فصل اول

کلیات تحقیق

مقدمه

آستانه بی‌هوازی بعنوان شدتی از کار یا میزان اکسیژن مصرفی (VO_2) می‌باشد که با شروع اسیدوز سوخت و سازی تعیین شده و با تغییرات در تبادل گازهای تنفسی همراه است (رگرس و همکاران[1]، ۱۹۹۵). آستانه بی‌هوازی (واژه آلمانی) یا آغاز انباشت لاکتات خون (واژه اسکاندیناوی OBLA[2]) سرعتی از اکسیژن مصرفی یا میزان کاری می‌باشد که با انباشت لاکتات خونی معادل ۴ میلی گرم بر دسی لیتر همراه باشد. تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی برای برنامه ریزی دقیق شدت تمرینات، همواره یکی از مباحث مهم و مورد توجه پژوهشگران و متخصصان علوم ورزشی بوده است، زیرا یکی از بحث برانگیزترین و مهم‌ترین مباحث در حوزه علم ورزش، برآورد آستانه بی‌هوازی با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیکی کمی است(گائینی و همکاران،۱۳۸۱).

روش‌های متعددی برای برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی استفاده می‌شود که در حالت کلی شامل روش‌های تهاجمی و غیر تهاجمی می‌باشد، اما توافق همگانی درباره‌ی این موضوع که کدام یک از این روش‌ها بهتر است، وجود ندارد. دقیق‌ترین روش‌ها در تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی، روش‌های تهاجمی است که مستلزم گرفتن نمونه‌های خونی متعدد در حین اجرای آزمون فزاینده‌ی استاندارد و تعیین مقدار لاکتات خون است. از سویی، روش‌های غیر تهاجمی مختلفی برای برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی وجود دارد که این روش‌ها بر ارتباط بین ضربان قلب-بار کار و تعیین نقطه شکست ضربان قلب[3] (HRDP) (چمورا و همکاران[4]، ۲۰۱۰؛ رگرس و همکاران، ۱۹۹۵) یا تغییر در پارامترهای گازی و تعیین نقطه جبران تنفس (کیانی و همکاران، ۱۳۸۸) استوارند.

1. Rogars et al.
2. Onset Blood Lactate Accumulation
3. Heart Rate Deflection Point
4. Chmura et al.

در طول یک بار کاری فزاینده، تهویه دقیقه ایی (V_E) به منظور جلوگیری از کاهش PH خون و افزایش بیش از حد اسیدیته خون، در حد زیادی افزایش می یابد. این افزایش غیر خطی در VE نسبت به VCO_2 به عنوان نقطه جبران تنفس تعریف می‌شود. نقطه جبران تنفس به عنوان ابزاری برای تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی مورد استفاده قرار می گیرد (بیندر و همکاران[1]، ۲۰۰۸). در واقع، نقطه جبران تنفس، نشان دهنده افزایش غیر خطی در تهویه دقیقه‌ایی نسبت به دی اکسید کربن (VE/VCO_2) یا عدم تعادل بین VE و تولید VCO_2 می‌باشد(گندیم و همکاران[2]، ۲۰۰۷). به عبارت دیگر، همزمان با کاهش PH خون در آستانه بی‌هوازی و بعد از آن، همگام با افزایش خطی VO_2، نسبت VE به VCO_2 انحراف پیدا می‌کند که در نتیجه بافرینگ بی‌کربنات ناشی از افزایش یون های هیدروژن ناشی از لاکتات در خون و تولید نهایی دی‌اکسید کربن می‌باشد.

۱-۱- بیان مسئله

فعالیت ورزشی به هر منظوری که باشد، مستلزم توجه به سه اصل شدت، مدت و تواتر فعالیت ورزشی است. نوع فعالیت ورزشی نیز از جمله مواردی است که در برخی متون بدان اشاره شده است. در صورت بکارگیری صحیح شدت و مدت کار، سازگاری‌های بیولوژیکی در قالب افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_2max)، آستانه بی‌هوازی و صرفه جویی جلوه‌گر می‌شود. بطور کلی مدت فعالیت ورزشی با شدت فعالیت ارتباط تنگاتنگی دارد و از این رو در تلفیق این دو برای دستیابی به سازگاری‌های بیولوژیکی مورد نظر، یکی از روشهای زیر استفاده می‌شود: ۱. فعالیت‌های با مدت متوسط (۶۰ -۳۰ دقیقه) و شدت زیاد (اندکی زیر آستانه بی‌هوازی، تقریبا ۸۵-۷۵٪ ضربان قلب بیشینه) ۲. فعالیت‌های با مدت متوسط (۱۰ -۴ دقیقه) و شدت زیاد (اندکی بالای آستانه بی‌هوازی، تقریبا ۹۵- ۷۵٪ ضربان قلب بیشینه) ۳. فعالیت‌های کوتاه مدت (۳۰ ثانیه تا ۳ دقیقه) و خیلی شدید (در وضعیت VO_2max ، تقریبا ۱۰۰٪ ضربان قلب بیشینه)(گائینی و همکاران، ۱۳۸۱).

در بار کاری مشخص، وقتی که تجمع لاکتات خون به ۴ میلی گرم بر دسی لیتر رسید، بعنوان نقطه شروع تجمع لاکتات خون (OBLA) تعریف می‌شود که این بار کاری معمولا بیشتر از نقطه شکست لاکتات

1. Binder et al.
2. Gondim et al.

خون است که به آن آستانه بی‌هوازی گفته می‌شود (حین دویدن، بعنوان MLSS[1] تعریف می‌شود) (چمورا و همکاران، ۲۰۱۰).

محققان دریافته‌اند که هرچند میانگین مقادیر لاکتات خون هنگام فعالیت ورزشی پایدار بیشینه، تقریبا ۴ میلی گرم بر دسی لیتر بوده، ولی ارزش‌های فردی با یکدیگر فرق داشته‌اند. آنها مفهوم آستانه بی‌هوازی فردی[2] را معرفی کردند. این نظریه عبارت از میزان متابولیکی (سوخت و سازی) است که در آن مقدار لاکتات دفعی از خون مساوی و یا بیشتر از مقدار لاکتاتی است که عضلات در حال ورزش، به درون خون منتشر می‌کنند. با این تعریف، آستانه بی‌هوازی فردی، عبارت است از بالاترین میزان کاری که می‌تواند برای یک دوره زمانی معین (معمولا طولانی تر از ۱۵ تا ۲۰ دقیقه) بدون آنکه افزایشی در انباشت لاکتات خون بوجود آید، تحمل شود (گائینی و همکاران، ۱۳۸۳).

در آستانه بی‌هوازی تجمع لاکتات منجر به افزایش غیر خطی تهویه می‌شود که در نتیجه بافرینگ بی‌کربنات ناشی از فزونی یون‌های هیدروژن ناشی از لاکتات در خون و تولید نهایی دی‌اکسیدکربن می‌باشد (مایر و همکاران[3]، ۲۰۱۰). حین دویدن، این نقطه با توان بحرانی[4] که نشان دهنده انتقال از بار ورزشی قابل تحمل برای مدت طولانی، به شدت طاقت فرسا می‌باشد، همزمان می‌شود. در مرحله گذر از نقطه توان بحرانی، تغییراتی در سلول عضلانی مانند تخلیه فسفات‌های پرانرژی و تجمع یون‌های هیدروژن و فسفات رخ می‌دهد که تعیین کننده‌ی پیشرفت خستگی محیطی می‌باشد (چمورا و همکاران، ۲۰۱۰).

محققان پیوندی بین لاکتات خون، خستگی عضلانی و تغییر گازهای تنفسی در حین ورزش تشخیص دادند (مایر و همکاران، ۲۰۱۰) و خستگی را بعنوان فقدان نیرو یا ناتوانی در تولید نیرو تعریف می‌کنند که ممکن است به دلایل مختلف افزایش یابد و هر دو فاکتور خستگی مرکزی و محیطی را شامل می‌شود (فتایتی و همکاران[5]، ۲۰۱۰).

1. Maximal Lactate Steady State
3. Individual Anaerobic Threshold (IAT)
3. Myer et al.
4. Critical power
5. Ftaiti et al.

طبق مطالعه نوکس[1] (۲۰۰۵) خستگی مرکزی با درماندگی همئوستاز یا سوء عملکرد ارگان‌های بدن مرتبط نیست، اما نشان‌دهنده مکانیسمی است که بوسیله دستگاه فرمان خودکار در مغز[2] کنترل می‌شود (چمورا و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین خستگی مرکزی که حین تلاش وامانده‌ساز روی می‌دهد، ممکن است بطور مستقیم مربوط به فاکتورهای آسیب‌رسان CNS یا عملکردهای تنظیمی مثل کاهش جریان خون مرکزی، هایپرترمی، هایپوگلایسمی و یا هایپرآمونمی باشد. ورزش کردن در شدت و مدتی موثر، ممکن است باعث افزایش دمای مرکزی بالاتر از محدوده منطقه گرما تنظیمی آن شود. در واقع عملکرد جسمانی بازتاب زمان رسیدن به واماندگی است که این زمان در محیط گرم بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد (فتایتی و همکاران، ۲۰۱۰).

خالدی و همکاران (۱۳۸۶) طبق مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بین سرعت در نقطه چرخش لاکتات[3] (vLTP) و سرعت در لحظه رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی (vVO_2max) ارتباط مثبت معنی‌داری وجود دارد. این موضوع تایید می‌کند هر قدر فرد توانایی به تاخیر انداختن انباشت لاکتات را داشته باشد و در سرعت بالاتری انباشت لاکتات در وی آغاز شود، از VO_2max بالاتری برخوردار است (خالدی و همکاران، ۱۳۸۸).

لکلیر و همکاران[4] (۲۰۱۱) در مطالعه خود، در شدت‌های بالای توان هوازی بیشینه و VO_{2max} بالاتر از ۹۰٪، کاهش زمان رسیدن به واماندگی را در کودکان در مقاسیه با بزرگسالان مشاهده کردند و به این نتیجه رسیدند که زمان رسیدن به واماندگی کمتر در کودکان را می‌توان ناشی از ظرفیت بی‌هوازی کم در آنها گزارش کرد.

تحقیقات مختلف گزارش کرده‌اند که ورزشکاران بسیار ورزیده می‌توانند با آستانه بی‌هوازی فردی (IAT) – با مقادیر لاکتات خون فردی پایداری که از ۲ تا ۷ میلی گرم بر دسی لیتر متغیر است – ۵۰ دقیقه فعالیت می‌کنند. یافته‌های مشابهی را (برای فعالیت‌های ورزشی دست کم تا ۳۰ دقیقه) برای آزمودنی‌های تمرین کرده و برای آزمودنی‌های تمرین نکرده – هردو- گزارش کرده‌اند. البته، هر چندتحقیق دیگری استفاده از غلظت لاکتات خون معادل ۴ میلی گرم بر دسی لیتر را تایید کرده‌اند، ولی گزارش کرده‌اند که متوسط مقادیر لاکتات خون هنگام فعالیت ورزشی بیشینه یکنواخت، دامنه‌ای در حدود ۳ تا ۵.۵ میلی‌مول داشته است (گائینی و همکاران، ۱۳۸۳).

1. Noaks et al.
2. Central governor in the Brain
3. Velosity of Lactate athreshold Point
4. Leclair et al.

بنابراین با توجه به اینکه تا کنون مطالعات محدودی در زمینه میزان فعالیت در آستانه‌ی بی‌هوازی در دختران ورزشکار و غیر ورزشکار انجام گرفته است، در این مطالعه با ارزیابی آستانه بی‌هوازی در دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار، هدف ما دستیابی به مدت زمان رسیدن به واماندگی و تعیین شدت و سرعت در آستانه بی‌هوازی دختران جوان ورزشکار و غیر ورزشکار خواهد بود و به سوالات اساسی زیر پاسخ داده خواهد شد:

۱-۲- سوالات تحقیق

۱. مدت فعالیت در آستانه‌ی بی‌هوازی تا رسیدن به واماندگی در دختران دانشجوی غیر ورزشکار چقدر است؟

۲. مدت فعالیت در آستانه‌ی بی‌هوازی تا رسیدن به واماندگی در دختران دانشجوی ورزشکار چقدر است؟

۱-۳- فرضیات تحقیق

۱. بین مدت زمان دویدن در آستانه بی‌هوازی تا رسیدن به مرز واماندگی دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

۲. بین vVO_{2max} دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

۳. بین سرعت دویدن در لحظه رسیدن به واماندگی دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

۴. بین آستانه بی‌هوازی تعیین شده دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

۵. بین ضربان قلب آستانه بی‌هوازی دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار رابطه معنی‌داری وجود دارد.

۶. بین VO_2max دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

۱-۴- ضرورت و اهمیت تحقیق

یکی از موضوعات مهم و مورد توجه پژوهشگران و متخصصان علوم ورزشی، تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی برای برنامه ریزی دقیق شدت تمرینات ورزشی می‌باشد (کیانی و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به این نکته، لاکتات خون براساس آستانه‌ی بی هوازی (AT) و MLSS که نقطه شکست در منحنی

لاکتات خون – بار کار است، در ورزش‌های فزاینده و شدت تلاش بیشینه، باعث افزایش تحریک تجمع لاکتات خون تا یک میلی‌مول می‌شود، که این مهم به ترتیب بعنوان پارامترهایی برای تعدیل کردن بار تمرین شناخته می‌شوند و این فرایند مانند مشاهده‌ی سطوح آمادگی هوازی است که در نتیجه‌ی برنامه تمرینی بدست می‌آید (گندیم و همکاران، ۲۰۰۷).

مبنای استفاده از پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی– به عنوان ابزاری برای برآورد عملکرد استقامتی و طراحی برنامه‌های تمرینی– ریشه در تحقیقات زیادی دارد که نشان می‌دهند پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی، شاخص بهتری از عملکرد استقامتی است تا VO_2max. به نظر می‌رسد پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی فزاینده با انواع عملکرد استقامتی، ارتباطی قوی دارد(گائینی و همکاران، ۱۳۸۳).

یافته‌های تحقیقات مختلف نشان می‌دهند که اگر آستانه‌ی لاکتات بتواند در اثر تمرین‌ها افزایش یابد، عملکرد دوی ماراتن باید بهتر شود. محققان نتیجه گرفتند که فعالیت ورزشی استقامتی – آن گونه که در دوی ماراتن به اثبات رسیده – ارتباط بسیار قوی با سرعت OBLA داشته است که این امر به نوبه‌ی خود با توضیع نوع تار عضلانی، حجم تمرین و چگالی مویرگی در ارتباط است. محققان نتیجه گرفتند که حجم اکسیژن مصرفی و سرعت غلظت‌های لاکتات خون در حد ۲ و ۴ میلی گرم بر دسی لیتر از VO_2max معیار خوبی برای زمان عملکرد بوده‌اند (گائینی و همکاران، ۱۳۸۳).

براساس اطلاعات موجود، در تحقیقاتی که هدف آن‌ها سنجش ارتباط بین غلظت لاکتات خون و عملکرد یا آثار تمرین بر غلظت لاکتات خون است، یک پروتکل فزاینده می‌تواند برای تعیین آستانه‌ی لاکتات و غلظت لاکتات خون استفاده شود. با وجود این، به نظر نمی‌رسد غلظت‌های بالاتر خونی که هنگام فعالیت ورزشی فزاینده (۴ میلی‌مول) به دست می‌آید، معرف همان مقدار کاری باشد که هنگام فعالیت ورزشی طولانی مدت انجام می‌شود. به علاوه، هرچند به نظر می‌رسد که برونده سرعت یا توان وابسته به آستانه‌ی لاکتات و غلظت لاکتات خون، برآورد کننده‌های بهتری از عملکرد استقامتی هستند تا VO_2max؛ ولی می‌توان پیشنهاد کرد که حالت پایدار بیشینه (یا آستانه‌ی بی‌هوازی انفرادی) باید بهترین شاخص قابلیت‌های استقامتی افراد باشند. محققان نتیجه گرفته‌اند تمرین در شدتی که با غلظت لاکتات خون معادل ۴ میلی گرم بر دسی لیتر برابر باشد، می‌تواند یکی از موثرترین روش‌های تمرین استقامتی باشد (گائینی و همکاران، ۱۳۸۳).

در مورد شدت تمرینی مطلوب یا حداقل شدت تمرینی لازم برای گسترش LT و OBLA و ILT یا دیگر پاسخ‌های لاکتات خون به فعالیت ورزشی، شناخت چندانی وجود ندارد. مطالعه‌ای که در مورد افراد مسن انجام شده، نشان می‌دهد در مقایسه با تمرین در شرایط بالاتر از آستانه‌ی لاکتات، ۸ هفته تمرین در شرایط زیر آستانه‌ی لاکتات، به افزایش مشابهی در آستانه‌ی لاکتات منجر شده است. مطالعات نشان می‌دهند برای افزایش ماندگار (درازمدت) در پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی، تمرین در شرایط بالاتر از آستانه‌ی لاکتات موثرتر از تمرین در آستانه‌ی لاکتات است. با وجود این، دانستن این نکته ضروری است که هیچ گونه اطلاعاتی درباره اینکه سازگاری‌های تمرینی در پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی با چه سرعتی رخ می‌دهند، و یا اینکه چه شدت تمرینی برای تغییر پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی مطلوب است، وجود ندارد (گائینی و همکاران، ۱۳۸۳).

کوئین و همکاران[1] (۱۹۹۱) نشان داده‌اند این احتمال وجود دارد که بتوانیم شدت تمرین را بر اساس IAT (آستانه بی‌هوازی فردی) با دقت نسبتا خوب کنترل کنیم. اما کیث و همکاران[2] (۱۹۹۲) گزارش کرده‌اند که تمرین کردن فقط در IAT (تمرینات تداومی در حالت پایدار) در صورتی که جلسات تمرین به جلسه تمرینی زیر IAT و بالاتر از IAT (تمرینات تناوبی پایدار) تقسیم شوند، چندان موثر نخواهند بود، زیرا متوسط شدت تمرین همسان خواهد شد. لذا پژوهشگران یاد شده پیشنهاد می‌کنند زمانی که شدت تمرین با توجه به IAT تنظیم می‌شود– خواه تمرین به صورت تناوبی انجام شود یا تداومی– این شدت تمرین است که مقدار سازگاری را تعیین می‌کند.

نتایج تحقیقات گوناگون کاربردهای روشنی برای طراحی برنامه‌های تمرینی برای بهبود آمادگی و عملکرد استقامتی دارد. این بدان معناست که چون پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی با استقامت در ارتباط است و چون به نظر می‌رسد که آستانه‌ی لاکتات و دیگر پارامترهای لاکتات خون، به پروتکل‌های تمرینی ویژه حساس‌ترند تا به VO_2max، لذا ضروری است تا تمرین‌ها براساس شدت مناسب، به صورت اختصاصی طراحی شوند تا باعث بهبود پاسخ لاکتات خون به یک فعالیت استقامتی ویژه مشخصی شوند.

با توجه به اینکه پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی، شاخص بهتری از عملکرد استقامتی است تا VO_2max، لذا شناخت آثار تمرین بر پارامترهای گوناگون پاسخ لاکتات خون به فعالیت ورزشی اهمیت

1. Coen et al.
2. Keith et al.

خاصی دارد. بنابر یافته‌های مذکور در مورد آستانه بی‌هوازی، خستگی و زمان رسیدن به واماندگی؛ افراد با ویژگی‌های سنی متفاوت، وراثت، ارتفاع و آب و هوای مختلف و ویژگی‌های وابسته به جنس در آنها، با توجه به ویژگی‌های ساختاری و مورفولوژیکی و ورزشکار و غیر ورزشکار بودن افراد، پاسخ‌های متفاوتی در برابر شرایط میزان فعالیت در آستانه بی‌هوازی از خود نشان خواهند داد. بنابراین در این تحقیق با ارزیابی آستانه بی‌هوازی و تعیین ضربان قلب دختران ورزشکار و غیر ورزشکار در این آستانه، مدت زمان فعالیت در این آستانه را جهت ارایه شدت ومدتی مناسب برای طراحی برنامه تمرینی افراد مختلف مورد بررسی قرار دادیم.

۱-۵- اهداف تحقیق

۱-۵-۱- هدف کلی:

هدف از اجرای پژوهش حاضر، تعیین و مقایسه مدت زمان دویدن در آستانه بی‌هوازی تا لحظه رسیدن به واماندگی در بین دختران جوان ورزشکار و غیرورزشکار می‌باشد.

۱-۵-۲- اهداف ویژه:

۱. تعیین مدت زمان دویدن در آستانه بی‌هوازی در دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار.

۲. تعیین vVO_2max دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار.

۳. تعیین سرعت دویدن در لحظه رسیدن به واماندگی در دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار.

۴. تعیین آستانه بی‌هوازی در دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار.

۵. تعیین ضربان قلب آستانه بی‌هوازی در دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار.

۶. تعیین VO_2max دختران دانشجوی ورزشکار و غیر ورزشکار.

۱-۶- تعریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی

۱-۶-۱- آستانه‌ی بی‌هوازی

آستانه بی‌هوازی بعنوان شدت کار یا میزان اکسیژن مصرفی (VO_2) می‌باشد که با شروع اسیدوز سوخت و سازی و تغییرات در تبادل گازهای تنفسی همراه است (رگرس و همکاران، ۱۹۹۵). منظور از آستانه بی‌هوازی در این تحقیق، افزایش غیر خطی در مقدار تهویه‌ی ریوی(VE) نسبت به مقدار دی اکسید کربن تولیدی(VCO_2) می‌باشد که به عنوان نقطه جبران تنفس تعریف می‌شود.

۱-۶-۲- نقطه شکست ضربان قلب (HRDP)

به هنگام ایجاد یک فعالیت یا کار معین که به تدریج بار کار افزایش پیدا می‌کند، روند افزایش ضربان قلب همراه با بار کار در طول فعالیت ثبت شده و منحنی ضربان قلب – بار کار، ترسیم می‌گردد. در این منحنی همراه با افزایش بار کار، ضربان قلب نیز به صورت خطی افزایش می‌یابد، در شدتی از فعالیت، با افزایش بار کار، ضربان قلب با همان تندی قبلی افزایش نیافته و از خط راست منحرف می‌شود که تحت عنوان نقطه شکست ضربان قلب (HRDP) نامیده می‌شود (کانکانی و همکاران، ۱۹۸۲). منظور از نقطه شکست ضربان قلب در این پژوهش، انحراف ضربان قلب از خط افزایش تدریجی اولیه در هنگام اجرای پروتکل ورزشی می‌باشد.

۱-۶-۳- مدل Dmax

در مدل بیشترین فاصله، همزمان با افزایش بار کار، نقطه‌ی انحراف ضربان قلب از خط راست به عنوان ملاک عمل قرار می‌گیرد (بوندر و همکاران ۲۰۰۰). به عبارت دیگر، دو انتهای منحنی ضربان قلب توسط یک خط راست به هم وصل شده و بیشترین فاصله منحنی ضربان قلب از خط راست به عنوان نقطه‌ی شکست ضربان قلب مورد توجه قرار می‌گیرد (چنگ و همکاران ۱۹۹۲؛ کارا و همکاران ۱۹۹۹).

۱-۶-۴- حداکثر اکسیژن مصرفی VO_2max

حداکثر اکسیژن مصرفی(VO_2max) مقدار اکسیژنی است که فرد می‌تواند در یک دقیقه به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن خود مصرف کند. افرادی که از آمادگی بالاتری برخوردار هستند، دارای مقادیر بالاتری از VO_2max هستند و در مقایسه با افرادی که فاقد این سطح از آمادگی قلبی-تنفسی(VO_2max) هستند، می‌توانند با شدت بالاتری به تمرین و فعالیت بدنی بپردازند. مطالعات و تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که می‌توان VO_2max را با انجام تمریناتی با شدت ۶۵ تا ۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه حداقل به مدت ۲۰ دقیقه به تعداد سه تا پنج جلسه در هفته افزایش داد. مقادیر میانگین VO_2max (به شکل کلی) برای مردان ورزشکار ۳/۵ لیتر در دقیقه و برای زنان ورزشکار ۲/۷ لیتر در دقیقه است.(گائینی و همکاران، ۱۳۸۳)

۱-۶-۵- نقطه‌ی جبران تنفس

با پیشرفت فعالیت، PH خون کاهش زیادی نشان می‌دهد، که در نتیجه‌ی آن VE فراتر از نسبت آن به VCO_2 افزایش می‌یابد. این خمیدگی در شیب VE/VCO_2 به عنوان نقطه‌ی جبران تنفس خوانده

می‌شود(بیندر، ۲۰۰۸). منظور از نقطه جبران تنفس در تحقیق حاضر، انحراف VE/VCO_2 در منحنی مربوطه می‌باشد که این منحنی هنگام اجرای پروتکل ورزشی توسط آزمودنی، به وسیله دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی رسم شده است.

۱-۶-۶- منحنی عملکرد ضربان قلب

تغییرات میزان ضربان قلب-فشار کار را منحنی عملکرد ضربان قلب می‌گویند. به عبارتی، به هنگام انجام یک کار تمرینی با شدت فزاینده، تغییرات منحنی ضربان قلب به عنوان منحنی عملکرد ضربان قلب مورد توجه قرار می‌گیرد. معمولا پس از نقطه‌ی شکست ضربان قلب، منحنی عملکرد ضربان قلب به صورت فلات ادامه می‌یابد و تقریبا به صورت موازی با محور Xها ادامه می‌یابند (بوندر و همکاران، ۲۰۰۰). در پژوهش حاضر، ضربان قلب حین اجرای پروتکل، لحظه به لحظه ثبت گردیده است و منظور از منحنی عملکرد ضربان قلب، رسم نمودار مربوطه در نرم فزار Dmax می‌باشد.

۱-۶-۷- واماندگی

منظور از واماندگی، حالتی است که آزمودنی یا ورزشکار به هنگام اجرای پروتکل تمرینی، احساس می‌کند که دیگر توانایی ادامه‌ی فعالیت را ندارد و در نتیجه فعالیت خود را قطع می‌کند. واماندگی ارادی می‌تواند توسط خود آزمودنی یا مربی (یا محقق) که علائم را به طور عینی مشاهده می‌کند، تشخیص داده شود و ادامه‌ی فعالیت متوقف گردد (جونز و داست، ۱۹۹۷). در تحقیق حاضر منظور از واماندگی ارادی، حالتی است که علیرغم تشویق کلامی، آزمودنی از لحاظ فیزیولوژیکی و فیزیکی دیگر قادر به ادامه‌ی فعالیت روی دستگاه نوارگردان نمی‌باشد.

۱-۶-۸- افراد ورزشکار

در تحقیق حاضر، افراد ورزشکار، دانشجویان دختر فعال عضو تیم های ورزشی دانشگاه می‌باشد که حداقل دو سال سابقه‌ی ورزشی منظم دارند و حداقل سه جلسه در هفته به فعالیت ورزشی مشغول می‌باشند.

۱-۶-۹- افراد غیر ورزشکار

در تحقیق حاضر، افراد ورزشکار، دانشجویان دختر غیر فعال سالم می‌باشد که در طول هفته‌های اجرای آزمون و ۳ ماه پیش از آن هیچ نوع فعالیت ورزشی انجام نمی‌دادند.

فصل دوم

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مقدمه

فصل دوم تحقیق حاضر نگاهی اجمالی بر مبانی نظری تحقیق خواهد داشت. در این فصل ابتدا اطلاعات پایه درباره مفاهیم اولیه و نظری در مورد آمادگی بی‌هوازی، آستانه‌ی بی‌هوازی، ظرفیت کار فیزیکی، تعیین فیزیولوژیک حداکثر اکسیژن مصرفی، عوامل موثر در تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی افراد و زمان واماندگی ارایه می‌شود. سپس روش‌های برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی، معادلات برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی معرفی می‌گردد و در نهایت مطالعاتی که در مورد تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی و مدت زمان فعالیت تا رسیدن به واماندگی انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است.

س

۲-۱- ظرفیت کار بدنی

عوامل مختلف بسیاری در تعیین ظرفیت کار بدنی دخیل هستند که از جمله‌ی این عوامل می‌توان به ظرفیت کار فیزیکی یا آمادگی جسمانی اشاره نمود. آمادگی جسمانی شامل دو قسمت آمادگی جسمانی وابسته به تندرستی و آمادگی جسمانی وابسته به مهارت می‌باشد. سطح آمادگی جسمانی وابسته به تندرستی از ۵ بخش: ترکیب بدن، انعطاف پذیری، استقامت عضلانی، آمادگی قلبی عروقی و قدرت بدنی تشکیل شده است که هر یک از این فاکتورها با تندرستی و کاهس بروز خطر بیماری‌های مزمن در ارتباط هستند. آمادگی جسمانی وابسته به مهارت از ۶ بخش: توان، سرعت، تعادل، هماهنگی، چابکی و عکس العمل تشکیل شده است. این فاکتورها قابلیت‌هایی هستند که ورزشکار را در اجرای بهینه فعالیت ورزشی کمک می‌کنند، اما عموما سطح سلامتی افراد را بهبود نمی‌بخشند. بیشتر آزمون‌های آمادگی جسمانی بر روی آمادگی وابسته به تندرستی تمرکز دارند، زیرا عوامل آن برای سلامتی و تندرستی مفیدند و موجب بهبود سطح سلامت و تندرستی افراد می‌شوند(کوربین[1]، ۲۰۰۴). ظرفیت کار فیزیکی از اجزاء بسیاری تشکیل یافته است، بعنوان مثال در بیان اطلاعات مربوط به سطح آمادگی جسمانی بدن افراد بایستی حدالامکان مراحل آنالیز یک تفسیر مورد توجه قرار گیرد (ایولیک[2]، ۱۹۹۰). فاکتورهای موثر در ظرفیت کار فیزیکی در جدول ۱-۲ نمایش داده شده است (ایولیک، ۱۹۹۰). فعالیت بدنی روشی ساده برای تحمل ظرفیت کاری بالا می‌باشد و همچنین برای سلامتی سودمند است و می‌تواند به عنوان فاکتوری موثر در کاهش خطر وقوع بیماری‌های پرفشار خونی، قلبی عروقی، دیابت غیر وابسته به انسولین، حمله قلبی، پوکی استخوان، افسردگی و حتی انواع مختلفی از سرطان باشد. آمادگی قلبی عروقی پایین به عنوان فاکتوری مستقل و قوی بیماری‌های قلبی عروقی و بیشتر عوامل مرگ و میر را پیش بینی می‌کند (شفیلد[3]، ۲۰۰۲، ویی[4]، ۱۹۹۹). بر این اساس، اندازه‌گیری صحیح سطوح آمادگی جسمانی بویژه حداکثر توان هوازی می‌تواند نقش اساسی در ارزیابی سطوح سلامتی و فاکتورهای خطر آفرین تندرستی در افراد جوان بازی کند و همچنین می‌تواند به برنامه ریزی و طرح اهداف برنامه‌های

1. Corbin
2. Aulik
3. Seefeldt
4. Wei

کاهش دهنده‌ی عوامل خطرزای سلامتی و پیشرفت بهتر رفتارهای منجر به تندرستی کمک نماید (کیتینگ[1]، ۲۰۰۳).

جدول۱-۲. مجموعه‌ای از اجزای ظرفیت کار بدنی

حد بیشینه توان و استقامت عضلانی	سطح رشد و تکامل بدن	بیماری‌های حاد و مزمن
زیر ساخت‌های عضلانی وضعیت عضلات انعطاف پذیری وضعیت مفاصل تغییرات پاتولوژیک مهارت‌ها هماهنگی	سوماتوتایپ وضعیت بدنی ظرفیت کار فیزیکی منابع انرژی حداکثر توان و ظرفیت هوازی حداکثر توان و ظرفیت بی‌هوازی	تندرستی آنی تندرستی عمومی وضعیت بدنی انگیزش مقاومت در برابر خستگی تاثیر پذیری

منبع: ایولیک ۱۹۹۰

۲-۲- توان هوازی بیشینه

شاخص توان هوازی بیشینه (VO_2max) یکی از قدیمی‌ترین شاخصهای آمادگی جسمانی است که بوسیله‌ی آن می‌توان اجرای فعالیت‌های افراد را مورد ارزیابی قرار داد. به طور کلی توان هوازی بیشینه به حداکثر مقدار اکسیژنی که موجودات زنده توانایی دریافت از اتمسفر را دارند و این مقدار اکسیژن را به بافت‌ها منتقل می‌کنند اطلاق می‌شود. VO_2max به حداکثر مقدار اکسیژنی (میلی لیتر) که یک شخص در مدت یک دقیقه به ازای هر کیلوگرم از وزن خود می‌تواند مصرف کند گفته می‌شود (ترتیبیان، ۱۳۸۵). گاهی این تعریف اوج توان هوازی[2] را نیز در بر می‌گیرد. همچنین اصطلاحات معادل دیگری نظیر موارد زیر را نیز شامل می‌شود:

۱- حداکثر اکسیژن مصرفی ارادی[3] (حداکثر مقدار اکسیژنی است که کل بدن می‌تواند در طی تمرینات با شدت بالا در سطح دریا از مقادیر هوای تهویه‌ای کسب نموده و مصرف نماید).

1. Keating
2. Peak Aerobic Power
3. Maximum Voluntary Oxygen Consumption

۲- ظرفیت کار هوازی[1] (چون اکسیژن مصرفی با انرژی مصرفی به طور خطی در ارتباط هستند، بنابراین وقتی اکسیژن مصرفی اندازه‌گیری می‌شود در حقیقت حداکثر کار هوازی انجام شده توسط فرد به طور غیر مستقیم اندازه‌گیری می‌شود).

۳- ظرفیت استقامتی[2]

۲-۳- ظرفیت کار هوازی

توانایی اجرای کار هوازی با سطح توان هوازی یا حداکثر اکسیژن مصرفی مرتبط است. هر یک از این دو به عنوان بهترین شاخص ارزیابی کننده‌ی آمادگی قلبی تنفسی افراد شناسایی شده‌اند و به طور مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرند (آرمسترانگ[3]، ۱۹۹۸؛ آستراند[4]، ۱۹۶۸؛ لارسن و همکاران[5]، ۲۰۰۲؛ ناگل و همکاران[6]، ۱۹۸۴). VO_2max حداکثر مقدار اکسیژنی است که بدن قادر است در طی بیشترین تلاش دینامیک و به طور پیشرونده در گروه عضلات بزرگ فعال و در واحد زمان از اتمسفر کسب نماید و در بافت‌ها به مصرف برساند (بسیت،۲۰۰۰؛ هوولی، ۱۹۹۵؛ کنت، ۱۹۹۸). فاکتورهای بسیاری به طور بالقوه می‌توانند حداکثر اکسیژن مصرفی را محدود نمایند. نقش بعضی از فاکتورهایی که در زمینه محدودیت‌ها و تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی در حال حاضر وجود دارند نامشخص مانده است. هرچند که ارزش‌های موجود نشان می‌دهند که توانایی سیستم قلبی تنفسی (قلب، ریه‌ها و خون) در انتقال اکسیژن به عضلات فعال می‌تواند عامل اصلی در محدودیت حداکثر اکسیژن مصرفی باشد نه دیگر فاکتورهای مشابه (بسیت، ۱۹۹۷).

۲-۴- تعیین فیزیولوژیک حداکثر اکسیژن مصرفی(VO_2max)

هر سلول جهت تبدیل انرژی مواد غذایی به انرژی قابل استفاده جهت انجام کار سلولی (ATP) اکسیژن مصرف می‌نماید. هرچند عضلات بدن بزرگترین حجم را مصرف می‌نمایند ولی در حالت استراحت آنها به مقدار انرژی اندکی نیازمندند. بنابراین انقباض سلول‌های عضلانی به دامنه‌ی وسیعی از ATP نیاز دارد که این امر موجب می‌شود در طی تمرین مقادیر زیادی اکسیژن مصرف نمایند. مصرف بیشتر اکسیژن در طی تمرین نشان دهنده‌ی شدت بالاتر کار عضلانی است، زیرا این مقادیر اکسیژن

3. Aerobic Work Capacity
4. Endurance Capacity
1. Armstrong
2. Astrand
3. Larsen et al..
4. Nagel et al..

مصرفی برای تولید ATP جهت انقباض عضلانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی می‌توان گفت که فیبرهای عضلانی جهت تولید انرژی هوازی به دو چیز کاملا ابسته‌اند:

۱- سیستم خارجی جذب اکسیژن از اتمسفر برای کار سلول‌های عضلانی

۲- سیستم انتقال اکسیژن به میتوکندری جهت تولید انرژی هوازی

تمامی سلول‌های بدناکسیژن مصرف می‌کنند و دی اکسید کربن تولید می‌کنند. بنابراین می‌توان مقادیر اکسیژن مصرفی و دی اکسید کربن تولید شده در حجم هوای تهویه‌ای را توسط تجهیزاتی که نسبت اکسیژن به دی اکسید کربن را مورد اندازه گیری قرار می‌دهند تعیین نمود.

پیشرفت‌های اخیر تکنولوژی موجب شده که آنالیز تبادلات گازی در حین اجرای آزمون‌های ورزشی راحت‌تر صورت گیرد، و این تکنولوژی روز به روز در آزمایشگاه‌ها و کلینیک‌های تخصصی بیشتری به کار گرفته شود. در مقایسه با روش غیر مستقیم برآورد اکسیژن مصرفی (از میزان کار انجام شده) آنالیز مستقیم تبادلات گازی می‌تواند با دقت و تکرارپذیری بالایی عملکرد قلبی ریوی را ارزیابی نماید (نیوبرگ و همکاران[1]، ۱۹۸۸، سولیوان و همکاران[2]، ۱۹۸۴).

تکنولوژی تجزیه و تحلیل تبادلات گازی به بعضی تکنیک‌های مهارتی پایه وابسته است که این تکنیک‌های مهارتی را می‌توان به بخش‌های زیر تقسیم بندی کرد:

۱- کالیبره کردن

۲- اجرای پروتکل تمرینی

۳- چگونگی تفسیر نتایج بدست آمده از این تکنولوژی توسط پزشکان و یا فیزیولوژیست‌های ورزشی.

۲-۵- بیان توان هوازی بیشینه

به طور کلی واحدهای بیان آمادگی قلبی- تنفسی در منابع مختلف به دو قسمت تقسیم می‌شود: ۱) بیان VO_2max به صورت مطلق و ۲) بیان VO_2max به صورت نسبی. در رشته‌های ورزشی که عامل وزن بدن در هنگام اجرای فعالیت ورزشی حذف می‌گردد (مانند شنا، دوچرخه سواری و ...)، آمادگی قلبی تنفسی به صورت مطلق بیان خواهد شد ککه واحد اندازه‌گیری VO_2max، لیتر بر دقیقه (L/min)

1. Neuberg et al.
2. Sullivan et al.

می‌باشد. از طرفی، هنگامی که حرکات ورزشی در برابر نیروی ثقل اجرا می‌شود، در این حالت VO_2max بر حسب میلی لیتر/ کیلوگرم/ دقیقه (ml/kg/min) بیان می‌شود (سیاه کوهیان، ۱۳۸۸).

در میان تکنیک‌های متفاوت و صحیح، تطابق حداکثر اکسیژن مصرفی با اندازه‌ی بدن برای مدت‌های طولانی مورد بحث قرار گرفته است (بسیت، ۲۰۰۰). اکثر واژه‌های خاصی که با هدف طبیعی کردن حداکثر اکسیژن مصرفی بوسیله ابعاد بدن و سطوح بلوغ بیولوژیک در نوجوانان و بچه‌ها به کار می‌رود موجب کاهش مشکلات موجود در این زمینه می‌گردد (برگ[1]، ۱۹۹۱.، رگرس[2]، ۱۹۹۵).

۲-۶- ویژگی آزمون‌های اندازه‌گیری کننده حداکثر اکسیژن مصرفی

آزمون‌هایی که حداکثر مقدار اکسیژن مصرفی را اندازه‌گیری می‌کنند دارای شرایط ویژه‌ای هستند که شامل موارد زیر است:

۱- بکار گیری حداقل ۵۰٪ از کل توده‌ی عضلانی بدن (فعالیت‌هایی که این حجم از عضلات را فعال می‌کنند شامل دویدن، رکاب زدن و پارو زنی است، که معمولا در آزمایشگاه‌ها از روش دویدن بر روی نوارگردان‌هایی که قابلیت تغییر سرعت و شیب را دارند استفاده می‌شود).

۲- عدم وابستگی آزمون به قدرت، سرعت، اندازه‌ی بدن و مهارت افراد.

۳- دادن فرصت کافی به آزمودنی تا پاسخ‌های فیزیولوژیک سیستم قلبی عروقی وی به حداکثر برسد (معمولا در آزمون‌های بیشینه برآورد حداکثر اکسیژن مصرفی از پروتکل‌های تمرینی پیوسته‌ای که از ۶ تا ۱۲ دقیقه به طول می‌انجامد، صورت می‌گیرد.

۴- انگیزش بالای آزمودنی برای تداوم آزمون تا سر حد واماندگی.

در آزمون‌های نوارگردان افزایش در حداکثر اکسیژن مصرفی فرد با افزایش سرعت یا شیب نوارگردان قابل مشاهده است. زیرا با افزایش سرعت و شیب نوارگردان توده‌ی عضلانی بیشتری به کار گرفته می‌شود و اکسیژن مصرفی نیز افزایش پیدا می‌کند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شدت کار در آزمون‌های بیشینه حداکثر مقدار اکسیژن مصرفی به طور خطی افزایش می‌یابد (سیاه‌کوهیان، ۱۳۸۸).

1. Neuberg
2. Rogars

۲-۷- آستانه‌ی بی‌هوازی

شدتی از تمرین که اکسیژن مصرفی برای تامین انرژی مورد نیاز کافی نباشد و سطح اسید لاکتیک عضله و خون افزایش پیدا کند آستانه‌ی بی‌هوازی نامیده می‌شود. شدتی از ورزش که آستانه‌ی بی‌هوازی در آن رخ می‌دهد از ورزشکاری به ورزشکار دیگر متفاوت است. برای مثال، آستانه‌ی بی‌هوازی ورزشکاران غیر آماده و افراد غیر ورزشکار، بین ۵۵ تا ۶۵ درصد حداکثر اکسیزن مصرفی یا ۷۰ تا ۷۷ درصد حداکثر ضربان قلب است، در حالیکه در ورزشکاران استقامتی و ورزیده، آستانه‌ی بی‌هوازی ممکن است به بیش از ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی یا به بیش از ۸۸ درصد حداکثر ضربان قلب هم برسد. اصولا هرچه آستانه‌ی بی‌هوازی ئر یک ورزشکار بیشتر باشد، موفقیت او در فعالیت‌های استقامتی بیشتر خواهد بود. (رجبی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین پدیده‌ی نقطه‌ی شکست لاکتات، آغاز انباشت لاکتات پلاسما و آستانه‌ی بی‌هوازی به عنوان واژه‌های مترادف می‌توانند به جای همدیگر مورد استفاده قرار گیرند (گائینی و همکاران، ۱۳۸۳).

۲-۸- روش‌های برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی

روش‌های متعددی برای برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی استفاده می‌شود که در حالت کلی شامل روش‌های تهاجمی و غیر تهاجمی می‌باشد، اما توافق همگانی درباره‌ی این موضوع که کدام یک از این روش‌ها بهتر است، وجود ندارد. دقیق‌ترین روش‌ها در تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی، روش‌های تهاجمی است که مستلزم گرفتن نمونه‌های خونی متعدد در حین اجرای آزمون فزاینده‌ی استاندارد و تعیین مقدار لاکتات خون است که مقدار دقیق آن‌ها نیازمند امکانات پیشرفته‌ی آزمایشگاهی و کاری بس پیچیده و هزینه‌بر است. در این زمینه از روش‌هایی از قبیل افزایش ناگهانی و یا غیر خطی در غلظت لاکتات خون (کازتو و همکاران[1]، ۲۰۰۴)، رسیدن غلظت لاکتات خون به مقداری مشخص (۲/۵، ۳ و ۴ میلی مول در لیتر) (براچ و همکاران[2]، ۱۹۹۳)، تعیین آستانه لاکتات فردی بر اساس افزایش لاکتات خون به مقدار ۱/۵ میلی گرم بر دسی لیتر بیشتر از حالت پایه استفاده می‌شود.

از سویی، روش‌های غیر تهاجمی برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی، مبنی بر ارتباط بین ضربان قلب–بار کار و تعیین نقطه‌ی شکست ضربان قلب (کانکانی[3]، ۱۹۸۲؛ کانکانی، ۱۹۹۶) یا تغییر در پارامترهای گازی و

1. Kazuto et al.
2. Bbroch et al.
3. Conconi

تعیین آستانه‌ی تنفسی در هنگام اجرای فعالیت ورزشی (بیور و همکاران[1]، ۱۹۸۱؛ گیر و همکاران[2]، ۲۰۰۵؛ کازتو و همکاران، ۲۰۰۴؛ اوزلیک و همکاران[3]، ۲۰۰۳) می‌باشند. در برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی به وسیله‌ی پارامترهای گازی، روش‌های مختلفی پیشنهاد می‌شود. در روش نسبت تبادل تنفسی که در آن نسبت VCO_2 به VO_2 برای تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی استفاده می‌شود. آستانه‌ی بی‌هوازی همچنین به عنوان افزایش RER بالاتر از یک واحد مشخص که به طور معمول یک است، تعریف می‌شود (مایر[4]، ۱۹۹۷). روش دیگر، روش V-Slope می‌باشد (اوزلیک و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین از روش کنترل معادل تهویه‌ای اکسیژن نیز در برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی می‌توان استفاده نمود. در این روش آستانه‌ی بی‌هوازی به عنوان افزایش ناگهانی در نمودار مربوط به معادل تهویه‌ای اکسیژن، بدون اینکه با افزایش در معادل تهویه‌ای دی اکسید کربن همراه باشد، تعریف می‌شود(گیر و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین در تحقیقات متعدد برای تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی از راه کنترل شاخص‌های خونی از قبیل $PaCO_2$ استفاده نموده‌اند (بروئر[5]، ۱۹۸۷).

تحقیقات متعدد این روش‌ها را برای تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی مورد استفاده قرار دادند. پیشنهاد اوزلیک و همکاران (۲۰۰۳)، به عنوان بهترین روش تعیین آستانه‌ی بی‌هوازی، روش معادل تهویه‌ای بود، اما بروئر (۱۹۸۷) با کنترل شاخص $PaCO_2$، آستانه‌ی بی‌هوازی را مورد سنجش قرار دادند و نتیجه گرفت که نمی‌توان از این راه آستانه‌ی بی‌هوازی را تعیین کرد.

۲-۸-۱- استفاده از پاسخ‌های تهویه‌ای در فعالیت ورزشی برای برآورد آستانه‌ی بی‌هوازی

تعریف واسرمن از آستانه‌ی بی‌هوازی، میزان حجم اکسیژنی است که بیشتر از اکسیژن مورد نیاز فعالیت ورزشی است، لذا تولید انرژی از طریق ساز و کارهای بی‌هوازی تکمیل می‌شود. فرضیه‌های وی در شکل ۲-۱، نشان می‌دهد که هنگام فعالیت ورزشی فزاینده، گاهی به نقطه‌ای می‌رسیم که اکسیژن مورد نیاز به لحاظ سوخت و سازی، بیشتر از اکسیژن موجود در میتوکندری‌ها می‌باشد. این بی‌تعادلی در تامین اکسیژن مورد نیاز (اکسیزن مورد نیاز بیشتر از اکسیزن در دسترس است) باعث افزایش بی‌هوازی پیروات به لاکتات در سیتوزول سلول می‌شود. اسید لاکتیک به دلیل PK ی پایین آن، تقریبا به طور کامل

1.Beaver et al.
2.Geir et al.
3.Ozcelik et al.
4. Myer
2. Breuer