

## مقاله اصلی

# تعیین دامنه اثرگذاری تمرین مبتنی بر منحنی عملکرد ضربان قلب در مردان جوان فعال

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۰۳ - تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۹

### خلاصه

**مقدمه:** سیستم قلبی عروقی یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی تمرینات ورزشی به شمار می‌آید و دامنه اثرگذاری تمرینات ورزشی می‌تواند از آستانه هوازی تا آستانه بی‌هوازی اتفاق بیفتد. بنابراین هدف از اجرای مطالعه حاضر، تعیین دامنه اثرگذاری تمرین مبتنی بر منحنی عملکرد ضربان قلب در مردان جوان فعال بود.

**روش کار:** به همین منظور، تعداد ۲۰ نفر از پسران جوان و فعال با میانگین سنی ۵ تا ۲۵ سال به عنوان آزمودنی انتخاب شدند و آزمون درمانده ساز دوییدن بر روی نوارگردان را اجرا کردند. ضربان قلب و سطح اسید لاکتیک خون معادل آستانه هوازی و بی‌هوازی به ترتیب با استفاده از روش  $D_{max}$  اصلاح شده و دستگاه سنجش لاکتات تعیین گردید. همزمان با استفاده از سیستم تجزیه و تحلیلی گازهای تنفسی، تغییرات حجم اکسیژن مصرفی و دی‌اکسید کربن تولیدی مورد سنجش قرار گرفت. در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری توصیفی مانند دسته بندی کردن اطلاعات و تبدیل آنها به جداول فراوانی، تنظیم درصد فراوانی و میانگین و انحراف استاندارد متغیرها استفاده شد. همچنین برای محاسبه سطح زیر منحنی از عملیات انتگرال گیری مورد استفاده قرار گرفت.

**نتایج:** نتایج نشان داد که برای تعیین آستانه هوازی و بی‌هوازی می‌توان از روش مبتنی بر بیش‌ترین فاصله از منحنی عملکرد ضربان قلب و نیز سطح اکسیژن مصرفی و لاکتات خون استفاده کرد. همچنین منحنی عملکرد ضربان قلب برای تعیین دامنه موثر تمرینی، سطح زیر منحنی و سرعت گام برداری معادل آستانه هوازی و بی‌هوازی موثر می‌باشد.

**نتیجه گیری:** بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از مدل منحنی عملکرد ضربان قلب می‌توان دامنه اثرگذاری تمرین را تعیین کرد و به عنوان روشی جدید در ارائه برنامه‌های تمرینی مورد استفاده قرار داد.

**کلمات کلیدی:** آستانه بی‌هوازی، آستانه هوازی، اکسیژن مصرفی، لاکتات، ضربان قلب

معرفت سیاهکوهیان<sup>\*۱</sup>

افشین رهبرقازی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استاد فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده

علوم تربیتی و روانشناسی، اردبیل، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی

و روانشناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

Email: afshinrahbar89@gmail.com

## مقدمه

یکی از فاکتورهای مهم در بخش طراحی تمرینات ورزشی به سیستم قلبی عروقی مرتبط است. شدت، حجم و مدت تمرینات از بخش‌های مهم هر فعالیت به شمار می‌آید. همچنین تعیین این سه فاکتور برای بهبود عملکرد ورزشی و دوره بازیافت بعد از تمرین مهم و اساسی است. آمادگی جسمانی اولیه به همراه این سه فاکتور نقش مهم در سازگاری افراد به تمرینات ورزشی دارد. فاکتور مهم شدت<sup>۱</sup> از ضروریات تمرینات ورزشی به حساب می‌آید، زیرا که بیش‌ترین نقش را در آمادگی قلبی تنفسی ایفا می‌کند (۱، ۲). برآورد شدت مناسب برای تمرینات ورزشی همیشه یکی از چالش‌های مهم است که به طور کلی براساس ضربان قلب تمرین<sup>۲</sup> معادل سوخت و سازی<sup>۳</sup> یا میزان درک فشار (RPE) تعیین می‌شود (۲، ۳).

پژوهشگران بر این باورند که اثرگذاری تمرینات ورزشی در دامنه خاصی اتفاق می‌افتد و این دامنه از از آستانه اول (آستانه هوازی) تا آستانه دوم (آستانه بی‌هوازی) تعریف شده است (۴). علاوه بر این آستانه هوازی برای تمریناتی مناسب می‌باشد که هدف سلامتی انجام می‌گیرد (۵). برخلاف آستانه اول، ورزشکاران حرفه‌ای برای افزایش آمادگی قلبی تنفسی باید به آستانه بی‌هوازی از تمرینات برسند (۶).

کانکائی و همکاران با استفاده از روش غیر تهاجمی مبتنی بر ارتباط ضربان قلب و فشار کار تمرینی توانستند آستانه بی‌هوازی (AT) را تعیین کنند، به طوری که منحنی عملکرد ضربان قلب<sup>۴</sup> (HRPC) با افزایش بار تمرینی از آستانه اول تا دوم ادامه می‌یابد و در نقطه از بار تمرینی این افزایش ضربان قلب حالت خطی بودن خود را از دست می‌دهد که همان نقطه، آستانه بی‌هوازی تعریف شده است (۷، ۸). منحنی عملکرد ضربان قلب نشان دهنده تغییرات ضربان قلب نسبت به افزایش فشار در یک تمرین فزاینده تعریف شده است که علاوه بر تعیین آستانه بی‌هوازی، نمایانگر آستانه هوازی و تعادل این دو آستانه

می‌باشد (۹). نقطه شکست ضربان قلب<sup>۵</sup> که همزمان با آستانه بی‌هوازی اتفاق می‌افتد (۱۰) می‌تواند ضربان قلب را به حالت فلات و موازی با محور Xها تبدیل کند (۹).

پژوهشگران بر این باورند که ضربان قلب در تعیین شدت برنامه تمرینی نقش بسزایی دارد (۱۳-۱۱) و می‌تواند تعیین کننده آستانه هوازی تا بی‌هوازی متناظر با ۵۰ تا ۸۵ درصد ضربان قلب پیشینه باشد (۱۴). از مشکلات تعیین آستانه هوازی با استفاده از روش‌های تهاجمی می‌توان به هزینه بر بودن نیازمندی به نمونه گیری‌های خونی مکرر و دستگاه‌های پیشرفته اشاره کرد (۱۵). از طرفی روش ناریتا هم نتوانست در تعیین آستانه هوازی به دقت سنجش لاکتات خون عمل کند. بنابراین برای ارزیابی آستانه هوازی می‌توان از منحنی عملکرد ضربان قلب استفاده کرد. همچنین بررسی پیشینه تحقیق حاضر نشان داد که هیچ مطالعه‌ای به تعیین آستانه هوازی و بی‌هوازی با استفاده از فردی سازی سیستم قلبی عروقی درگیر در تمرین با استفاده از ضربان قلب نپرداخته است (۱۶).

مطالعات فیزیولوژیکی مراحل سه گانه تامین انرژی و دو نقطه شکست را با افزایش شدت تمرین نشان دادند که با آستانه‌های تهویه‌ای یا آستانه لاکتات (LTS) در طول تمرین اتفاق می‌افتد. مطالعات نشان داده‌اند که آستانه اولیه لاکتات را با آستانه هوازی و آستانه دوم لاکتات را با آستانه بی‌هوازی در یک تمرین فزاینده هم طراز دانسته‌اند (۱۷). به طوری که فاصله بین آستانه اول تا آستانه دوم را مرحله ایزوکینیک بافری و فاصله بین آستانه دوم تا مرحله واماندگی را به عنوان مرحله هیپوکینیک بیش تهویه‌ای در نظر گرفته شده است (۱۸).

افزایش بار کار به همراه شدت می‌تواند سطح لاکتات خون را تا دو میلی مول بر لیتر افزایش دهد و نیز افزایش میزان  $VE/VO_2$  به عنوان آستانه هوازی یا  $LTP_1$  تعریف می‌شود (۹). علاوه بر این با ادامه یافتن بار کاری و شدت تمرین، میزان لاکتات خون می‌تواند از چهار میلی مول بر لیتر به همراه

<sup>1</sup> Intensity

<sup>2</sup> Heart Rate Training

<sup>3</sup> Metabolic Equivalent of Task (MET)

<sup>4</sup> Heart Rate Performance Curve

<sup>5</sup> Heart Rate Deflection Point

<sup>6</sup> Lactate threshold

آزمودنی‌ها تکمیل شد. داده‌های مورد نیاز در دو مرحله جمع آوری شدند: در مرحله اول متغیرهای جسمانی و فیزیولوژیکی شامل قد، وزن، درصد چربی، فشار خون، ضربان قلب استراحت مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در مرحله دوم همه آزمودنی‌ها پروتکل فزاینده درمانده ساز بر روی نوار گردان را با هدف تعیین آستانه هوازی و بی‌هوازی اجرا کردند. در طول انجام آزمون درمانده ساز، ضربان قلب لحظه به لحظه توسط تله متری سنجش شد. همچنین برای سنجش لحظه به لحظه حجم اکسیژن مصرفی و دی اکسید کربن تولیدی، از طریق دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی استفاده شد. برای اجرای پروتکل درمانده ساز، ابتدا آزمودنی با سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت به روی نوارگردان با هدف گرم کردن بدن، راه می‌رود. پس از گذشت ۳ دقیقه سرعت نوارگردان در هر دقیقه به میزان یک کیلومتر بر ساعت افزایش یافت. افزایش سرعت حرکت نوارگردان تا مرحله بازماندگی آزمودنی‌ها ادامه پیدا کرد (۲۰). تغییرات ضربان قلب فعالیت در طول اجرای پروتکل درمانده ساز با استفاده از پولار ساخت کشور فنلاند لحظه به لحظه ثبت خواهد شد. برای جلوگیری از بروز هرگونه خطا به هنگام ثبت ضربان قلب، از دو عدد پولار استفاده خواهد شد (۲۱).

برای اخذ نمونه‌های خونی در طول اجرای پروتکل تمرینی، با استفاده از نیدل مخصوص، یک نمونه‌ی خون در ضربان قلب و اکسیژن مصرفی معادل آستانه هوازی و یک نمونه‌ی خون در ضربان قلب و اکسیژن مصرفی معادل آستانه بی‌هوازی از آزمودنی‌ها اخذ خواهد شد. نمونه‌گیری خونی با استفاده از سرنگ ۵cc، از نوک انگشت نشانه‌ی دست راست انجام خواهد شد. به منظور سنجش میزان لاکتات خون از کیت مخصوص و دستگاه پورتابل سنجش لاکتات (مدل اسکات ساخت کشور ژاپن) استفاده خواهد شد. در این روش، نمونه خونی جمع‌آوری شده با استفاده از کیت مخصوص، در داخل دستگاه قرار داده شده و دستگاه به صورت اتوماتیک مقادیر مربوط به میزان لاکتات خون را پس از چند ثانیه محاسبه و در اختیار محقق قرار خواهد داد. برای تعیین آستانه هوازی و بی‌هوازی به ترتیب از مدل  $D_{max}$  معکوس و  $D_{max}$  اصلاح شده (Mod-Dmax)

$VE/VO_2$  افزایش یابد که آستانه بی‌هوازی یا  $LTP_2$  (دومین نقطه چرخش لاکتات) نامیده می‌شود (۹). افزایش غیر خطی تهویه‌ای دقیقه‌ای با افزایش شدت فعالیت‌های فزاینده تحت عنوان آستانه تهویه‌ای<sup>۱</sup> ( $VT$ ) تعریف می‌شود (۹). اولین آستانه تهویه‌ای ( $VT_1$ ) به عنوان افزایش در معادله تهویه‌ای اکسیژن ( $VE/VO_2$ ) هم زمان با شکست حالت خطی تهویه، بدون اینکه معادله تهویه‌ای دی‌اکسیدکربن ( $VE/VCO_2$ ) افزایش یابد برآورد می‌شود. همچنین دومین آستانه تهویه‌ای ( $VT_2$ ) به عنوان شدتی که در آن معادله تهویه‌ای دی‌اکسیدکربن ( $VE/VCO_2$ ) شروع به افزایش می‌کند در نظر گرفته می‌شود (۱۹).

استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب در آزمون‌های فزاینده درمانده ساز، از جمله مدل‌ها و روش‌های جدیدی است که برای تعیین دامنه شدت تمرین از آستانه هوازی تا آستانه بی‌هوازی مورد توجه محققان و دانشمندان علوم ورزشی قرار گرفته است به دلیل اینکه مدل ضربان قلب برای تعیین دامنه مطلوب شدت تمرین، مدلی ساده و کم هزینه و دقیق می‌باشد. از این رو، تحقیق حاضر با هدف تعیین دامنه اثرگذاری تمرین مبتنی بر منحنی عملکرد ضربان قلب در مردان جوان فعال به اجرا درآمد.

## روش کار

مطالعه حاضر با توجه به آزمایشگاهی اجرایی شدن این پژوهش، روش پژوهش نوع نیمه تجربی بود. جامعه آماری پژوهش حاضر راکلیه دانشجویان پسر فعال دانشگاه محقق اردبیلی تشکیل داده بودند که توانایی به اتمام رساندن آزمون درمانده ساز بر روی نوارگردان را داشتند. از مقیاس‌های ورود به طرح می‌توان به داشتن حداقل آمادگی قلبی-تنفسی ۴۰ میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه، نداشتن بیماری‌های قلبی-تنفسی، نداشتن عمل جراحی در طول دو سال گذشته اشاره کرد. در این راستا، با توجه به ماهیت طرح، تعداد ۲۰ نفر از بین جامعه آماری به صورت هدفمند انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. در ابتدا توضیحاتی درباره نحوه انجام فرآیند آزمون به افراد ارائه شد و سپس پرسشنامه مخصوص شرکت در برنامه ارزیابی توسط

<sup>1</sup> Ventilatory Threshold

شده در منحنی لگاریتمی در واقع نشان دهنده‌ی HRDP است و با توجه به ضرایب ثابت معادله‌های به دست آمده (لگاریتمی و خطی) HRDP تعیین می‌شود.

با توجه به ثبت لحظه به لحظه ضربان قلب آزمودنی‌ها در طول فعالیت، ضربان قلب در مراحل مختلف و با استفاده از برنامه‌ی کامپیوتری مورد استفاده، منحنی تابع لگاریتمی مجموع نقاط ضربان قلب ترسیم و آنگاه ابتدا و انتهای منحنی با استفاده از یک خط راست به هم وصل می‌شود جایی که خط راست و منحنی ضربان قلب بیشترین فاصله را از هم‌دیگر داشتند از خط راست بر منحنی خط عمودی وارد می‌شود که محل تلاقی این دو خط، HRDP را نشان می‌دهد. چرا که مختصات نقطه‌ی مماس بر منحنی در واقع نقطه‌ای است شیب برابر با خط راست داشته باشد، به این دلیل بیشترین فاصله را با خط راست دارد بر همین اساس خطی به موازات محور Yها به محور Xها وارد می‌شود تا زمان وقوع HRDP مشخص شود، همچنین خطی به موازات محور Xها به محور Yها وارد می‌شود تا ضربان قلب وقوع HRDP تعیین شود با استفاده از عملیات مشتق‌گیری و کمترین مربعات از توابع لگاریتمی اجرای برنامه‌ی فوق عملی می‌شود. برای برآورد آستانه‌ی هوازی، از مدل منحنی عملکرد ضربان قلب در محدوده شروع پروتکل تمرینی درمانده ساز استاندارد به روی نوار گردان تا نقطه شکست ضربان قلب (HRDP)، استفاده شد. در این برآورد آستانه‌ی هوازی، از روش کوتاه شده بیش‌ترین فاصله (S.Dmax) مبتنی بر مدل ریاضی شیب خط موازی (PSLS) استفاده به عمل آمد. در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری توصیفی مانند دسته بندی کردن اطلاعات و تبدیل آنها به جداول فراوانی، تنظیم درصد فراوانی و میانگین و انحراف استاندارد متغیرها استفاده شد. همچنین برای محاسبه سطح زیر منحنی از عملیات انتگرال‌گیری مورد استفاده قرار گرفت (۲۳).

### نتایج

بر اساس نتایج مشخص شد که: از مجموع ۳۰۰ پاسخگو، مشخصات فردی آزمودنی‌ها شامل سن (سال)، قد (سانتی‌متر)، وزن (کیلوگرم)، چربی (درصد)، شاخص توده بدن

استفاده خواهد شد (۲۱). در این مدل‌ها، منحنی عملکرد ضربان قلب (HRPC) به عنوان مبنای کار قرار خواهد گرفت. برآورد Dmax با هدف تعیین آستانه‌ی هوازی و بی‌هوازی، با بهره‌گیری از الگوی شیب خط موازی (PLS) انجام خواهد شد (۲۲). از همه‌ی آزمودنی‌ها خواسته شد تا پس از بیدار شدن از خواب و در حالت نشسته (قبل از ایستادن) اقدام به اندازه‌گیری ضربان قلب نموده و داده‌های مورد نیاز را در اختیار محقق قرار دهند. همچنین ضربان قلب پیش از شروع پروتکل تمرینی اندازه‌گیری شد. ضربان قلب آزمودنی‌ها با استفاده از دستگاه ضربان‌سنج برای گروه انجام گرفت برای انجام محاسبات مختلف، ضربان قلب پیش از شروع پروتکل معیار عمل قرار گرفت. ضخامت چربی زیر پوستی آزمودنی‌ها با استفاده از چربی‌سنج اندازه‌گیری شد. و برای برآورد درصد چربی آزمودنی‌ها، ضخامت چربی زیر پوستی سه سر، شکم، فوق‌خاصره، را اندازه‌گیری کرده و با به کارگیری فرمول سه نقطه‌ای زیر در صد چربی محاسبه شد:

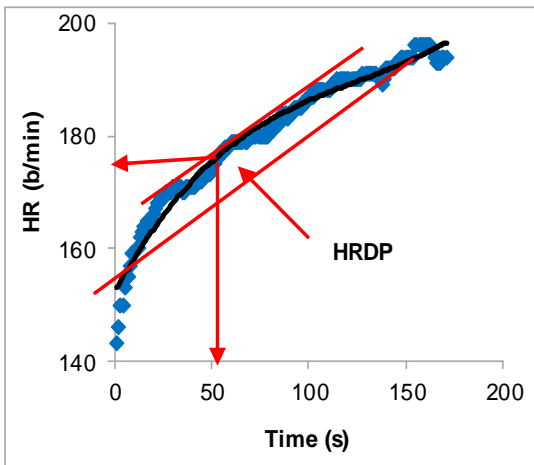
$$S = \text{سه سر} + \text{شکم} + \text{فوق خاصره}$$

$$S = 4.2653 + 0.03661(\text{سن}) + 0.00112(S)^2 + 0.41563(S) = \text{درصد چربی}$$
 برای محاسبه‌ی شاخص توده‌ی بدن آزمودنی‌ها وزن آزمودنی‌ها تقسیم بر مربع قد (متر) آنها شد و برای اندازه‌گیری قد و وزن از دستگاه قد و وزن‌سنج استاندارد استفاده شد. برای محاسبه‌ی وزن بدون چربی، درصد چربی بدن را در کل وزن بدن ضرب می‌کنیم تا وزن چربی به دست آید برای محاسبه‌ی وزن بدون چربی (LBM)، وزن چربی بدن از وزن کل بدن کسر می‌شود. در برنامه‌ی نرم افزار مورد نظر ابتدا نمودارهای مربوط به ضربان قلب، در واحد زمان (ثانیه‌های مختلف) نمایش داده می‌شود، سپس منحنی لگاریتمی (روش Dmax) و منحنی خطی (روش کانکانی) داده‌های مربوط به ضربان قلب ترسیم می‌شود (با توجه به نوع روش استفاده برای تعیین HRDP). آنگاه معادله خط مستقیمی که اول و آخر منحنی لگاریتمی را به یک‌دیگر متصل می‌کند، برآورد می‌شود. سپس معادله‌ی خط موازی با خط مستقیم که بر منحنی لگاریتمی صدق می‌کند (معادله‌ی HRDP) برآورد می‌شود. (نقطه‌ای بر منحنی لگاریتمی که شیب خط آن برابر با شیب خط مستقیم باشد موازی با خط مستقیم بوده و بیشترین فاصله را با آن دارد) نقطه‌ی تعیین

(کیلوگرم بر مجذور متر) و تعداد آزمودنی‌های هر گروه در جدول ۱-۴ آورده شده است.

**جدول ۱. مشخصات توصیفی آزمودنی‌ها**

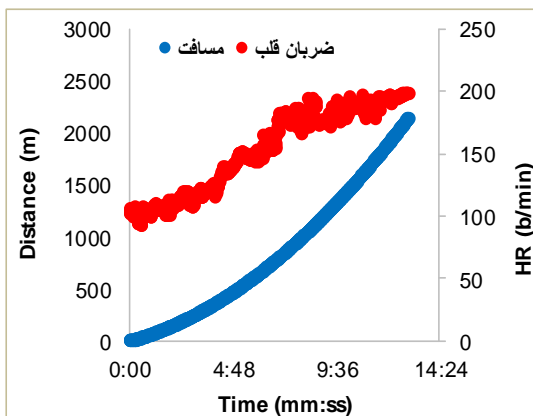
متغیرها	انحراف استاندارد ± میانگین
سن (سال)	۲۲/۰۳ ± ۲/۲۰
قد (سانتی متر)	۱۷۶/۲۶ ± ۶/۶۵
وزن (کیلوگرم)	۶۸/۹۴ ± ۹/۵۶
چربی بدن (درصد)	۱۷/۸ ± ۳/۴۱
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۴/۳۱ ± ۳/۷۸



نمودار ۲. برآورد آستانه بی‌هوایی مبتنی بر روش بیشترین فاصله با استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب

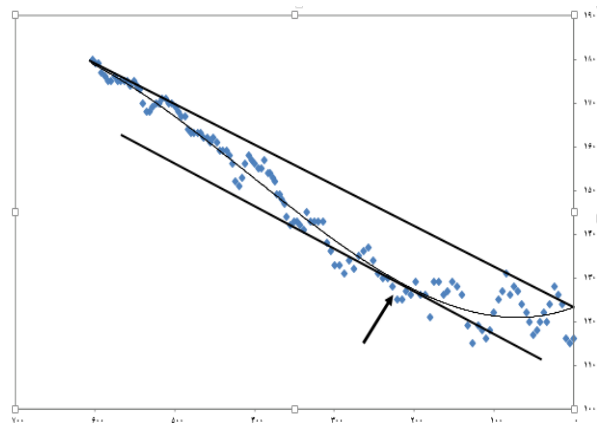
نتایج نشان داد که با استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب می‌توان دامنه موثر تمرینی را تعیین کرد (نمودار ۳).

نتایج این مطالعه نشان داد که تعیین آستانه هوایی مبتنی بر روش بیشترین فاصله با استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب به دلیل قابل رویت بودن آستانه هوایی در تمام آزمودنی‌ها می‌توان از ضربان قلب با استفاده از مدل بیشترین فاصله با انحراف معکوس استفاده کرد (نمودار ۱).



نمودار ۳. برآورد تعیین دامنه موثر تمرینی مبتنی بر منحنی عملکرد ضربان قلب

نتایج نشان داد که با استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب می‌توان سطح زیر منحنی را تعیین کرد (نمودار ۴).

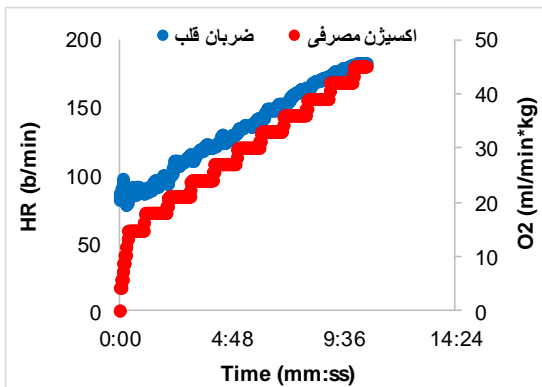


نمودار ۱. برآورد آستانه هوایی مبتنی بر روش بیشترین فاصله با استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب

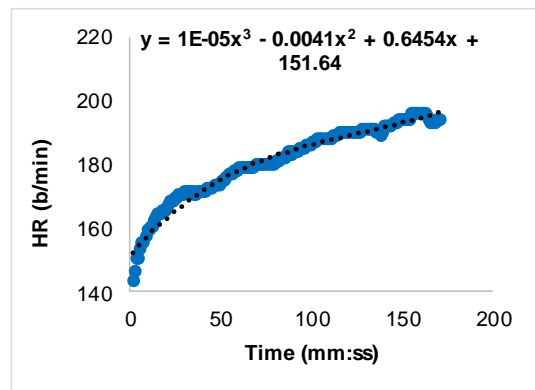
نتایج نشان داد که با استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب می‌توان سرعت گام زنی معادل آستانه هوایی را تعیین کرد (نمودار ۵).

نتایج نشان داد که با استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب می‌توان آستانه بی‌هوایی را با استفاده از مدل بیشترین فاصله با انحراف معکوس تعیین کرد (نمودار ۲).

نتایج نشان داد که با استفاده از اکسیژن مصرفی می توان آستانه هوازی را تعیین کرد (نمودار ۷).

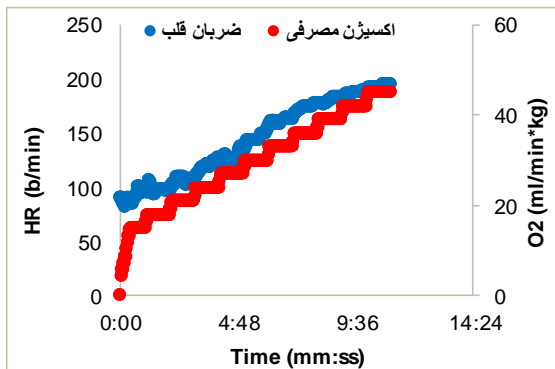


نمودار ۷. برآورد اکسیژن مصرفی و تعیین آستانه هوازی

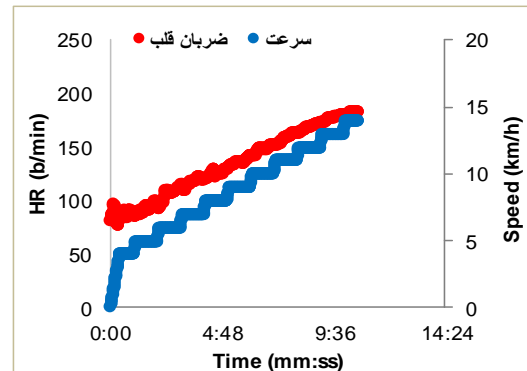


نمودار ۴. برآورد تعیین سطح زیرمنحنی از منحنی آستانه هوازی تا آستانه بی هوازی

نتایج نشان داد که با استفاده از اکسیژن مصرفی می توان آستانه بی هوازی را تعیین کرد (نمودار ۸).



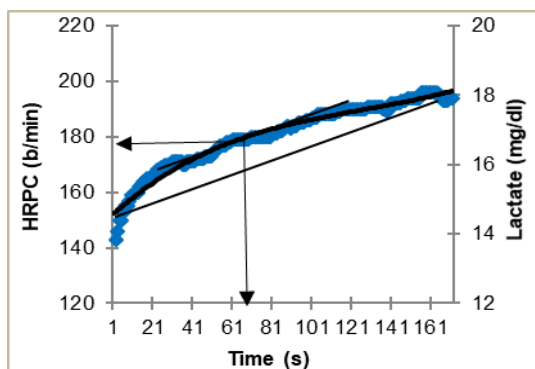
نمودار ۸. برآورد اکسیژن مصرفی و تعیین آستانه بی هوازی



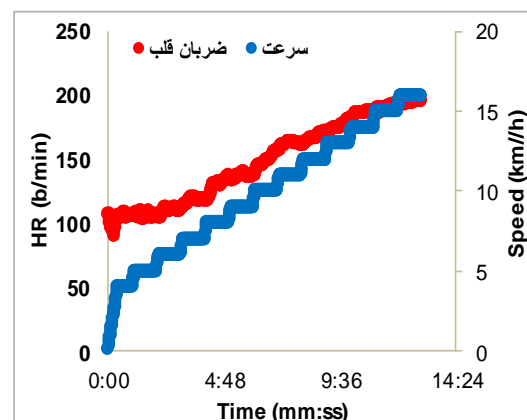
نمودار ۵. برآورد تعیین سرعت (کیلومتر بر ساعت) گام زنی معادل آستانه هوازی

نتایج نشان داد که با استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب می توان سرعت گام زنی معادل آستانه بی هوازی را تعیین کرد (نمودار ۶).

نتایج نشان داد که با استفاده از سطح لاکتات خون می توان آستانه هوازی را تعیین کرد (نمودار ۹).



نمودار ۹. برآورد سطوح اسید لاکتیک خون و تعیین آستانه هوازی

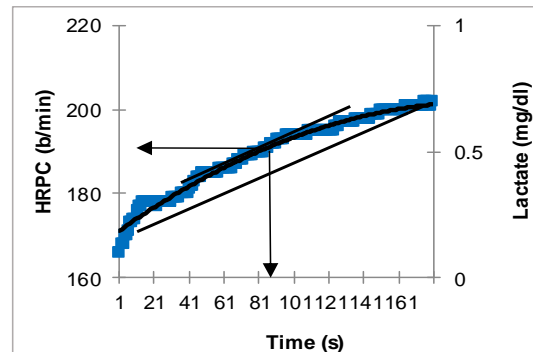


نمودار ۶. برآورد تعیین سرعت (کیلومتر بر ساعت) گام زنی معادل آستانه بی هوازی

زیانبار نیست؛ لاکتات تولیدی متضمن اکسیداسیون NADH است که NAD را برای گلیکولیز بازسازی می‌کند. هنگام فعالیت‌های شدید تولید لاکتات برای تداوم گلیکولیز حیاتی است اگر چه شواهد نشان می‌دهد لاکتات در مواقع کمبود اکسیژن (هیپوکسی) تولید می‌شود؛ ولی تولید لاکتات در حضور اکسیژن کافی نیز رخ می‌دهد. از این رو، لاکتات تولیدی را نباید نشانه فقدان اکسیژن دانست. زمانی که پیروات تولیدی از میزان پیروات ورودی به میتوکندری‌ها فراتر رود؛ پیروات به لاکتات تبدیل می‌شود. لاکتات نامی است که برای اسید لاکتیک فاقد پروتون بکار می‌رود. تولید و انباشت لاکتات در عضله اسکلتی مستقیماً باعث خستگی و درد نمی‌شود. غلظت‌های لاکتات بازتاب غیر مستقیم اسیدوز هستند چراکه تولید لاکتات با رهایش پروتون همراه است. مشکلی که با تولید لاکتات همراه است؛ وجود اسیدوز است؛ نه خود مولکول لاکتات. تمرین هوازی باعث تغییرات در فاکتورهای مرکزی مانند حجم قلب و خون، که منجر به افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی می‌شود. همچنین تعدادی سازگاری‌های محیطی معنی‌داری با این نوع تمرین رخ می‌دهد. این تمرینات موجب تکثیر مویرگ‌ها و افزایش مقدار آنزیم‌های میتوکندریایی، به‌علاوه فعالیت آنزیم‌های لاکتات دی‌هیدروژناز ۱ و ۲ می‌شود. بنابراین، حجم میتوکندریایی و ظرفیت سیستم‌های شاتل برای NADH افزایش می‌یابد. این تغییرات باعث تغییرات محسوس در متابولیسم عضلانی می‌شود. تأثیرات کلی منجر به بهبود اکسیداتیو لیسیدها و صرفه جویی در گلیکوزن می‌شود، و همچنین باعث کاهش تولید لاکتات در یک بار کار معین می‌شود. به طور کلی این تأثیرات مثبت تمرینات هوازی، به اهمیت آستانه هوازی اشاره دارد و طبق مطالعات انجام گرفته، حداقل شدت و مدت تمرین با اثر گذاری بر ظرفیت هوازی، باید در آستانه‌ی هوازی انجام شود (۲۵).

علاوه بر این، نتایج تعیین دامنه مؤثر تمرینی را که سیستم قلبی عروقی در آن دخالت مستقیم دارد با استفاده از منحنی ضربان قلب تعیین کرد (۱۹، ۲۶). مطالعات علمی نشان می‌دهند که شدت مطلوب تمرینی دارای دامنه خاصی می‌باشد و به عبارت دیگر برای اثر گذاری تمرینات ورزشی بر سیستم قلبی

نتایج نشان داد که با استفاده از سطوح لاکتات خون می‌توان آستانه بی‌هوازی را تعیین کرد (نمودار ۱۰).



نمودار ۱۰. برآورد سطوح اسید لاکتیک خون و تعیین آستانه بی‌هوازی

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، برای تعیین آستانه هوازی و بی‌هوازی تمامی آزمودنی‌ها در پروتکل مورد استفاده از منحنی عملکرد ضربان قلب و بهره‌گیری از روش Dmax مبتنی بر مدل ریاضی شیب خط موازی استفاده شد و مشخص شد که همگرایی متوسطی بین دو روش وجود دارد. به همین ترتیب، همبستگی معنی‌دار و متوسط مشاهده شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف معنی‌داری بین دو مدل وجود نداشت.

برای برآورد آستانه هوازی به ۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب یا ۵۵ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی و با حداقل مدت تمرین ۲۰ دقیقه نیاز داریم تا میزان لاکتات خون هم در یک فعالیت فزاینده تقریباً تا دو میلی‌مول بر لیتر افزایش یابد و همچنین میزان  $VE/VO_2$  به طور نامتناسب افزایش می‌یابد که تحت عنوان آستانه هوازی یا LTP1 تعریف می‌شود. حد پایه‌ای از تولید لاکتات در عضله وجود دارد که باعث می‌شود میزان غلظت استراحتی لاکتات عضله به یک میلی‌مول برسد. همه فعالیت‌های سرعتی که بین ۱ تا ۲ دقیقه به طول می‌انجامد، نیاز زیادی به سیستم گلیکولیز دارند و سطح اسید لاکتیک عضله می‌تواند از ۱ تا ۲۵ میلی‌مول در هر کیلوگرم عضله برسد. افزایش تولید لاکتات با کاهش PH سلولی همراه است (۹، ۲۴). تولید لاکتات هنگام فعالیت ورزشی الزاماً برای متابولیسم عضله

برآورد آستانه هوازی استفاده کرد. علاوه بر این باید به نکته مهم توجه ویژه داشت که باید جانب احتیاط را در استفاده از این مدل نگه داشته و به عوامل موثر بر ایجاد پاسخ‌های قلبی-تنفسی از جمله روش محاسبه نقطه شکست ضربان قلب، داده‌های مربوط به ضربان قلب، نقش سیستم اعصاب سمپاتیک و پاراسمپاتیک توجه داشت. بنابراین با استفاده از مدل منحنی عملکرد ضربان قلب می‌توان دامنه دامنه اثرگذاری تمرین را تعیین و به عنوان روشی جدید در ارائه برنامه‌های تمرینی مورد استفاده قرار داد.

### تشکر و قدردانی

از کلیه آزمودنی‌های شرکت کننده در این تحقیق تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

### References

1. Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: effects on  $\dot{V}O_2\max$ , the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *Journal of science and medicine in sport*. 2007 Feb 1;10(1):27-35.
2. Mujika I. The influence of training characteristics and tapering on the adaptation in highly trained individuals: a review. *International journal of sports medicine*. 1998 Oct;19(07):439-46.
3. Moosavi J, editor The effect of sport on stress of the personnel of the Azad Universities of district 3 of the country. 2nd International Congress on Physical Activity and Public Health Amsterdam The Netherlands ICPAPH; 2008.
4. Deruelle F, Nourry C, Mucci P, Bart F, Grosbois JM, Lensel G, Fabre C. Optimal exercise intensity in trained elderly men and women. *International journal of sports medicine*. 2007 Jul;28(07):612-6.
5. Ahmadi S, Masse-Biron J, Adam B, Choquet D, Freville M, Libert JP, Prefaut C. Effects of interval training at the ventilatory threshold on clinical and cardiorespiratory responses in elderly humans. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1998 Jun;78(2):170-6.
6. Weston SB, Gray AB, Schneider DA, Gass GC. Effect of ramp slope on ventilation thresholds and  $\dot{V}O_2\text{peak}$  in male cyclists. *International journal of sports medicine*. 2002 Jan;23(01):22-7.
7. ÖZÇELİK O, Keleştimur H. Effects of aerobic exercise training on the heart rate-work rate relationship and estimation of anaerobic threshold

عروقی بدن، دامنه‌ای از شدت تعریف شده است که این دامنه از آستانه اول (آستانه هوازی) تا آستانه دوم (آستانه بی‌هوازی) تعریف شده است (۵). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از اندازه گیری اکسیژن مصرفی و لاکتات خون می‌توان آستانه هوازی و بی‌هوازی را تعیین کرد. به طوری که مطالعات نشان داده اند که دو آستانه تهویه‌ای یا آستانه لاکتات (LTs) در طول تمرین تا واماندگی رخ می‌دهد. بنابراین این دلایل، یافته‌های این پژوهش را نیز توجیه می‌کند که چرا تعیین دامنه موثر تمرینی یکی از فاکتورهای مهم برای تمرینات ورزشی به شمار می‌آید.

### نتیجه گیری

یافته‌های ما نشان داد که تغییرات ایجاد شده در پاسخ‌های قلبی عروقی می‌توان نظر می‌رسد بتوان از منحنی عملکرد ضربان قلب در محدوده آغاز پروتکل تا نقطه شکست ضربان قلب برای obese females. *Turkish Journal of Medical Sciences*. 2006 Jul 11;36(3):165-70.

8. 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 Jun 1;24(6):1546-52.
9. Bodner ME, Rhodes EC. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Medicine*. 2000 Jul;30(1):31-46.
10. Rogers RK, Reybrouck T, Weymans M, Dumoulin M, Gewillig M, Vaccaro P. The relationship between heart rate deflection and ventilatory threshold in children following heart surgery. *Pediatric Exercise Science*. 1995 Aug 1;7(3):263-9.
11. Smith P, Berger N. Lab and field  $\dot{V}O_2\text{peak}$  testing in highly trained cyclists. *The Journal of Sport and Exercise Science*. 2020 Jan 24;4(1):1-0.
12. Swain DP, Franklin BA.  $\dot{V}O_2$  reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Medicine and science in sports and exercise*. 2002;34(1).
13. Gormley SE, Swain DP, High RE, Spina RJ, Dowling EA, Kotipalli US, Gandrakota RA. Effect of intensity of aerobic training on  $\dot{V}O_2\max$ . *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2008 Jul 1;40(7):1336-43.
14. Papadimitriou ID, Eynon N, Yan X, Munson F, Jacques M, Kuang J, Voisin S, North KN, Bishop DJ. A "human knockout" model to investigate the influence of the  $\alpha$ -actinin-3 protein on exercise-induced mitochondrial adaptations. *Scientific reports*. 2019 Sep 3;9(1):1-4.



15. Pollock ML, Gaesser G, Butcher JD, Després JP, Dishman RK, Franklin BA, Garber CE. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*. 1998;30(6):975-91.
16. Carvalho DD, Soares S, Zacca R, Sousa J, Marinho DA, Silva AJ, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Anaerobic threshold biophysical characterisation of the four swimming techniques. *International journal of sports medicine*. 2020 May;41(05):318-27.
17. Weatherald J, Boucly A, Montani D, Jaïs X, Savale L, Humbert M, Sitbon O, Garcia G, Laveneziana P. Gas exchange and ventilatory efficiency during exercise in pulmonary vascular diseases. *Archives de bronconeumologia*. 2020 Sep 1;56(9):578-85.
18. Binder RK, Wonisch M, Corra U, Cohen-Solal A, Vanhees L, Saner H, Schmid JP. Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2008 Dec 1;15(6):726-34.
19. Seiler KS, Kjerland GØ. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution?. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2006 Feb;16(1):49-56.
20. Vučetić V, Šentija D, Sporiš G, Trajković N, Milanović Z. Comparison of ventilation threshold and heart rate deflection point in fast and standard treadmill test protocols. *Acta Clinica Croatica*. 2014 Jul 1;53(2.):190-202.
21. Siahkoughian M, Meamarbashi A. Advanced methodological approach in determination of the heart rate deflection point: S. Dmax versus L. Dmax methods. *J Sports Med Phys Fitness*. 2013 Feb 1;53:27-33.
22. Siahkoughian M, Mamashli E, Behbudi Z, Imani A. A New Mathematical Method for the Estimation of Aerobic Threshold in Sports Physiology. *Journal of Advanced Sport Technology*. 2018 Jul 1;2(2):28-34.
23. Duncker DJ, Bache RJ. Regulation of coronary blood flow during exercise. *Physiological reviews*. 2008 Jul;88(3):1009-86.
24. Nielsen JJ, Mohr M, Klarskov C, Kristensen M, Krstrup P, Juel C, Bangsbo J. Effects of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle. *The Journal of physiology*. 2004 Feb 1;554(3):857-70.
25. Bangsbo J, Mohr M, Poulsen A, Perez-Gomez J, Krstrup P. Training and testing the elite athlete. *J Exerc Sci Fit*. 2006;4(1):1-4.
26. Skinner JS, Mclellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research quarterly for exercise and sport*. 1980 Mar 1;51(1):234-48.

## Original Article

# Determining the range of exercise effect based on heart rate performance curve in active young men

Received: 24/09/2020 - Accepted: 27/02/2021

Marefat Siahkoughian<sup>1\*</sup>  
Afshin Rahbarghazi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Education and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>2</sup>Ph.D. Student of Exercise Physiology, Faculty of Education and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Email:  
afshinrahbar89@gmail.com

### Abstract

**Introduction:** The cardiovascular system is one of the most important parts of exercise design, and the range of effect of exercise can range from the aerobic threshold to the anaerobic threshold. Therefore, this study aimed to determine the effectiveness of exercise based on the heart rate function curve in active young men.

**Material and Methods:** For this purpose, 20 young and active boys with an average age of 20 to 25 years were selected as subjects and performed the helpless test of running on a treadmill. Heart rate and blood lactic acid level equivalent to aerobic and anaerobic thresholds were determined using the Dmax method and lactate measuring device, respectively. Simultaneously with the use of a respiratory gas analysis system, changes in the volume of oxygen consumption and carbon dioxide production were measured. In this study, to analyze the data, descriptive statistical methods such as categorizing information and converting them into frequency tables, adjusting the frequency and average percentage and standard deviation of variables were used. Integration operations were also used to calculate the area under the curve.

**Results:** The results showed that to determine the aerobic and anaerobic threshold, the method based on the maximum distance from the heart rate function curve as well as the level of oxygen consumption and blood lactate can be used. The heart rate function curve is also effective in determining the effective range of exercise, the area under the curve, and the step speed equivalent to the aerobic and anaerobic thresholds.

**Conclusion:** Therefore, it can be concluded that using the heart rate function curve model, the range of effectiveness of exercise can be determined and used as a new method in presenting exercise programs.

**Keywords:** Anaerobic Threshold, Aerobic Threshold, Oxygen Consumption, Lactate, Heart Rate