مجله دانشکده علوم پزشکی نیشابور
www.journalnums.ac.ir

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

ابعاد روش‌شناسی نقطه شکست ضربان قلب (HRDP) (مروری)

معرفت سیاه کوهیان* و رقیه قلیزاده

دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، اردبیل، ایران.

مقاله مروری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵

***نویسنده مسئول:** معرفت سیاه‌کوهیان
گروه علوم ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
تلفن: ۰۹۱۴۴۵۱۱۴۳۵
پست الکترونیک:
m_siahkohian@uma.ac.ir

چکیده

مقدمه

نقطه شکست ضربان قلب (HRDP) نقطه‌ی انحراف ضربان قلب از خط مستقیم در بررسی ارتباط بین کار و زمان تعریف می‌شود که به‌عنوان ملاکی برای برنامه‌ریزی شدت تمرین مورداستفاده قرار می‌گیرد. هدف پژوهش حاضر مرور ابعاد روش‌شناسی HRDP و روش‌های نوین تعیین آن می‌باشد. درمطالعه حاضر، ابعاد روش‌شناسی HRDP در دو حیطه مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مرتبط با HRDP و روش‌های تعیین HRDP مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان داد که در بخش مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مرتبط با HRDP اثر عضله قلبی، اثرات کاتاکلومین‌ها و سیستم عصبی، نقش پتاسیم و اثر اسیدلاکتیک به‌عنوان مکانیسم‌های احتمالی درگیر در HRDP در نظر گرفته شدند. در بخش روش‌های تعیین HRDP نیز تعیین ضربان قلب پایه، روش‌های محاسبه و اندازه‌گیری HRDP و همچنین، پروتکل‌های تمرینی مهم‌ترین ابعاد روش‌شناسی در سنجش این نقطه بود. پژوهش حاضر با بررسی یافته‌های پژوهش‌های پیشین، به یک جمع‌بندی مناسب و یکپارچه در رابطه با مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مرتبط با HRDP و ابعاد روش‌شناسی HRDP دست یافت. نتایج حاکی از آن است که اختلاف‌نظر در مورد قابلیت HRDP برای تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی به روش‌شناسی سنجش HRDP مربوط می‌شود. درواقع، روش‌شناسی سنجش HRDP ، تعریف و تبیین آستانه‌ی بی‌هوازی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ازاین‌رو مطالعات پیرامون آن ادامه دارد.

کلیدواژه‌ها

ضربان قلب (HRDP)، پروتکل تمرینی، آستانه بی‌هوازی.

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

مقدمه

تعیین شدت تمرین به‌عنوان یکی از عوامل اساسی در تجویز برنامه تمرینی در افراد غیرحرفه‌ای جهت دستیابی به اهداف مربوط به‌سلامتی، در ورزشکاران برای رسیدن به اهداف ورزشی و همچنین در افراد بیمار به جهت بازپروری و باز توانی قلبی-عروقی دارای اهمیت می‌باشد. منابع علمی از آستانه بی‌هوازی به‌عنوان شاخص کاربردی ویژه برای تجویز شدت بهینه و منحصربه‌فرد برای دستیابی به اهداف مختلف تمرینی در افزایش استقامت قلبی- عروقی حمایت کرده و آن را جایگزین مناسب و معتبری برای روش‌های سنتی همانند درصد ضربان قلب و یا بیشینه اکسیژن مصرفی عنوان کرده‌اند (۱-۴). آستانه بی‌هوازی نقطه انتقال از متابولیسم هوازی به بی‌هوازی در طول فعالیت ورزشی است که به‌عنوان عامل تشخیص آمادگی هوازی و ایجاد سطح مناسبی از شدت تمرین استفاده می‌شود (۵). بنابراین محققان همواره در تلاش بوده‌اند تا شاخص‌های فیزیولوژیک معادل با آستانه بی‌هوازی که به‌طور هم‌زمان با آن ایجادشده و به‌طور غیرتهاجمی قابل‌اندازه‌گیری هستند، شناسایی و ارزیابی نمایند. ازاین‌رو روش‌های مختلفی ازجمله روش سنجش مستقیم میزان لاکتات خون و روش آستانه‌ی تهویه برای تعیین آستانه بی‌هوازی از سال‌های پیش مورداستفاده واقع‌شده است. نظر به این‌که روش سنجش مستقیم میزان لاکتات خون و روش آستانه تهویه، عموماً برای تعیین آستانه بی‌هوازی، روش‌های پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد؛ لذا، روش‌های جایگزین موردتوجه پژوهشگران قرارگرفته است. ازآنجایی‌که ضربان قلب جزء جدایی‌ناپذیر در تعیین آستانه بی‌هوازی است، لذا امروزه روش‌های عینی ارزیابی و سنجش ضربان قلب به‌طور مداوم در حال گسترش می‌باشد؛ چراکه ضربان قلب شاخص فیزیولوژیکی مهم در محدودسازی تمرینات و عملکرد ورزشی است. در این راستا برای اولین بار در سال ۱۹۸۲ کانکانی و همکارانش (۶) یک آزمون غیرتهاجمی و غیرمستقیم را برای تعیین آستانه بی‌هوازی معرفی نمودند که اساس این آزمون بر پایه تجزیه‌وتحلیل ارتباط بین سرعت دویدن و داده‌های ضربان قلب بود. این آزمون چندین سال بعد توسط همین گروه تحقیقاتی مورد بازبینی مجدد قرار گرفت (۷). اساساً در ارتباط با این آزمون می‌توان بیان نمود که به‌طورکلی، به هنگام انجام یک فعالیت یا یک کار معین که به‌تدریج بار آن افزایش پیدا می‌کند، ضربان قلب نیز هم‌زمان با افزایش بارکار افزایش می‌یابد. درشدت‌های بیشینه که تهویه بدن پاسخگوی نیازهای متابولیکی نیست، ضربان قلب دیگر افزایش نمی‌یابد و از خط راست منحرف می‌شود که تحت عنوان نقطه‌ی شکست ضربان قلب (HRDP[1]) تعریف می‌شود. HRDP درواقع نقطه‌ی انحراف ضربان قلب از خط مستقیم در بررسی ارتباط بین بارکار و ضربان قلب می‌باشد که در طول بارکار فزاینده اتفاق می‌افتد (۸). درواقع اساس کار کانکانی و همکارانش این‌گونه بود که HRDP را با استفاده از سنجش لاکتات خون سیاهرگی از ده دونده در سه سرعت دویدن بالاتر و سه سرعت دویدن پایین‌تر از سرعت شکست موردسنجش قراردادند. هریک از سرعت‌های دویدن در طول مسافت ۱۲۰۰ متر حفظ می‌شد و بین آن‌ها ۱۵ دقیقه فاصله استراحت وجود داشت. نمونه‌های خون پنج دقیقه بعد از اتمام هر ۱۲۰۰ متر دویدن، جمع‌آوری شد. خطوط مستقیم در قسمت بالاتر و پایین‌تر از سرعت شکست به نقاط مشخص‌شده بر محور مختصات مربوط به لاکتات وصل شدند. تقاطع بین دو خط صاف از میان اولین و دومین مقادیر سه‌تایی لاکتات که به دست آمد به‌عنوان آستانه لاکتات نامیده شد که نشان داد به‌طور معناداری با سرعت دویدن در نقطه شکست یا به‌اصطلاح شکست/ انحنای

[1] Heart Rate Deflection Point

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

سرعت ارتباط دارد (۳). این روش، در اصل بـرای دونـده‌های اسـتقامتی نخبـه طراحـی شـد. امـا بعـداً بـرای دیگـر انـواع ورزش‌ها نیز همچون دوچرخه‌سواری، اسـکی بـین کشـوری، کایاک و بسیاری دیگر از ورزش‌ها توسعه پیـدا کـرد(۹، ۱۰). به‌طورکلی، آزمون HRDP روش ساده و غیرتهـاجمی بـرای برآورد آستانه بی‌هـوازی اسـت و بـه همین‌دلیـل محبوبیـت زیـادی پیـدا کـرده اسـت (۱۱) و در اروپـا بـرای بررسـی برنامه‌های تمـرین و بررسـی ظرفیـت اسـتقامتی رواج پیـدا نمود. از سوی دیگر این آزمون ممکن است به‌عنوان یک ابزار سودمند و غیرتهاجمی ارزان برای باز تـوانی قلبی(جلـوگیری از اضافه‌بار تحمیل‌شده بر روی قلب و برای دادن بار تمرینـی مناسب باز توانی قلبی) در بیماران متابولیـک و غیـره مـورد استفاده قرار گیرد (۱، ۱۲). درعین‌حال باید توجه داشت کـه مفهوم HRDP اندکی پیچیده و بحـث‌برانگیز اسـت. چراکـه، برخی از آزمودنی‌ها پاسخ ضـربان قلبـی روی خـط مسـتقیم داشته (به هنگام افزایش بارکـار) و فاقـد HRDP می‌باشـند. افزون بر این، باید توجه داشت که فاکتورهـای متعـددی بـر روی HRDP مؤثر است. ازجمله، وضعیت بـدنی آزمودنـی‌هـا، شیوه‌ی گرم کردن، استراحت کـافی، مصـرف کـافئین، گـرم کردن و مدت آزمون می‌تواند در رابطه‌ی بین ضربان قلـب و نقطه شکست تأثیرگذار باشد (۱۰، ۱۳). همچنین، مطالعـات پیشـین در ارتبـاط بـا HRDP و همبسـتگی آن بـا آسـتانه بی‌هوازی، دیدگاه‌ها و نظـرات مختلفـی ارائه‌شـده اسـت کـه کاملاً با یکدیگر همخوانی ندارند وهمین‌طـور، مکانیسـم‌های فیزیولوژیکی مسـئولِ HRDP، کـاملاً شناخته‌شـده نیسـتند (۱).بر همـین اسـاس در پـژوهش حاضـر مـروری بـر ابعـاد روش‌شناسی HRDP و عوامل مـرتبط بـا آن پرداختـه شـده است.

جدول ۱- تقسیم‌بندی و بررسی مقالات مورداستفاده

زمینه مورد بررسی	ابعاد بررسی شده	مطالعه	نتیجه مطالعه
مکانیزم فیزیولوژی وقوع HRDP	اثرعضله قلبی	ایگناتویچ و همکاران (۲۰۰۸) روکاکاستا و همکاران(۲۰۱۹)	ارتباط بین عملکرد میوکارد با تغییرات پاسخ HR به طور کامل تبیین نشده و سوالات مطرح شده راجع به آن هنوز بی پاسخ مانده است HRDPنتیجه عملکرد میوکاردقلب است.
	اثرضخامت دیواره قلب بر HRDP	پوکان و همکاران(۱۹۹۸)	شکست ضربان قلب می تواند نتیجه ی دیاستول مطلوب و عملکرد سیستولیک مطلوب در جریان ورزش با شدت بالا باشد
	اثر اسیدلاکتیک برHRDP	کانکانی و همکاران (۱۹۸۵)	ارتباط قطعی بین اسیدلاکتیک در بار تمرینی بالا و شکست در ضربان قلب نیست
	اثر پتاسیم	لوسیا و همکاران(۲۰۰۲)	هایپرکالمیا، متابولیک اسیدوز و افزایش سطح کاتاکلومین ها در جریان ورزش شدید باید نقش تعاملی داشته باشند تا بتوانند از اثرات مخرب همدیگر جلوگیر ی کرده و منجر به حفظ عملکرد عضله قلب در جریان ورزش شود
	اثر کاتکلومین‌ها و سیستم عصبی	بالرین و همکاران (۱۹۹۱)	به نظر می رسد کاتکولامین های پلاسمایی مستقل از HRDP باشد

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

	زمینه مورد بررسی	ابعاد بررسی شده	مطالعه	نتیجه مطالعه
روش های تعیین HRDP	تعیین ضربان قلب پایه	تعیین ضربان قلب پایه روش بلک برن و ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه	چنگ و همکاران(۱۹۹۲) سیاه کوهیان وهمکاران (۱۳۸۵)	روش هایی فاقد اعتبار برای تعیین آستانه بی هوازی می باشند
		مدل ناریتا	ناریتا و همکاران(۱۹۹۹) سیاه‌کوهیان و همکاران (۲۰۱۳)	این روش معادله ضربان قلب آستانه بی هوازی را خیلی پایین تر از حد واقعی(سنجش لاکتات) نشان می دهد.
		DMAX	چنگ و همکاران (۱۹۹۲) کارا و همکاران (۱۹۹۹)	در بین روش های مختلف تعیین آستانه بی هوازی روش DMAX دقیق ترین روش بوده و بالاترین مقدار همبستگی را با روش تهاجمی اندازه گیری لاکتات دارد.
	محاسبه و اندازه گیریHRDP	مدل های ریاضی: ۱.رگرسیون درجه سه ۲.عملیات لجستیکی	بودنر و همکاران(۲۰۰۰) بیکروهمکاران (۲۰۱۷)	HRDP را به صورت دقیق تر و عینی تر در اختیار قرار می دهند روش عینی و کاربردی است ودرمقایسه با بصری از دقت عمل بالاتری برخوردار است
		رگرسیون کامپیوتری	پوکانو همکاران (۱۹۹۹)	حساس ترین و دقیق ترین روش سنجش HRPC برای تعیین HRDP روش های تجزیه و تحلیل رگرسیون کامپیوتری می باشد
		PSLS	سیاه کوهیان و همکاران (۲۰۰۷)	ماهیت این روش امکان محاسبه انحنای به سمت بالا یا پایین منحنی HRPC رافراهم می آورد و به هیچ فرمولی برای محاسبه نیاز ندارد و جایگزین مناسبی برای سایر روش های ریاضی می باشد.
	پروتکل‌های تمرینی	آزمون های میدانی	کانکانی و همکاران (۱۹۸۷)	در برخی موارد وقوع HRDP وجود نداشته است و یا به هنگام وقوع، دامنه نوسان آن بالا بوده است
		آزمون های آزمایشگاهی: آزمون های آزمایشگاهی وابسته به زمان آزمون های آزمایشگاهی وابسته به مسافت آزمون های آزمایشگاهی وابسته به فرد	پروبست و همکاران (۱۹۸۹)	زمانی که پروتکل تمرینی بر اساس زمان طی شده مرحله بندی و فاز بندی بشود و بر اساس آن بار کار افزایش یابد، HRDP با احتمال بیشتری رخ می دهد.زمانی که پروتکل تمرینی مورد استفاده در مراحل کاری با مدت زمان ثابت اجرا شود، HRDP به ندرت مشاهده می شود.
		پروتکل وابسته به فرد	سیاهکوهیان و همکاران (۲۰۱۳)و(۲۰۱۹)	در واقع به نظر می رسد، نقطه شروع پروتکل های فزاینده HRDP باید بر اساس سطوح فیزیولوژیکی و آمادگی جسمانی آزمودنی تنظیم شود بااستفاده از Dmax اصلاح شده روش مناسبی در محاسبه HRDP می‌باشد

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

بحث و نتیجه‌گیری

پس از بررسی مقالات منتخب، ابعاد روش‌شناسی HRDP در دو حیطه مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مرتبط با HRDP و روش‌های تعیین HRDP مورد بررسی قرار گرفت. مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مرتبط با پدیده HRDP به‌طور کامل شناخته نشده است. بااین‌حال اثر عضله قلبی، اثرات کاتاکلومین‌ها و سیستم عصبی، نقش پتاسیم و اثر اسیدلاکتیک به‌عنوان مکانیسم‌های احتمالی درگیر مدنظر قرارگرفته است. در مطالعات از اثر عضله قلبی یا عضله میوکارد به‌عنوان کسر خروجی بطن چپ[۱](LVEF) یادشده است. افزایش در LVEF به‌طور قابل‌توجهی با HRDP و LTP2[۲] ارتباط معناداری دارد. اما ارتباط بین عملکرد میوکارد با تغییرات پاسخ ضربان قلب به‌طور کامل تبیین نشده و سؤالات مطرح‌شده پیرامون آن هنوز بی‌پاسخ مانده است (۱۰). تفاوت در LVEF می‌تواند از تفاوت‌های سنی نشأت بگیرد. هافمن و همکارانش[۳](۱۹۹۶) طبق تحقیقی به مقایسه LVEF مردان سالمند (۱۰±۵۰ساله) و مردان جوان (۲±۲۳ساله) پرداختند. مردان سالمند، LVEF پایینی را نسبت به افراد جوان نشان دادند. در مقابل افزایش چشمگیر در حجم پایان دیاستولی نسبت به LT[۴] مشاهده شد. مردان جوان HRDP طبیعی و مردان سالمند HRDP معکوس نشان دادند. همچنین در هر دو گروه افزایش برون‌ده قلبی مشاهده شد. درنتیجه مکانیسم جبران‌کننده افت عملکرد میوکارد وابسته به سن با افزایش ضربان قلب صورت می‌گیرد. هافمن و همکارانش طبق مطالعات خود نشان دادند در افرادی که فاقد HRDP هستند، کاهش LVEF در LVEFBP (نقطه شکست در کسر خروجی بطن چپ[۵]) مشهودتر است. افزایش سهم گلیکولتیک در HRDP وابسته به عملکرد میوکاردی می‌تواند علت همبستگی بالای توان HR در LTP2 باشد. کاهش در عملکرد میوکاردی در اثر فعالیت ورزشی بالاتر از آستانه بی‌هوازی به علت افت VO2 می‌باشد. درنتیجه مسیر گلیکولتیک برای پاسخ‌گویی به نیازهای انرژی در اثر افزایش توان حاصله شدیداً فعال می‌شود. به‌طورکلی می‌توان گفت در آزمودنی‌هایی که دارای HRDP هستند کسر خروجی بطن چپ بیشتری مشاهده می‌شود. اما در افراد بدون HRDP پاسخ خطی با افزایش در HR، مکانیسم جبران‌کننده مقدار کم LVEF است. در مطالعه‌ای دیگر نیز روکاکاستا و همکاران(۲۰۱۹)[۶] که به بررسی وقوع پدیده HRDP در بیماران مبتلا به اختلالات چربی پرداخته بود، براساس نتایج بدست آمده در بخش علت‌شناسی وقوع این پدیده، عملکرد میوکارد قلبی را مهمترین عامل عنوان کردند و اثر عوامل محیطی دیگر همچون وقایع متابولیکی و عملکرد میتوکندریایی را دلیل بر وقوع این پدیده ندانستند (۱۴).

سازگاری سیستم قلبی-عروقی به ورزش فزاینده می‌تواند به‌راحتی به‌وسیله ارزیابی کینیتیک ضربان قلب ارزیابی شود. لوسیا و همکاران[۷] در تحقیقی بر روی ۲۱ دوچرخه‌سوار حرفه‌ای، ابعاد قلبی آزمودنی‌ها را در حالت استراحت ارزیابی و ارتباط آن با HRDP را بررسی کردند. به نظر می‌رسد که احتمال وقوع HRDP در جریان ورزش فزاینده در آزمودنی‌هایی که دیواره‌ی عضله‌ی قلبی بزرگ‌تری دارند بیشتر دیده شود، و ارتباط زیادی با ابعاد داخلی و حجم قلب ندارد (۱۵). علاوه بر آن پوکان و همکاران[۸] دریافتند آزمودنی‌هایی که در پاسخ به ورزش فزاینده HRDP نشان دادند، آزمودنی‌های استقامتی تمرین کرده با ابعاد قلبی بزرگ‌تر هستند که ابعاد قلبی آن‌ها در حالت استراحت اندازه‌گیری شده است، بنابراین شکست ضربان قلب می‌تواند نتیجه‌ی دیاستول مطلوب و عملکرد سیستولیک مطلوب در جریان ورزش با شدت بالا باشد (۱۶).

از مهم‌ترین عوامل دخیل در وقوع HRDP می‌توان به تجمع اسیدلاکتیک اشاره نمود. کانکانی و همکاران گزارش کردند

---

۱ Left ventricular ejection fraction
۲ the second lactate turning point
۳ Hofmann et al
۴ lactate threshold
۵ break point in LVEF
۶ Rocha Costa et al
۷ Lucía et al
۸ Pokan et al

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

وقوع HRDP به‌وسیله‌ی فعال‌سازی مکانیسم‌های بی‌هوازی اسیدلاکتیک اتفاق می‌افتد و می‌تواند آزادسازی اکسیژن از هموگلوبین را موجب شود (اثر بور) و بنابراین کارایی گردش خون قلب را بهبود بخشیده و افزایش در ضربان قلب را تقلیل دهد. ولی باید در نظر داشت که اسیدوز ناشی از ورزش موجب اسیدی شدن سلولی و اختلال در رها شدن کلسیم از شبکه سارکوپلاسمی شده و قدرت انقباض قلب را کاهش می‌دهد. بنابراین نمی‌توان به‌طورقطع یک ارتباط سببی را بین اسیدلاکتیک در بارتمرینی بالا و شکست در ضربان قلب دانست (۶).

در ارتباط با اثر پتاسیم، فرضیه‌ای مبنی بر اینکه رها شدن پتاسیم ممکن است در عملکرد میوکارد تأثیر بگذارد، وجود دارد (۱۷). هافمن و همکاران که از پروتکل ورزشی پیش‌رونده برای تعیین HRDP در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای استفاده می‌کرد نشان داد که درجه شکست در منحنی ضربان قلب – بارکار بعد از HRDP با افزایش پتاسیم ناشی از ورزش مرتبط است. بعد از هافمن نیز لوسیا و همکاران (۲۰۰۲) طی اجرای یک پروتکل پیش‌رونده بر روی دوچرخه کار سنج به‌منظور بررسی مکانیسم‌های احتمالی هایپرکالمیا بر وقوع HRDP به این نتیجه رسیدند که افزایش پتاسیم درون‌سلولی ناشی از ورزش یکی از مکانیسم‌های وقوع HRDP می‌باشد بااین‌حال گزارش کردند که هایپرکالمیا (افزایش پتاسیم)، متابولیک اسیدوز و افزایش سطح کاتاکلومین‌ها در جریان ورزش شدید باید نقش تعاملی داشته باشند تا بتوانند از اثرات مخرب همدیگر جلوگیری کرده و منجر به حفظ عملکرد عضله قلب در جریان ورزش شود (۱۸). هافمن و همکاران بر این باورند که تغییرات در سطح پتاسیم خون بین LTP2 و توان خروجی حداکثر، اشاره به این دارد که احتمالاً پتاسیم در پاسخ ضربان قلب فرد در طول تمرین فزاینده مؤثر است. اما این نظریه هنوز تفاوت در پاسخ تقلیل یافته زیر LTP2 در افراد با پاسخ‌های ضربان قلب غیرعادی را شرح نمی‌دهد. در حال حاضر فرضیه اصلی این است که حساسیت یا تعداد بیت-۱- آدرنوسپتور دلیل اصلی تفاوت در پاسخ ضربان قلب در طول تمرین فزاینده است (۱۹).

تصور این نکته منطقی به نظر می‌رسد که کاتکولامین‌ها ممکن است ازجمله مکانیسم‌های درگیر در انحراف HR باشد زیرا کاتکولامین‌ها به هنگام تمرین و فعالیت موجب تاکی کاردیا (بالا رفتن ضربان قلب) می‌شود (۲۰). باوجوداین سطح آدرنالین و نورآدرنالین پلاسمایی که به هنگام فعالیت ۲۱ آزمودنی روی دوچرخه ارگومتر با HRDP طبیعی و معکوس به‌طور هم‌زمان مورد مطالعه قرارگرفته است، ارتباط معناداری را نشان نداده است و به نظر می‌رسد کاتکولامین‌های پلاسمایی مستقل از HRDP باشد. هافمن و همکاران تغییر اندکی در انحراف منحنی ضربان قلب (HRPC) در افرادی که تحت تأثیر عوامل متوقف کننده پاراسمپاتیکی قرار داشتند مشاهده کردند بنابر نتیجه این محققان بعید به نظر می‌رسد که تنظیم پاراسمپاتیکی، توضیح و تفسیر قابل استنادی برای HRDP باشد. درواقع تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که تمرینات با شدت معادل ۵۰ تا ۶۰ درصد VO_{2MAX} اثرات واگال بر HR را از بین می‌برد (۲۱). پس از این شدت تمرینی (شدت‌های بالاتر) شتاب گرفتن عمل قلب به‌طور کامل توسط سیستم سمپاتیکی کنترل می‌شود. بااین‌وجود یافته‌های پوکان و همکاران (۱۹۸۸) نشان داده است که حتی سیستم پاراسمپاتیکی نیز روی نمودار عملکرد ضربان قلب HRPC[۱] و درنتیجه HRDP اثرگذار است. در تحقیق یاد شده، ۲۰ نفر آزمودنی که تحت تأثیر عوامل بلوکه کننده‌ی پاراسمپاتیکی قرار داشتند مقادیر عامل ضریب ضربان قلب (K_{HR}) پایین‌تری را در مقایسه با افرادی که از شبه دارو استفاده می‌کردند از خود نشان دادند. اثرات عوامل بلوکه کننده‌ی پاراسمپاتیکی در افرادی که به‌طور طبیعی دارای HRDP بوده HRPC خطی از خود نشان می‌دهند و در افرادی که به‌طور طبیعی HRDP معکوس از خود نشان می‌دهند HRPC انحراف شدید به سمت بالا پیدا می‌کند (۱).

۱ heart rate performance curve

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

برای تعیین ضربان قلب پایه HRDP روش‌های مختلفی وجود دارد (۲۲). ازجمله این روش‌ها می‌توان به روش بلک بورن و روش ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه اشاره نمود. روش بلک بورن (۰/۷× (سن – ۲۲۰)) و روش ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه (۰/۹×(سن – ۲۲۰)) در پژوهش‌ها برای برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی استفاده شده است. بر اساس پژوهش‌های به‌عمل‌آمده معادله بلک بورن و روش ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه روش‌هایی فاقد اعتبار برای تعیین آستانه بی‌هوازی می‌باشند؛ چراکه سیاه کوهیان و همکاران (۱۳۸۵) به این نتیجه رسیدند که معادله بلک بورن فرمول کلی بوده و تنها به سن فرد و عدد ۲۲۰ وابسته است، از طرف دیگر با توجه به اینکه آستانه بی‌هوازی به‌طور عمده به جنس، سطح آگاهی بدنی، میزان فعالیت فرد در طول شبانه‌روز، وضعیت تندرستی و سلامتی و ... بستگی دارد را در نظر نمی‌گیرد. در ارتباط با روش ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه، نتایج مطالعات آن‌ها نشان داده که این روش با روش مبنا (روش تهاجمی اندازه‌گیری لاکتات) در مقایسه با یکدیگر از دقت عمل و اعتبار بالایی برخوردار نمی‌باشد (۲۳). کانکانی و همکارانش[1] آزمون میدانی را برای دوندگان جهت برطرف کردن مشکلات موجود درروش‌های پیشین ارائه داده بودند (۲۴، ۲۵). بااین‌حال باید توجه داشت که تعیین آستانه بی‌هوازی در همه افراد و آزمودنی‌ها با استفاده ازاین‌روش امکان‌پذیر نیست (۲۴، ۲۶، ۲۷). ناریتا و همکارانش[2](۱۹۹۹) معادله‌ای را ارائه کردند که بر اساس آن آستانه‌ی بی‌هوازی برآورد می‌شود. آن‌ها این معادله را باهدف تعیین شدت فعالیت ورزشی با استفاده از ضربان قلب، ارائه کردند و آستانه بی‌هوازی را به‌عنوان سطح موردنظر برای فعالیت‌های ورزشی مورد توجه قرار دادند. به همین منظور به بررسی ۴۰۵ آزمودنی (۲۲۱ مرد و ۱۸۴ زن با میانگین ± انحراف معیار سنی ۱۲/۳±۴۸/۹ سال) پرداختند. لذا، با توجه به رابطه‌ی موجود بین ضربان قلب در آستانه بی‌هوازی با ضربان قلب استراحت، سن و جنس و با استفاده از رگرسیون چند متغیره، معادله‌ی زیر را برای برآورد ضربان قلب هدف (ضربان قلب آستانه‌ی بی‌هوازی) ارائه کردند (۲۸):

(مرد=صفر ، زن=۱)جنس×۷/۳+(سن)۰/۳۷_ (ضربان قلب استراحت)۰/۷۶+ ۷۴/۸ =ضربان قلب هدف

سیاه کوهیان و همکاران (۱۳۸۳) با بررسی مقایسه‌ای روش تهاجمی اندازه‌گیری لاکتات و معادله ناریتا به‌عنوان ضربان قلب هدف به این نتیجه رسیدند که به نظر می‌رسد معادله ناریتا و همکارانش معادله‌ای برای قشر خاصی در منطقه‌ی ویژه‌ای می‌باشد؛ چرا که ضربان قلب تعیین‌شده به‌عنوان ضربان قلب آستانه بی‌هوازی با استفاده از معادله ناریتا در مورد همه آزمودنی‌های تحقیق نشان‌دهنده این بود که این معادله ضربان قلب آستانه بی‌هوازی را خیلی پایین‌تر از حد واقعی (سنجش لاکتات) نشان می‌دهد.

در مطالعه‌ای دیگر این محققان (۲۰۱۳) به بررسی معادله ضربان قلب ناریتا در میان پسران جوان غیرفعال پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود که بر روی ۲۱ پسر با میانگین ± انحراف معیار سنی ۱/۱۶±۱۹/۰۷ انجام شد به بررسی اعتبار معادله ناریتا به‌عنوان روشی مناسب جهت تعیین سطح مناسب تمرینات ورزشی پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده معادله ضربان قلب هدف ناریتا روشی مناسب برای تعیین آستانه هوازی و نه بی‌هوازی است که می‌تواند در مطالعات آینده برای پیش‌بینی آستانه هوازی استفاده شود (۵). آن‌ها معتقد بودند بر اساس مطالعات هافمن (۲۰۱۰) و بیندر[3](۲۰۰۸) اصلاح آستانه بی‌هوازی به‌صورت مترادف برای بیان آستانه اول و دوم بی‌هوازی استفاده می‌شود که بر اساس جنبه‌های روش‌شناختی منجر به سردرگمی اساس فیزیولوژیکی هر آنچه به‌عنوان آستانه بی‌هوازی شناخته می‌شود، می‌گردد و حتی این سردرگمی در ارتباط با تعیین غیرتهاجمی آستانه بی‌هوازی در برابر تغییرات پارامترهای گازهای تنفسی در طول تمرین نیز صدق می‌کند (۳، ۲۹).

۱ Conconi et al
۲ Narita et al
۳ Binder

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

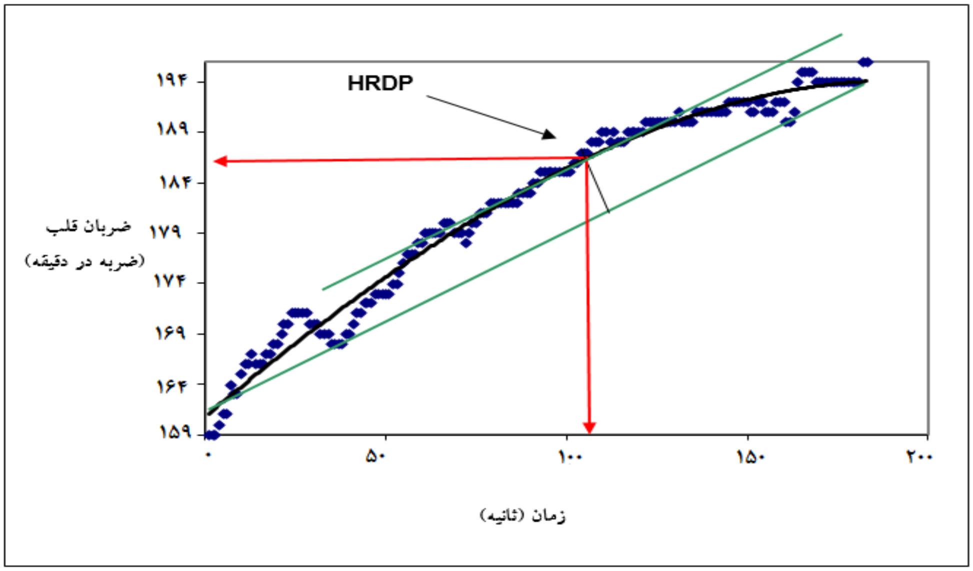
از سوی دیگر آنان بیان نمودند، معادله ضربان قلب هدف ناریتا (آن‌گونه که قبلاً گفته شد) بر اساس سن، جنس و ضربان قلب استراحتی تنظیم‌شده است؛ درحالی‌که با توجه به پیشینه تحقیقات آستانه بی‌هوازی شاخصی چندگانه است که تحت تأثیر متغیرهای داخلی و خارجی زیادی قرار دارد. درواقع، در این معادله به متغیرهای مهم و تأثیرگذار همچون VO_{2MAX}و HRPC و همچنین دیگر متغیرهای احتمالی همچون سطح آمادگی فرد (فعال و غیرفعال) و نوع فعالیت ورزشی در طول پروتکل‌های تمرینی فزاینده توجهی نشده است (۵).چنگ و همکاران[۱](۱۹۹۲)، روش دیگری را برای تعیین آستانه بی‌هوازی و آستانه تهویه ارائه کردند که Dmax نامیده می‌شود (۲۲). درواقع، درروش Dmax شکست ضربان قلب از خط مستقیم ملاک عمل قرار می‌گیرد. در منحنی ضربان قلب- زمان (که بارکار در آن به‌تدریج افزایش می‌یابد) اولین و آخرین نقطه منحنی با استفاده از یک خط راست به همدیگر متصل می‌شود و بیشترین فاصله بین این خط راست و منحنی به‌عنوان HRDP در نظر گرفته می‌شود. کارا و همکاران[۲](۱۹۹۹) در مطالعه‌ای که بر روی ۳۲ مرد بی تمرین (با میانگین ± انحراف معیار سنی ۱/۲±۲۰/۶) انجام شده بود، نشان دادند که در بین روش‌های مختلف تعیین آستانه بی‌هوازی روش Dmax دقیق‌ترین روش بوده و بالاترین مقدار همبستگی را با روش تهاجمی اندازه‌گیری لاکتات دارد. بزرگ‌ترین مزیت Dmax تعیین HRDP یا به عبارتی آستانه بی‌هوازی و تهویه در مورد همه آزمودنی‌ها و افراد می‌باشد (۲۲، ۳۰، ۳۱). کارا و همکاران پیشنهاد کرده‌اند که حداقل ضربان قلب برای تعیین دقیق HRDP ۱۴۰ تا ۱۵۰ باشد. به‌طورکلی در مدل Dmax، درصورتی‌که برای برآورد HRDP از کل داده‌های مربوط به HRPC در طول اجرای آزمون فزاینده استفاده شود، روش مورداستفاده به‌عنوان روش بلند بیشترین فاصله (L. Dmax) تعریف می‌شود. اگر در طول اجرای آزمون فزاینده برای برآورد HRDP از داده‌ای بالاتر از ۱۴۰-۱۵۰ ضربه در دقیقه استفاده شود و در منحنی زمان-ضربان قلب تنها داده‌های بالاتر از ۱۴۰-۱۵۰ ضربه در دقیقه مورداستفاده قرار گیرد، به‌عنوان روش کوتاه بیشترین فاصله (S.DMAX) تعریف می‌شود. در این راستا، سیاه کوهیان و همکاران (۲۰۰۷) به مقایسه همه داده‌های ضربان قلب (L Dmax) و داده‌های بین ۱۴۰ -۱۵۰ ضربه (S Dmax) با روش سنجش لاکتات (خون‌گیری) پرداختند. بر اساس نتایج حاصله، اختلاف معنی‌داری بین Dmax و روش سنجش لاکتات بود. در این تحقیق به‌صورت تجربی نشان داده شد که به هنگام جمع‌آوری همه داده‌های مربوط به ضربان قلب و به‌کارگیری توابع ریاضی تعیین آستانه بی‌هوازی (HRDP)، به‌طور عمده متأثر از داده‌های مراحل اولیه اجرای پروتکل تمرینی شده و درنتیجه، نقطه تعیین‌شده کمتر از حد واقعی برآورد می‌شود. یافته‌های حاصل از مقایسه S. Dmax و سنجش لاکتات نشان داد اختلاف معناداری بین این دو روش وجود ندارد. با توجه به یکسان بودن همه عوامل دخیل در HRDP (پروتکل تمرینی، بارکار، الگوی ریاضی (معادلات لگاریتمی) برای آزمودنی‌ها ، تنها عامل تأثیرگذار در تعیین آستانه بی‌هوازی با استفاده از روش Dmax داده‌های مربوط به ضربان قلب بود. با توجه به اینکه در مراحل اولیه پروتکل تمرینی ضربان قلب پایین بوده و به‌تدریج افزایش می‌یابد، بدیهی است لحاظ کردن این داده‌ها در برآورد آستانه بی‌هوازی، موجب تخمین نادرست خواهد شد (۳۲). در مطالعه‌ای دیگر سیاه کوهیان و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تعیین HRDP با استفاده از Dmax اصلاح‌شده با استفاده از ضربان قلب اولیه توسط معادله ناریتا و مدل(شیب‌خط موازی[۳] PLSL در دختران جوان سالم پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده روش Dmax اصلاح‌شده روشی مناسب برای تعیین HRDP است که می‌تواند به‌عنوان جایگزین روش تهاجمی مورداستفاده قرار گیرد (۳۳).

۱ Cheng et al

۲ Kara et al

۳ parallel straight line slope

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020



نمودار ۱.مشاهده HRDP توسط روش Dmax

چگونگی اندازه‌گیری و محاسبه HRDP روش‌های گوناگونی را در برمی‌گیرد. یکی از روش‌های سنجش HRDP، روش بصری و یک روش سنتی است (۳۴، ۳۵). باوجوداینکه روش مذکور بسیار ساده و راحت است اما روش چندان دقیقی نیست. بر همین اساس، انحراف HRPC همیشه مشخص و معلوم نبوده (۳۶، ۳۷) و مشکلات مربوط به تشخیص نقطه‌ی انحراف به‌صورت مشاهده‌ای موجب اندازه‌گیری نادرست HRDP می‌شود. بالارین و همکارانش همبستگی بالایی (r>۰/۹۴) را بین روش کامپیوتری و روش مشاهده‌ای گزارش کردند؛ ازاین‌رو پیشنهاد نمودندکه تجزیه و تحلیل HRDP به‌صورت مشاهده‌ای نیز می‌تواند توسط افراد مشاهده‌گر مجرب انجام شود (۲۰). بااین‌حال آن‌ها نشان دادند که سنجش و اندازه‌گیری HRDP با استفاده از روش بصری در مقایسه با روش آنالیز کامپیوتری، روش مطمئن و قابل‌اعتمادی نبوده و مشکلاتی به همراه دارد، به‌ویژه زمانی که فرد مشاهده‌کننده HRDP از تجربه کافی برخوردار نباشد. درهرصورت باید توجه داشت که مقادیر مشاهده‌شده درروش بصری بسیار نزدیک به مقادیر مشاهده‌شده درروش آنالیز کامپیوتری بوده است. به‌طورکلی چنین می‌توان گفت که دقت اطلاعات به‌دست‌آمده با استفاده از روش بصری، با توجه به تجربه فرد مشاهده‌کننده، متغیر است (۳۸).

مدل‌های ریاضی نیز برای تعیین و شناسایی HRDP ارائه‌شده است. در این خصوص معادله‌ی رگرسیون درجه سه (۳۹) و عملیات لجستیکی (۱۶، ۲۲، ۴۰) در تفسیر انحراف طبیعی HRPC مورداستفاده قرارگرفته است. روش عملیات لجستیکی برای تعیین و شناسایی HRDP از مشتق اول لگاریتم ضربان قلب (داده‌های مربوط به نقاط ضربان قلب) استفاده می‌کند. گزارش شده است که این روش عینی و کاربردی است؛ چراکه HRDP توسط معادلات ریاضی و با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری محاسبه شده و در مقایسه با روش بصری از دقت عمل بیشتری برخوردار می‌باشد. تکنیک‌های رگرسیون که برای HRPC به‌کار برده می‌شود، HRDP را به‌صورت دقیق‌تر و عینی‌تر در اختیار قرار می‌دهند. این تکنیک‌ها شامل رگرسیون ساده‌ی خطی(۴۱، ۴۲)، مدل رگرسیون خطی ۲ عاملی (۳۷، ۳۹، ۴۳) و تجزیه و تحلیل تک عاملی و دوعاملی لگاریتمی می‌باشد (۴۴).

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

زمانی که از رگرسیون خطی برای سنجش HRDP استفاده می‌شود، ماهیت HRPC باید مدنظر قرار گیرد (۴۵). درصورتی‌که شیب‌خط رگرسیون اطلاعات مربوط به ضربان‌های قلب اولیه را نیز در برگیرد (شیب‌خط رگرسیون بین ضربان قلب و کار انجام‌شده)، شیب‌خط رگرسیون از این داده‌ها متأثر خواهد شد و درنتیجه HRDP بیش‌ازحد واقعی تخمین زده می‌شود (۴۳، ۴۵).

حساس‌ترین و دقیق‌ترین روش سنجش HRPC برای تعیین HRDP روش‌های تجزیه‌وتحلیل رگرسیون کامپیوتری می‌باشد (۶، ۲۴، ۲۶) که نقطه شکست (یعنی آستانه بی‌هوازی و یا آستانه لاکتات اولیه (LTP1) و آستانه‌ی بی‌هوازی یا آستانه لاکتات ثانویه (LTP2)) مرتبط با سه مرحله تولید انرژی را به دست می‌دهد (۴۶). در این روش، خطوط رگرسیون مورداستفاده برای محاسبه HRDP بین LTP1[۱] و توان حاصله بر HR بیشینه، به کار گرفته می‌شود (۲۰، ۲۶، ۴۵). این روش برای اهداف تحقیقاتی مناسب بوده، ولی کاربرد چندان زیادی ندارد. از درواقع، استفاده از محاسبات ریاضی که به‌منظور تعیین جهت و میزان HRDP می‌باشد، باهدف افزایش اعتبار آن به کار می‌رود. این روش کمترین خطا (به توان دوم) را دارا می‌باشد. تانژانت نقطه‌های مختلف بین LTP1 و توان بیشینه برای به دست آوردن عامل K_{HR} محاسبه می‌شود. عامل K_{HR} درواقع ماهیت انحراف ضربان قلب را نشان می‌دهد. با استفاده از این قالب، اگر انحراف عادی و طبیعی باشد، مقادیر K مثبت خواهد بود و اگر انحراف معکوس باشد مقادیر K منفی خواهد بود.

با توجه به پیچیدگی‌ها و پیامدهای روش‌های ریاضی که در بالا توضیح داده شد، سیاه کوهیان و همکاران (۲۰۰۷) مدلی جدید با عنوان مدل ریاضی شیب‌خط موازی (PSLS) ابداع نمودند. در برنامه ابداعی، محققان همه محاسبات ریاضی مربوط به روش Dmax (نقطه‌ای که بیشترین فاصله را از خط صاف رسم شده دارد که به‌عنوان HRDP شناخته می‌شود)، در آن محاسبه می‌گردد. ماهیت این روش امکان محاسبه انحنای به سمت بالا یا پایین منحنی HRPC را فراهم می‌آورد و همچنین به هیچ فرمولی برای محاسبه نیاز ندارد. ازاین‌رو جایگزین مناسبی برای سایر روش‌های ریاضی می‌باشد (۳۲).

در تحقیقات انجام گرفته، ظهور هم‌زمان آستانه بی‌هوازی و HRDP در همه تحقیقات دیده نشده است و در ارتباط با اعتبار آستانه بی‌هوازی نتایج ضد و نقیض وجود دارد. گرچه برخی از پژوهشگران (۴۱، ۴۲) از پروتکل چندمرحله‌ای غیرمعمول که توسط کانکانی و همکارانش (۷) ابداع‌شده بود، استفاده کردند. بااین‌حال، اکثر تحقیقات پروتکل‌های دیگری را به کار گرفته‌اند. مقالات مختلف برای تعیین HRDP از تئوری اسکینر و ماکللن[۲](۴۷) استفاده کرده‌اند. تئوری آنان در ارتباط با منابع انرژی مورداستفاده به هنگام کار فزاینده بوده و اولین نقطه شکست یا LTP1 را به‌عنوان آستانه بی‌هوازی مدنظر قرار داده‌اند. دومین نقطه شکست به‌عنوان نقطه افزایش لاکتات یا LTP2 مدنظر قرارگرفته است. زمانی که میزان لاکتات خون در ۴ میلی مول بر لیتر به‌طور ثابت باشد، نشان‌دهنده‌ی آستانه‌ی بی‌هوازی است. به همین ترتیب اولین افزایش مقدار لاکتات نیز به‌عنوان آستانه بی‌هوازی درنظر گرفته می‌شود (۴۸). آستانه تهویه[۳](VT) نیز در تحقیقات مربوط به HRDP برای شناسایی آستانه‌ی بی‌هوازی و همچنین، نقطه شکست HRPC به‌عنوان شاخص عینی از عملکرد تمرینات زیر بیشینه مورد توجه قرار گرفته است. HRDP، درواقع نقطه انحراف ضربان قلب از خط مستقیم در بررسی ارتباط بین بارکار و ضربان قلب می‌باشد که در طول یک بارکار فزاینده رخ می‌دهد (۸). به دنبال مطالعات کانکانی و همکارانش، پژوهش‌های مربوطه به HRDP شامل مطالعات تحقیقاتی مختلف در رشته‌های مختلف ورزشی به‌صورت میدانی و آزمایشگاهی ادامه یافت. برخی ازاین‌روش‌ها در محاسبه HRDP در مقایسه با روش‌های دیگر، عینی‌تر و هدفمندتر هستند. پروتکل HRDP، نیازمند آزمونی است که بارکار در آن به‌تدریج

۱ the first lactate turning point

۲ Skinner, Mclellan

۳ vertical threshold

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

افزایش یابد؛ بااین‌حال، وجود برخی اختلافات مربوط به روش در بین تحقیقات مختلف، مفهوم HRDP را بحث‌برانگیز کرده است (۴۹).

در حیطه میدانی در خصوص تعیین HRDP، پژوهش‌های انجام‌شده شامل دویدن (۶)، دوچرخه‌سواری (۵۰)، پیاده‌روی (۳۵)، پاروزنی، قایقرانی، اسکی استقامتی، اسکیت معمولی، اسکیت روی یخ و قایقرانی از نوع کایاک (۲۷) بوده است. به‌استثنای کایاک همه آزمون‌های میدانی از آزمون اصلی کانکانی تقلید می‌کنند، که در آن داوطلب به‌تدریج سرعتش را بعد از یک مسافت معین جهت بالا بردن شدت کار، افزایش می‌داد. آزمون میدانی کانکانی دویدن با سرعت ۱۲ تا ۱۴ کیلومتر بر ساعت بوده که با افزایش ۰/۵ کیلومتر بر ساعت در هر ۲۰۰ متر صورت گرفته بود. این آزمون می‌تواند به‌عنوان یک پروتکل مرحله‌ای " مسافت ثابت" در نظر گرفته شود، چون در این آزمون هر مرحله‌یک مسافت معین است. درواقع روش مورد استفاده در این آزمون‌ها برای افزایش شدت کار به این شکل می‌باشد که پس از تعیین مسافت آزمودنی سرعت خود را به‌تدریج افزایش می‌دهد (۱).

اگرچه آزمون‌های میدانی شباهت بیشتری با محیط طبیعی ورزشکاران دارد، بااین‌وجود آزمون‌های آزمایشگاهی اجازه کنترل بیشتر محیط را برای آنالیز HRDP می‌دهد. هم آزمون‌های میدانی و هم آزمون‌های آزمایشگاهی دارای مزایا و معایب می‌باشند. آزمون‌های میدانی به ماهیت واقعی فعالیت‌های مختلف ورزشکاران شباهت بیشتری دارند، بااین‌حال آزمون‌های آزمایشگاهی در تجزیه و تحلیل HRDP از شرایط کاملاً کنترل‌شده‌ای برخوردار هستند. برخلاف پروتکل‌های میدانی، آزمون‌های آزمایشگاهی عموماً دارای مراحل زمانی ثابت بوده که در آن‌ها بارکار با توجه به افزایش سرعت یا افزایش وات در فاصله زمانی منظم، به شکل وات افزایش می‌یابد (۵۱). تفاوت‌های موجود بین پروتکل‌های آزمایشگاهی با زمان ثابت و پروتکل‌های میدانی با مسافت ثابت ممکن است به این خاطر باشد که در ادبیات تحقیق در برخی موارد وقوع HRDP وجود نداشته است و یا به هنگام وقوع، دامنه نوسان آن بالا بوده است (۵۲).

پروتکل‌های آزمایشگاهی به سه دسته پروتکل بازمان ثابت، پروتکل با مسافت ثابت و پروتکل وابسته به فرد تقسیم می‌شوند. در پروتکل‌ها بازمان ثابت در یک‌فاصله زمانی معین و مشخص، بارکار افزایش می‌یابد (۱). در پروتکل‌های آزمایشگاهی بازمان ثابت، مراحل زمانی یکسان هستند، که افزایش کار به‌صورت وات بیان می‌شود و سرعت یا شیب در فاصله زمانی مشخص افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعات صورت گرفته زمانی که پروتکل تمرینی بر اساس زمان طی شده مرحله‌بندی و فازبندی بشود و بر اساس آن بارکار افزایش یابد، HRDP با احتمال بیشتری رخ می‌دهد، برعکس زمانی که بارکار از پروتکل تمرینی بر اساس مسافت طی شده، تنظیم شود، احتمال وقوع HRDP کاهش می‌یابد (۶).

در پروتکل‌های با مسافت ثابت، افزایش شدت کار (معمولاً سرعت) پس از طی کردن مسافت معین صورت می‌گیرد. پروتکل‌های با مسافت ثابت، باهدف وقوع HRDP طراحی‌شده‌اند. با توجه به این‌که مسافت در هر مرحله ثابت است، هرگونه افزایشی درشدت کار یا تمرین تنها باید با افزایش سرعت انجام شود. این کار به‌طور مؤثر، مدت هر مرحله را به‌ویژه در مراحل پایانی آزمون، کاهش می‌دهد. فاصله زمانی بین هر مرحله به‌تدریج کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که سیستم گردش خون نمی‌تواند خود را با افزایش بارکار هماهنگ و سازگار نماید. از نظر بدنی این موضوع باعث می‌شود تا پاسخ ضربان قلب با افزایش بارکار هماهنگ نباشد و از خط راست منحرف شود. این کاهش در ادامه مراحل آزمون همراه با سازگاری غیر مؤثر و غیر کارآمد دستگاه قلب و تنفس نشان‌دهنده آن است که HRDP ممکن است نقطه‌ضعف پروتکل باشد (۷). محققان نشان دادند زمانی که پروتکل تمرینی مورد استفاده در مراحل کاری با مدت‌زمان ثابت اجرا شود، HRDP به‌ندرت مشاهده می‌شود. آن‌ها اشاره کردند که با توجه به این‌که کار انجام‌شده در واقع هزینه انرژی دویدن ضربدر مسافت طی شده است، ولی در آزمون متداول (۴۰۰متر) کانکانی در هر

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

مرحله کار انجام شده باید ثابت باشد نه زمان. آن‌ها نشان دادند که به هنگام رعایت موارد مذکور، HRDP در همه آزمودنی‌ها اجرا می‌شود. شاید با خوش‌بینی بتوان گفت که HRDP در پروتکل‌های با مراحل ثابت با استفاده از دوچرخه ارگومتر و تردمیل قابل‌مشاهده است. در پروتکل‌های دوچرخه ارگومتر و تردمیل اجرای مراحل مختلف، زمان مراحل انجام کار کاهش نمی‌یابد (۳۴). این موضوع نشان می‌دهد که HRDP نقطه‌ضعف پروتکل مورداستفاده است.

همان‌گونه که اشاره شده، بررسی بسیاری از مطالعات انجام‌گرفته نشان داده است که HRDP توسط گروه‌های مختلف سنی با سطوح آمادگی و سلامت متفاوت اجرا می‌شود. کودکان، بزرگ‌سالان، دانشجویان، میان‌سالان و حتی ورزشکاران با معلولیت‌های جسمی ازجمله گروه‌هایی بوده‌اند که در پژوهش‌های مختلف مورد بررسی قرارگرفته‌اند. از طرفی باید به این نکته توجه نمود که پروتکل‌های آزمایشگاهی و میدانی با سطح بیشینه‌ای صرف‌نظر از سطح آمادگی جسمانی و سلامتی آزمودنی آغاز می‌شود. این موضوع قابل‌درک است که تحت چنین شرایطی هنگام اجرای پروتکل‌های میدانی و آزمایشگاهی، بار تمرینی زیادی بر بدن فرد به‌ویژه در بین افراد پیر و بی‌تحرک وارد می‌شود. در بسیاری از پژوهش‌ها نیز گزارش‌شده است افراد مسن قادر به تمام کردن پروتکل‌های تمرینی نمی‌باشند. به‌عنوان‌مثال، جونز و داست[۱] بیان نمودند ۶۰ درصد مردان مسن و چاق در اولین مرحله آزمون‌های بیشینه تعیین HRDP خسته می‌شوند و قادر به پایان رساندن آزمون نمی‌باشند (۵۳). یکی از بزرگ‌ترین موارد اشتباه تست اولیه کانکانی زمان طولانی اجرای تست بود، که مراحل کوتاه‌تر و فاز افزایش سرعت بیشتر در آزمون اصلاح‌شده کانکانی شرایط نمایش درست HRDP را فراهم می‌کرد. به‌طورکلی پروتکل‌های تعیین HRDP صرف‌نظر از جنس و سن آزمودنی‌ها تنظیم‌شده است. با این‌وجود برخی محققان توان اولیه آزمودنی‌ها را در طول آزمون‌های HRDP در نظر گرفته‌اند. دی ویت و همکاران پاسخ ضربان قلب آزمودنی‌ها را هنگام اجرای آزمون بازمان ثابت به‌عنوان ضربان قلب آغاز تست در نظر گرفتند که ۱۲۰ تا ۱۳۰ ضربه در دقیقه بود (۵۴). علاوه بر آن مافولی و همکاران[۲] از مقیاس بورگ در پروتکل آزمایشگاهی زمان ثابت برای بررسی فشار آزمون استفاده نمودند (۲۷). درواقع به نظر می‌رسد، نقطه شروع پروتکل‌های فزاینده HRDP باید بر اساس سطوح فیزیولوژیکی و آمادگی جسمانی آزمودنی تنظیم شود. در همین راستا، باهدف وقوع HRDP، نوع دیگری از پروتکل درمانده ساز طراحی‌شده است که در رابطه با سطح آمادگی جسمانی آزمودنی بوده و بر اساس آن، شدت و بارکار شروع پروتکل تنظیم می‌شود. در این پروتکل درمانده ساز، ابتدا آزمودنی به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه بدن خود را گرم می‌کند، سپس پروتکل تمرینی با ۷۵ درصد ضربان قلب ذخیره بیشینه به مدت یک دقیقه آغاز می‌شود، افزایش سرعت حرکت نوارگردان به میزان ۲ کیلومتر بر ساعت در هر دقیقه تا مرحله درماندگی آزمودنی ادامه می‌یابد (۵۵). در خصوص تأثیر نوع پروتکل تمرینی بر وقوع HRDP، پوکان و همکارانش پژوهشی را باهدف مطالعه تغییر نوع پروتکل تمرینی بر پاسخ منحنی عملکرد ضربان قلب (HRPC) و همچنین نقطه انحراف ضربان قلب (HRTP) انجام دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده تغییر در ماهیت پروتکل تمرینی، موجب تغییر در پاسخ ضربان قلب شده و درنتیجه انحراف HRPC تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۵۶). افزون بر این، می‌توان بیان نمود که ازجمله نقایص تکرارپذیری HRDP در مطالعات پیشین، تفاوت در میان سطح آمادگی جسمانی و یا نوع پروتکلی است که در حین اجرای تست توسط آزمودنی‌ها استفاده شده است. این فرضیه توسط ریبیرو و همکاران[۳] و فرانسیس و همکاران[۴] حمایت می‌شود. آزمودنی‌های مورد مطالعه عمدتاً از افراد سالم و فعال اما تا حدودی تمرین نکرده راشامل می‌شد (۵۷، ۵۸). افرادی که تمرین کمتری دارند ممکن است اراده‌ای برای به پایان

۱ Jones and Doust

۲ Maffulli et al

۳ Ribeiro et al

۴ Franccis et al

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

رساندن کار نداشته باشند و ممکن است قبل از وقوع مقرر آزمون را رها کنند. درنتیجه یک آزمون کامل نشده ممکن است زمان مناسب برای ارزیابی HRDP نداشته باشد. بااین‌وجود HRDP در بیماران قلبی، که ظرفیت برای ورزش در آن‌ها کاهش زیادی دارد مشاهده شده است (۱۶). بعلاوه گروه‌های همگن از افراد ورزیده تغییراتی را در آزمون مجدد نشان دادند (۵۳). در مطالعه‌ای دیگر سیاه‌کوهیان و همکاران(۲۰۱۹)، با درنظر گرفتن ضربان قلب هدف با استفاده از فرمول ناریتا و افزایش شدت کار به‌میزان ۲ کیلومتربرساعت در هردقیقه تا مرحله واماندگی به بررسی پروتکل وابسته به سطح آمادگی جسمانی فرد با استفاده از DMAX اصلاح شده پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که همبستگی بالایی با نتایج گازآنالایزور دارد. از این رو روش مناسبی برای محاسبه HRDP در میان افراد مختلف است (۵۹).

به طورکلی، با توجه به اینکه HRDP برای ارزیابی و تعیین آستانه بی‌هوازی به عنوان روش ساده و قابل‌اجرا معروف شده به همین ترتیب این موضوع نشان می‌دهد که عواملی مانند توان، سرعت، ضربان قلب و لاکتات خون (Blac) یا vo2 در HRDP و آستانه بی‌هوازی دارای ارتباط بسیار قوی هستند.HRDP برای سنجش آستانه بی‌هوازی به دلیل وجود نتایج مختلف در پیشینه تحقیق هنوز کاملاً روشن نیست. ازاین‌رو تحقیقات زیادی به بررسی اعتبار و پایایی این روش پرداخته‌اند. با توجه به تحقیقات انجام‌گرفته در این خصوص می‌توان نتیجه گرفت علت تناقض در اعتبار HRDP دقت روشی است که برای محاسبه HRDP به کار رفته درنظر گرفته می‌شود و یا تفاوت‌هایی است که در میان پروتکل‌های استفاده شده برای آستانه بی‌هوازی به‌ویژه LT وجود دارد.

از نقطه نظر کاربردی، از HRDP به‌راحتی و به‌آسانی می‌توان برای تنظیم و برنامه‌ریزی شدت تمرین به‌صورت فردی در مورد تک‌تک ورزشکاران استفاده کرد و شدت کار مرتبط با HRDP با توجه به تمرین، عدم تمرین و بیماری و تخلیه گلیکوژن تغییر می‌یابد. این موضوع حاکی از آن است که HRDP نشان‌دهنده‌ی تغییرات حاصله در وضعیت تمرین در طول دوره بوده و همچنین اثربخشی و کارایی برنامه‌های تمرینی اجراشده را منعکس می‌سازد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند زمانی که متغیرهای مربوط به‌سرعت موردتوجه قرار می‌گیرند، HRDP می‌تواند برای پیش‌گویی اجرای ورزشی در فعالیت‌های استقامتی مورداستفاده قرار گیرد (۱). ارتباط معنی‌داری بین HRDP معکوس و کاهش عملکرد بطن چپ در بیماران پس از سکته قلبی مشاهده‌شده است. ازنقطه‌نظر درمانی، HRDP شاخص مفید و بدون نیاز به هزینه‌های گزاف و وقت‌گیر است که در بیماران قلبی برای برنامه‌های باز توانی قلبی می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد. علاوه بر این، HRDP ممکن است در تعیین شدت تمرین برای تشخیص اختلال عملکرد بطن چپ به کار می‌رود. ازسویی، تعیین اختلال عمل بطن چپ با استفاده از HRDP همانند استفاده از ECG[1] یا بارهای کاری که منجر به حوادث ناگوار می‌شود، نیست (۱).

کانکانی و همکاران RS (سرعت دویدن[2]) در HRDP را با میانگین HRDP در میانگین RS در طول مسابقه مقایسه کردند و همبستگی معناداری (۲۰/۱۵±۱/۱۵ و ۱۳/۰۸±۱۹/۱ کیلومتر در ساعت، (n=۱۹، r=۰/۹۳)) برای مسابقه ۵۰۰۰ متر و برای دوی ماراتون (۱۷/۴±۱/۱۴ و ۸۵/۱۵±۱۸/۱ کیلومتر در ساعت (n=۵۵ و r=۰/۹۵)) در مسابقه یک‌ساعته (۱۸/۶۵±۰/۹۲ و ۱۸/۷±۰/۹۸ ۱۸ کیلومتر در ساعت n=۳۱ و n=۰/۹۹)) گزارش دادند (۶). همچنین، دروگتی و همکاران همبستگی معنی‌داری (n=۱۱ و r=۰/۹۸) را میان دوچرخه‌سوارن، در شاخص HRDP با میانگین سرعت دوچرخه‌سواری در یک مسابقه پیش‌ساخته که باسرعت ۱۶kmاجرا شد، گزارش دادند(۴۱). در یک مسابقه از HRDP برای پیش‌بینی عملکرد رقابتی استفاده شد. پتیت و همکاران[3]یک مدل ریاضی عینی برای نشان

[1] Electrocardiography
[2] running speed
[3] Petit et al

دادن نتایج ارزیابی HRDP یک گروه از دوندگان که آزمون میدانی کانکانی را اجرا کرده بودند، به کاربردند. زمان‌های پیشگویی HRDP و زمان‌های واقعی برای عملکرد دوی ۱۰km برای ۱۷ دونده همبستگی بالایی (p<۰/۰۱، r=۰/۹۸) داشته اگرچه زمان‌ها تفاوت معناداری داشتند (میانگین تفاوت ۰/۰۸ دقیقه ؛ p=۰/۰۱) عدم رده‌بندی برای تعدادی از دوندگان (n=۵) به‌عنوان منبع این اختلاف به سبب تعداد زیاد شرکت‌کنندگان (۲۰۰۰) در این مسابقه نسبت داده شد. دوندگان رده‌بندی‌شده (n=۱۱) به‌طور جداگانه آنالیز شدند که یک عدم معنی‌داری را در تفاوت‌های زمانی (۰/۵±۰/۱ دقیقه) اثبات کردند (۴۸).

به‌طورکلی HRDP پدیده بیولوژیکی قابل‌توجه و مهمی است و عوامل مهمی بر تغییرات آن تأثیر می‌گذارد. HRDP عامل بالقوه‌ای برای تنظیم اهداف تمرین و تعیین غیرتهاجمی آستانه‌ی بی‌هوازی و روشی آسان برای اجرای دقیق آزمون در افرادی است که HRDP را نشان می‌دهند. به‌صورت بالینی HRDP می‌تواند در پیوستگی با اجرای پارامترهای شدت تمرین جهت باز توانی قلبی در نظر گرفته شود.

درنهایت اینکه انجام تمرین با ضربان قلب ثابت با استفاده از سنجش لحظه‌به‌لحظه ضربان قلب روش مناسبی برای کنترل شدت تمرین آزمودنی‌ها و ورزشکارانی است که بدون فاصله استراحت به کار خود ادامه می‌دهند. ازآنجایی‌که HRDP شامل یکسری روش‌های آزمایشی دارای پارامترهای غیرتهاجمی برای سنجش آستانه بی‌هوازی است، بنابراین بحث و گفتگو پیرامون این مفهوم باید در به دست آوردن یک تصویر درست کمک کند. از طرفی اختلاف‌نظر در مورد قابلیت HRDP برای تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی به روش‌شناسی سنجش HRDP مربوط می‌شود و در واقع سنجش، تعریف و تبیین آستانه‌ی بی‌هوازی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ازاین‌رو مطالعات پیرامون آن ادامه دارد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نگارندگان پژوهش حاضر از کمک‌های فنی دانشگاه محقق اردبیلی به‌جهت حمایت‌های علمی و همه عزیزانی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند صمیمانه تشکر می نمایند.

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

References

1. Bodner ME, Rhodes EC. A review of the concept of the heart rate deflection point. Sports Med. 2000;30(1):31-46.
2. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts. Sports Med. 2009;39(6):469-90.
3. Hofmann P, Pokan R. Value of the application of the heart rate performance curve in sports. Int J of sports phys and perf. 2010;5(4):437-47.
4. Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. Canadian J of applied phys. 2003;28(2):299-323.
5. Siahkouhian M, Khodadadi D. Narita target heart rate equation underestimates the predicted adequate exercise level in sedentary young boys. Asian J of sports Med. 2013;4(3):175.

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

6. Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. J of Applied Physio. 1982;52(4):869-73.
7. Conconi F, Grazzi G, Casoni I, Guglielmini C, Borsetto C, Ballarin E, et al. The Conconi test: methodology after 12 years of application. Int J of Sports Med. 1996;17(07):509-19.
8. Ghosh AK. Anaerobic threshold: Its concept and role in endurance sport. The Malaysian J of med Scie: MJMS. 2004;11(1):24.
9. Hofmann P, Von Duvillard SP, Seibert F-j, Pokan R, Wonisch M, Lemura LM, et al. % HRmax target heart rate is dependent on heart rate performance curve deflection. Med & Sci in Sports & Exer. 2001;33(10):1726-31.
10. Ignjatović A, Hofmann P, Radovanović D. Non-invasive determination of the anaerobic threshold based on the heart rate deflection point. Facta universitatis-series: PES. 2008;6(1):1-10.
11. Buchheit M, Solano R, Millet GP. Heart-rate deflection point and the second heart-rate variability threshold during running Exerc in trained boys. Pediatric Exerc Science. 2007;19(2):192-204.
12. Delevatti RS, Kanitz AC, Alberton CL, Pantoja PD, Marson EC, Pinho CDF, et al. Heart rate deflection point as an alternative method to identify the anaerobic threshold in patients with type 2 diabetes. Apunts Medicina de l'Esport. 2015;50(188):123-8.
13. Grazzi G, Mazzoni G, Casoni I, Uliari S, Collini G, van der Heide L, et al. Identification of a VO2 deflection point coinciding with the heart rate deflection point and ventilatory threshold in cycling. JSCR. 2008;22(4):1116-23.
14. Costa RR, Reichert T, Barroso BM, Rocha VdMBd, Preissler AAB, Santiago É, et al. Heart rate deflection point as an alternative to determining the anaerobic threshold in dyslipidaemic patients. Motriz: Revista de Educação Física. 2019;25(1).
15. Lucía A, Carvajal A, Pérez M, Boraita A, Serratosa L, Chicharro JL. Heart rate response during incremental exercise in master runners. The Japanese J of Physio. 2000;50(1):155-8.
16. Pokan R, Hofmann P, Beaufort F, Smekal G, Gasser R, Klein W, et al. The heart rate performance curve and left ventricular function during exercise in patients after myocardial infarction. JSCR. 1998;30(10):1475-80.
17. Hofmann P, Seibert F-J, Pokan R, Golda M, Wallner D, von Duvillard S. Relationship between blood pH, potassium and the heart rate performance curve. MED SCI SPORT EXER. 1999;31(5): S150.
18. Lucia A, Hoyos J, Santalla A, Perez M, Carvajal A, Chicharro J. Lactic acidosis, potassium, and the heart rate deflection point in professional road cyclists. British J of sports Med. 2002;36(2):113-7.
19. Hofmann P, Wonisch M, Pokan R, Schwaberger G, Smekal G, Klein W, et al. ß1-adrenoceptor mediated origin of the hearte rate peformance curve deflection. Med Sci Sports Exerc. 2005; 37:1704-9.
20. Ballarin E, Sudhues U, Borsetto C. Reproducibility of the Conconi test: Test repeatability and observer variations. Occup Health Ind Med. 1997;1(36):43.

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

21. Pessenhofer H, Meier A, Schwaberger G, Sauseng N. Verification of hypotheses about the physiological basis of the Conconi test by model simulation. Int J Sports Med. 1991; 12:119.
22. Cheng B, Kuipers H, Snyder A, Keizer H, Jeukendrup A, Hesselink M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. Int J of sports Med. 1992;13(07):518-22.
23. Siahkohian M, Javadi A, Gharekhanloo R, Nazam F. Comparison the effect of aerobic exercise intensity on cardiovascular risk factors in adult males. OLYMPIC J.1382;11(23):53-68. (Persian)
24. Vachon JA, Bassett Jr DR, Clarke S. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. J of applied Physio. 1999;87(1):452-9.
25. Zacharogiannis E, Farrally M. Ventilatory threshold, heart rate deflection point and middle distance running performance. J SPORT MED PHYS FIT. 1993;33(4):337-47.
26. Hofmann P, Bunc V, Leitner H, Pokan R, Gaisl G. Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1994;69(2):132-9.
27. Maffulli N, Sjödin B, Ekblom B. A laboratory method for non invasive anaerobic threshold determination. J SPORT MED PHYS FIT. 1987;27(4):419-23.
28. Narita K, Sakamoto S, Mizushige K, Senda S, Matsuo H. Development and evaluation of a new target heart rate formula for the adequate exercise training level in healthy subjects. J of cardio. 1999;33(5):265-72.
29. Binder RK, Wonisch M, Corra U, Cohen-Solal A, Vanhees L, Saner H, et al. Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. EACPR. 2008;15(6):726-34.
30. Kara CO, Gökalan I. Effects of single-dose steroid usage on edema, ecchymosis, and intraoperative bleeding in rhinoplasty. PRS. 1999;104(7):2213-8.
31. Norozzaddolatabadi H, Siahkohian M. Analysis and comparison of different methods for determining the anaerobic threshold. HARKAT J.1383;-(20):35-53. (Persian)
32. Siahkohian M. A new mathematical model for determination of heart rate deflection point. Int J of Fit. 2007;3(2).
33. Siahkouhian M, Azizan S, Roohi BN. A new approach for the determination of anaerobic threshold: methodological survey on the modified Dmax method. 2012.
34. Baraldi E, Zanconato S, Santuz P, Zacchello F. A comparison of two noninvasive methods in the determination of the anaerobic threshold in children. Int J of sports Med. 1989;10(02):132-4.
35. Foster C. Left Ventricular in relation to the heart rate performance curve. Clin Exerc Physiol. 1999; 1:29-32.
36. Tokmakidis SP, Leger L. External validity of the Conconi's heart rate anaerobic threshold as compared to the lactate threshold. Exerc Physiol. 1988; 3:43-58.
37. Tokmakidis SP, Léger LA. Comparison of mathematically determined blood lactate and heart rate “threshold” points and relationship with performance. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1992;64(4):309-17.

38. Probst H, Schiffer H, Gekeler V, Scheffler K. Oxygen dependent regulation of mammalian ribonucleotide reductase in vivo and possible significance for replicon initiation. Biochemical and biophysical research communications. 1989;163(1):334-40.
39. Kara M, Gokbel H, Bediz C, Ergene N, Ucok K, Uysal H. Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. J of sports Med and phys fit. 1996;36(1):31-4.
40. Bodner M, Rhodes E, Coutts K. Reliability of A Mathematical Model to Reproduce Heart Rate Threshold and The Relationship To Ventilatory Threshold. MED SCI SPORT EXER. 1998;30(5):310.
41. Droghetti P, Borsetto C, Casoni I, Cellini M, Ferrari M, Paolini A, et al. Noninvasive determination of the anaerobic threshold in canoeing, cross-country skiing, cycling, roller, and iceskating, rowing, and walking. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1985;53(4):299-303.
42. Cellini M, Vitiello P, Nagliati A, Ziglio P, Martinelli S, Ballarin E, et al. Noninvasive determination of the anaerobic threshold in swimming. Int J of sports Med. 1986;7(06):347-51.
43. Baker KM, FUKUDA DH, CHURCH DD, LA MONICA MB, BEYER KS, HOFFMAN JR, et al. Mathematical modeling and expression of heart rate deflection point using heart rate and oxygen consumption. Int J of Exerc sci. 2017;10(4):592.
44. Kuipers H, Keizer H, De Vries T, Van Rijthoven P, Wijts M. Comparison of heart rate as a non-invasive determinant of anaerobic threshold with the lactate threshold when cycling. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1988;58(3):303-6.
45. Pokan R, Hofmann P, Smekal G, Hogler R, Tschan H, Baron R, et al. The heart rate turns point reliability and methodological aspects. MED SCI SPORT EXER. 1999;31(6):903-7.
46. Wasserman K. Determinants and detection of anaerobic threshold and consequences of exercise above it. Circulation. 1987;76(6 Pt 2):VI29-39.
47. Skinner JS, Mclellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. Research quarterly for exercise and sport. 1980;51(1):234-48.
48. Petit MA, Nelson CM, Rhodes EC. Comparison of a mathematical model to predict 10-km performance from the Conconi test and ventilatory threshold measurements. Can J Appl Physiol. 1997;22(6):562-72.
49. Bunc V, Hofmann P, Leitner H, Gaisl G. Verification of the heart rate threshold. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1995;70(3):263-9.
50. Bourgois J, Vrijens J. The Conconi test: a controversial concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers. Int J of sports Med. 1998;19(08):553-9.
51. Fabre N, Balestreri F, Leonardi A, Schena F. Racing performance and incremental double poling test on treadmill in elite female cross-country skiers. JSCR. 2010;24(2):401-7.
52. Erdogan A, Cetin C, Karatosun H, Baydar M. Non-invasive indices for the estimation of the anaerobic threshold of oarsmen. JIMR. 2010;38(3):901-15.
53. Jones AM, Doust JH. The Conconi test is not valid for estimation of the lactate turnpoint in runners. J of sports Sci. 1997;15(4):385-94.

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

54. De Wit M, Der Weduwe C, Wolfhagen P, Hollander A. Validity of peak oxygen uptake calculations from heart rate deflection points. INT J SPORTS MED. 1997;18(03):201-7.
55. Siahkouhian M, Meamarbashi A. Advanced methodological approach in determination of the heart rate deflection point: S. Dmax versus L. Dmax methods. J SPORT MED PHYS FIT. 2013;53(1):27-33.
56. Siahkouhian M, Esmaeilzadeh S. Exploring the Agreement of the Short Running Exhaustive Test (Tshort) with the Maximal Lactate Steady State (MLSS) in Determination of the Heart Rate Deflection. J Exerc Phys and Physo Act. 2016;10(1):31-40. (Persian)
57. Ribeiro J, Fielding R, Hughes V, Black A, Bochese M, Knuttgen H. Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. Int J of sports Med. 1985;6(04):220-4.
58. Francis K, McClatchey P, Sumsion J, Hansen D. The relationship between anaerobic threshold and heart rate linearity during cycle ergometry. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1989;59(4):273-7.
59. Siahkouhian M, Shams R, Gholizadeh R. A New Fitness Dependent Maximal Protocol for Determination of Heart Rate Deflection Point. JAST.3(2):9-18.

Journal of Neyshabur University of Medical Sciences

www.journalnums.ac.ir

Downloaded from journal.nums.ac.ir at 11:42 IRDT on Monday May 11th 2020

Methodological approach of heart rate deflection point

Marefat Siahkouhian*, Roghayyeh Gholizadeh

Department of Sport Sciences, Faculty of Psychology and Educational Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Review Article

Received: 27 May 2019
Accepted: 16 Sep 2019

***Corresponding Author:**
Marefat Siahkouhian, University of Mohaghegh Ardabili, Faculty of Psychology and Educational Sciences
TEL: 09144511435
Email:
m_siahkohian@uma.ac.ir

A B S T R A C T (Maximum 250 words)

Introduction

The heart rate deflection point (HRDP) is the heart rate deviation point of the straight line that is defined in the study of the relationship between work and time and it is used as a criterion for the intensity of exercise planning. The purpose of the present study is to review the Methodological approach of heart rate deflection point the new methods for determining this point. In the present study, the dimensions of HRDP methodology were examined in two areas of HRDP-related physiological mechanisms and HRDP determination methods. In the section on HRDP determination methods, determining the basal heart rate, HRDP calculation, and measurement methods, as well as training protocols, were the most important dimensions of methodology in measuring this point. The present study, by examining the findings of previous research, obtained a suitable and integrated summary of the physiological mechanisms associated with HRDP and the methodological dimensions of HRDP. The results indicate that disagreement about the ability of HRDP to determine the anaerobic threshold related to the methodology of HRDP measurement. Infect, it affects the definition of the anaerobic threshold. Therefore, studies on it continue.

Keywords

(MeSH terms) Heart Rate/physiology ،Exercise Test*/methods، Anaerobic Threshold/physiology*

► ***Please cite this article as:*** Siahkouhian M, Gholizadeh R. Methodological approach of heart rate deflection point. J Neyshabur Univ Med Sci 2020;8(1):1-19.