR و VO₂ در شدت مطابق با HRDP و VT₂ طی آزمون اسکی صحرانوردی مشاهده نشد (۲۵). در نهایت این تحقیقات نشان می‌دهند که نقطه شکست ضربان قلب روش مناسبی برای پیش‌بینی آستانه بی‌هوازی است. با وجود این، تمام مطالعات HRDP، ارتباط و همگرایی بالای را در HRDP نشان نداده‌اند (۱۶ تا ۱۹، ۳۰). ردکوا و همکاران گزارش کردند که مقادیر اندازه‌گیری شده با HRDP در مقایسه با VT₂ همگرایی متوسطی دارد (۰/۷۱ = r). با وجود این، تفاوت معناداری میان دو روش وجود ندارد (۲۹). همچنین جونز و داست مشاهده کردند که HRDP ضربان قلب را حدود ۱۴ ضربه در دقیقه بیشتر از ضربان قلب آستانه لاکتات برآورد می‌کند (۱۹). این اختلاف تا اندکی می‌تواند از طریق روش بصری که برای تعیین HRDP استفاده کرده بودند، تشریح شود. توکماکیدیس و همکاران گزارش کردند که مقادیر ضربان قلب در HRDP تقریباً ۱۲ ضربه در دقیقه بیشتر از آستانه لاکتات است (۱۸). در این مورد، روش‌شناسی متفاوت در تعیین آستانه لاکتات ممکن است دلیل تفاوت در ضربان قلب تعیین شده در HRDP و LT باشد. از این رو، با توجه به یافته‌های این محققان HRDP نمی‌تواند برآوردکننده دقیقی برای آستانه بی‌هوازی باشد، که با یافته‌های این تحقیق مغایرت دارد.

همچنین در این پژوهش، با استفاده از روش اصلاح شده D_{max} (S.D_{max}) برای تعیین HRDP، در تمامی آزمودنی‌های تحقیق نقطه شکست ضربان قلب در ۸۸ درصد HR_{max} مشاهده شد. این یافته‌ها با نتایج مطالعاتی که نشان داده‌اند HRDP در آزمودنی‌های جوان سالم رخ می‌دهد همخوانی دارد (۳، ۵، ۲۲ و ۲۴). با وجود این، در برخی از تحقیقات مشخص شده است که HRDP رخ نمی‌دهد (۶ و ۱۹)، و علت این اختلاف می‌تواند به دلیل تأثیر نوع پروتکل ورزشی استفاده شده، باشد (۱۲). برخی از تحقیقات سازوکارهای احتمالی که باعث وقوع HRDP می‌شوند را بررسی کرده‌اند، اما پژوهشگران سازوکارهای

نمودار بلاند-آلتمن همگرایی بالایی بین HR مطابق با روش اصلاح شده D_{max} (S.D_{max}) و HR تعیین شده در VT₂ نشان داد (۷/۲ beats/min- تا +۶/۷ CI = ۹۵٪؛ ۱±/۹۶) (نمودار ۳). به علاوه، مقادیر آزمون همبستگی درون‌خوشه‌ای^{۱۱} نشان‌دهنده همگرایی بالا بود (ICC = ۰/۸۶۶). همچنین، با توجه به نمودارهای بلاند-آلتمن برای VO₂، VE، RR و Vt که تقریباً تمام نقاط داده‌ها در داخل انحراف استاندارد ۱±/۹۶ از میانگین بود، نشان‌دهنده همگرایی بالا بین روش S.D_{max} و VT₂ است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق تفاوت غیرمعناداری را بین ضربان قلب تعیین شده در HRDP و ضربان قلب اندازه‌گیری شده در VT₂ نشان داد (۱۷۶/۲±۶/۶۳ در برابر ۱۷۶/۷±۶/۹۲: P = ۰/۷۶۳). همچنین نتایج نشان داد که بین اکسیژن مصرفی، تهویه دقیقه‌ای، حجم جاری و تواتر تنفسی اندازه‌گیری شده در HRDP و VT₂ تفاوت معناداری وجود ندارد و بین HRDP و VT₂ همگرایی بالایی وجود دارد. (جدول ۳، نمودار ۳). نتایج این تحقیق با پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد (۱۳ تا ۱۵، ۲۱، ۲۵ تا ۲۸). در این راستا پینتو و همکاران در تحقیقی نشان دادند که بین مقادیر HR، VO₂، %HR_{max} و VO₂max تعیین شده در HRDP و VT₂ همبستگی معناداری وجود دارد. آنها همچنین نتیجه‌گیری کردند که HRDP یک روش غیرتجاهمی و آسان برای تعیین آستانه بی‌هوازی است (۲۷). جوهان و همکاران در پژوهشی روی اسکی‌بازان کوهستانی گزارش کردند که بین ضربان قلب و سرعت تعیین شده در HRDP و VT₂ همگرایی بالایی هست (۲۶). از طرف دیگر، میکولیچ و همکاران نشان دادند که رابطه‌ای قوی بین ضربان قلب، اکسیژن مصرفی، حجم جاری، تهویه و تواتر تنفسی در HRDP و VT وجود دارد (۱۳). همچنین در تحقیق فابره و همکاران تفاوت معناداری بین

همگرایی و ارتباط این روش با آستانه لاکتات مقایسه شود. اگرچه سازوکارهای فیزیولوژیکی HRDP هنوز به طور کامل روشن نشده، اما با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش اصلاح شده D_{max} (S.D_{max}) روش مناسبی برای تعیین HRDP است. به علاوه، نتایج این تحقیق نشان داد که بین مدل کوتاه بیشترین فاصله (S.D_{max}) و VT₂ همگرایی بالایی وجود دارد. در مجموع، برای تعیین آستانه بی‌هوازی در مردان غیرفعال سالم می‌توان از این روش غیرتهاجمی با هزینه پایین و اجرای آسان، به جای روش‌های پرهزینه و وقت‌گیر اسید لاکتیک و آستانه تهویه، استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

در پایان از تمامی همکاران و دانشجویان پسر دانشگاه محقق اردبیلی به‌خاطر همکاری در مراحل اجرای پژوهش صمیمانه سپاس‌گزاریم.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ First Ventilatory Threshold
- ² Second Ventilatory Threshold
- ³ Ventilation
- ⁴ Heart Rate Deflection Point
- ⁵ Left Ventricle Ejection Fraction
- ⁶ Distance maximum
- ⁷ Seca
- ⁸ Harpenden caliper
- ⁹ Shapiro Wilk
- ¹⁰ Bland Altman
- ¹¹ intraclass correlation
- ¹² β_1 -Adrenoceptor

فیزیولوژیکی دقیقی که باعث ایجاد این پدیده می‌شوند را به‌طور کامل پیدا نکرده‌اند. فرضیه کانکانی و همکاران این بود که HRDP تا حدودی نشان‌دهنده افزایش اتکا به مسیرهای گلیکولیتیک بی‌هوازی است و در فعالیت‌های شدید که باعث افزایش غلظت اسید لاکتیک می‌شود، موجب کاهش روند افزایشی ضربان قلب می‌شود (۴). نتایج تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که وقوع HRDP با عملکرد میوکاردی که به‌عنوان کسر خروجی بطن چپ (LVEF) بیان می‌شود، در ارتباط است. افرادی که برایشان HRDP اتفاق افتاده نسبت به افرادی که پاسخ ضربان قلب خطی داشتند، فراتر از آستانه لاکتات، کاهش کمتری در LVEF داشتند. بنابراین بین LVEF و دومین نقطه چرخش لاکتات و HRDP ارتباط معناداری وجود دارد (۱۰، ۶). همچنین مشاهده شده است که بین پاسخ‌های کاتکولامین پلاسمایی (آدرنالین و نورآدرنالین) و HRDP و LTP₂ ارتباط معناداری وجود دارد (۹). همچنین افزایش پتاسیم رهاشده در خون ممکن است بر عملکرد میوکاردیوم تاثیر داشته باشد (۵-۸). یکی از فرضیه‌های مهم این است که حساسیت و تعداد آدرنوسپتورهای بتا یک^{۱۲} (β_1 -AR) دلیل اصلی تفاوت در پاسخ HR در طول پروتکل‌های ورزشی فزاینده است (۳۰).

یکی از محدودیت‌های این تحقیق، عدم اندازه‌گیری لاکتات خون در طول تمرین برای تعیین آستانه بی‌هوازی است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مقادیر HRDP تعیین‌شده در پروتکل‌های تمرینی مختلف و

منابع

1. Nikoie R. Determination of Anaerobic Threshold by Monitoring the O₂ Pulse Changes in Endurance Cyclists. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2016; 30(6):1700-7.
2. Wasserman K, Whipp BJ, Koil SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. Journal of applied physiology. 1973; 35(2):236-43.
3. Bodner ME, Rhodes EC. A review of the concept of the heart rate deflection point. Sports Medicine. 2000; 30(1):31-46.

4. Conconi F, Ferrari MI, Ziglio PG, Droghetti PA, Codeca LU. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology*. 1982; 52(4):869-73.
5. Lucia A, Hoyos J, Santalla A, Perez M, Carvajal A, Chicharro JL. Lactic acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists. *British journal of sports medicine*. 2002; 36(2):113-7.
6. Hofmann P, Pokan R, Preidler K, Leitner H, Szolar D, Eber B, Schwabberger G. Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function. *International journal of sports medicine*. 1994; 15(05):232-7.
7. Darabi S, Dehghan MH, Refahi S, Kiani E, Darabi S. Ventilation, Potassium and Lactate during incremental exercise in men athletes. *Research Journal of Biological Sciences*. 2009; 4: 427-429.
8. Kiani Mavi N, Siahkuhian M, Hashemi Majd K. The correlation between Heart Rate Deflection Point (HRDP) and the Potassium Turn Point (KTP) in Athlete Young Men. *Journal of Ardabil University of Medical Sciences*. 2010; 10(1):64-71.
9. Pokan R, Hofmann P, Lehmann M, Leitner H, Eber B, Gasser R, Schwabberger G, Schmid P, Keul J, Klein W. Heart rate deflection related to lactate performance curve and plasma catecholamine response during incremental cycle ergometer exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1995; 70(2):175-9.
10. Pokan R, Hofmann P, Preidler K, Leitner H, Dusleag J, Eber B, Schwabberger G, Fuger GF, Klein W. Correlation between inflection of heart rate/work performance curve and myocardial function in exhausting cycle ergometer exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1993; 67(5):385-8.
11. Lepretre PM, Foster C, Koralsztein JP, Billat VL. Heart rate deflection point as a strategy to defend stroke volume during incremental exercise. *Journal of applied physiology*. 2005; 98(5):1660-5.
12. Asokkumar G. Anaerobic threshold: Its concept and role in endurance sport. *The Malaysian journal of medical sciences*. 2004; 11: 24-36.
13. Mikulic P, Vucetic V, Sentija D. Strong relationship between heart rate deflection point and ventilatory threshold in trained rowers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011; 25(2):360-6.
14. Debray P, Dey SK. A comparison of the point of deflection from linearity of heart rate and the ventilatory threshold in the determination of the anaerobic threshold in Indian boys. *Journal of physiological anthropology*. 2007; 26(1):31-7.
15. Erdogan A, Cetin C, Karatosun H, Baydar ML. Non-invasive indices for the estimation of the anaerobic threshold of oarsmen. *Journal of International Medical Research*. 2010; 38(3):901-15.
16. Hofmann P, Von Duvillard SP, Seibert FJ, et al. %HRmax target heart rate is dependent on heart rate performance curve deflection. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001; 33:1726-31.
17. elik , Kosar SN, Korkusuz F, Bozkurt M. Reliability and validity of the modified Conconi

- test on concept II rowing ergometers. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2005; 19(4): 871-7.
18. Tokmakidis SP, Léger LA, Piliandis TC. Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. European journal of applied physiology and occupational physiology. 1998; 77(4):333-42.
 19. Jones AM, Doust JH. The Conconi test is not valid for estimation of the lactate turnpoint in runners. Journal of sports sciences. 1997; 15(4):385-94.
 20. Cheng B, Kuipers H, Snyder AC, Keizer HA, Jeukendrup A, Hesselink M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. International journal of sports medicine. 1992; 13(07):518-22.
 21. Siahkoughian M, Azizan S, Roohi BN. A new approach for the determination of anaerobic threshold: methodological survey on the modified Dmax method. J. Hum. Sport Exerc. 2012; 7(2). 599-607.
 22. Nourzad DH, Siahkuhian M. Analysis and comparison of different methods in determining anaerobic threshold. Harakat. 2003; 20:35-53. Full text in Persian.
 23. Vachon JA., Bassett DR, Clarke S. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. Journal of Applied Physiology. 1999; 87(1): 452-9.
 24. Siahkoughian M, Meamarbashi A. Advanced methodological approach in determination of the heart rate deflection point: S. Dmax versus L. Dmax methods. The Journal of sports medicine and physical fitness. 2013; 53(1): 27-33.
 25. Fabre N, Balestreri F, Pellegrini B, Schena F. The modified Dmax method is reliable to predict the second ventilatory threshold in elite cross-country skiers. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2010; 24(6): 1546-52.
 26. Cassirame J, Tordi N, Fabre N, Duc S, Durand F, Mourot L. Heart rate variability to assess ventilatory threshold in ski-mountaineering. European journal of sport science. 2015; 15(7):615-22
 27. Pinto SS, Brasil RM, Alberton CL, Ferreira HK, Bagatini NC, Calatayud J, Colado JC. Noninvasive Determination of Anaerobic Threshold Based on the Heart Rate Deflection Point in Water Cycling. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2016; 30(2):518-24.
 28. Baiget E, Fernández-Fernández J, Iglesias X, Rodríguez FA. Heart rate deflection point relates to second ventilatory threshold in a tennis test. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2015; 29(3):765-71.
 29. Redkva PE, Zagatto AM, Batista AD, Kalva-Filho CA, Loures JP, Kaminagakura EI, DaSilva SG, Papoti M. Correlation between Heart Rate Deflection Point and Respiratory Compensation Point in Brazilian Army Runners. JEPonline 2013; 16(3):89-96.
 30. Hofmann P, Wonisch M, Pokan R, Schwaberg G, Smekal G, von Duvillard SP. Beta1-adrenoceptor mediated origin of the heart rate performance curve deflection. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2005; 37(10):1704-9.



Shahid Beheshti University

Sport and Exercise Physiology

Spring & Summer 2018/ No.1/ Vol. 11/ Pages: 129-138

A comparison of the heart rate deflection point by the $S.D_{max}$ method and the ventilatory threshold in sedentary men

Mehdi esbarzadeh, Marefat siahkoughian*, Lotfali bolboli

Department of Physical Education & Sport Science, School of Education and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 9/2/2016

Revised: 27/1/2017

Accepted: 21/2/2017

Purpose: The aim of this study was to survey of the relationship between heart rate deflection point (HRDP) by the short distance maximum ($S.D_{max}$) and second ventilatory threshold (VT_2).

Methods: Twenty-one sedentary men volunteers (mean age 19.9 ± 1.31 years; height 173.4 ± 5.3 cm; weight 67.9 ± 8.9 kg; maximum oxygen uptake 3.08 ± 0.52 L.min⁻¹) performed an incremental treadmill exercise test to exhaustion. To determine the HRDP, each subject heart rate was recorded by using a polar monitor and analyzed by a designed computer program. Respiratory gases during the exercise test was measured with a gas analyzing system. Data were analyzed using depended t-test, Bland and Altman plots and intraclass correlation coefficient.

Results: The HRDP was noticed in all subjects. No significant difference ($p > 0.05$) between the heart rate, oxygen uptake, ventilation, tidal volume and respiratory rate corresponding to HRDP and VT_2 . Also, results of ICC and Bland-Altman plots showed a good agreement between HR and VO_2 measured at the HRDP and VT_2 .

Conclusions: It could be concluded that $S.D_{max}$ method is an accurate and reliable alternative to the expensive and time-consuming invasive methods. Therefore, the $S.D_{max}$ method can be used for the determination of anaerobic threshold in healthy young men.

Keywords: Anaerobic threshold, Heart rate deflection point, $S.D_{max}$ method, Second ventilatory threshold

* Corresponding Author: Marefat siahkoughian. Tel: 09144511435. E-Mail: marefat_siahkuhian@yahoo.com