

تعیین ظرفیت بی هوازی با استفاده از کینتیک لاکتات خون در خلال فعالیت فرابیشینه یکنواخت

مجید نظری^۱، روح الله نیکویی^۲✉، حمید معرفتی^۳

۱. کارشناس ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، کرمان، ایران

۲. استادیار دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، کرمان، ایران

۳. استادیار دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، کرمان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۱۲/۳

چکیده

هدف: هدف از تحقیق حاضر تعیین ظرفیت بی هوازی با استفاده از کینتیک لاکتات خون در خلال فعالیت فرابیشینه یکنواخت بود. **روش تحقیق:** ۱۵ آزمودنی مرد فعال با میانگین سن $22 \pm 3/64$ سال و وزن $74 \pm 5/74$ کیلوگرم در سه جلسه مجزا یک آزمون فزاینده استاندارد جهت تعیین P_{max} ، یک آزمون فرابیشینه یکنواخت با $110\% P_{max}$ و آزمون وینگیت را به عنوان آزمون مرجع انجام دادند. در خلال انجام آزمون هر دقیقه یک بار، بلافاصله بعد از تمرین و در دقایق ۳، ۶ و ۹ مرحله ی ریکاوری لاکتات خون اندازه گیری شد. تغییرات لاکتات (ΔLa)، دامنه ی زمانی تغییرات لاکتات (ΔTLa) و حداکثر لاکتات تحمل شده (La_{max})، یکبار در حین تمرین و بار دیگر در مجموع دوره ی تمرین و ریکاوری، بوسیله نرم افزار *Microcal Origin* از نمودار غلظت لاکتات - زمان استخراج گردید. جهت تعیین توانایی پیش بینی از آنالیز رگرسیون چند گانه استفاده شد. **نتایج:** بین La_{max} ($r = 0/62, P < 0/05$)، ΔLa ($r = 0/79, P < 0/1$) و ΔTLa ($r = 0/67, P < 0/01$) در حین تمرین و La_{max} ($r = 0/7, P < 0/01$) و ΔLa ($r = 0/61, P < 0/01$) با ظرفیت بی هوازی ارتباط معنادار بدست آمد. امکان پیش بینی ظرفیت بی هوازی با استفاده از شاخص های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه ($r^2 = 0/71, P < 0/01$) وجود داشت. وجود داشت. امکان پیش بینی در مجموع فعالیت فرابیشینه و دوره ی ریکاوری بعد آن وجود نداشت. **بحث و نتیجه گیری:** بطور خلاصه نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مولفه های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه می تواند ظرفیت بی هوازی را پیش بینی کنند.

کلید واژه ها: ظرفیت بی هوازی، پارامترهای کینتیک لاکتات، آزمودنیهای فعال

Prediction of anaerobic capacity from lactate kinetics during constant supramaximal test

Abstract

Purpose: The aim of present study was to investigate the prediction of anaerobic capacity from lactate kinetic during supramaximal exercise. **Methods:** Fifteen active males with average values of age 22 ± 3.64 and weight 74 ± 5.74 performed an incremental test for P_{max} determination, a constant supramaximal test with 110% of their P_{max} and Wingate anaerobic test as the reference test in three separated sessions. Blood lactate concentration was measured before starting test, every minute during the test, immediately after exercise, and during recovery period at intervals 3, 6, and 9 min. Lactate changes (ΔLa), time constant of lactate changes (ΔTLa), maximum lactate accumulation (La_{max}) were calculated from lactate - time graph by *Microcal Origin software*. The relationship between variables was measured by Pearson correlation test and multiple regression analysis was used for ability of prediction. **Results:** Significant correlation was found between La_{max} ($P < 0.05$), ΔLa ($P < 0.01$), ΔTLa ($P < 0.01$) during the supramaximal test and ΔTLa ($P < 0.01$), La_{max} ($P < 0.01$) during recovery period with anaerobic capacity. Anaerobic capacity was predictable from lactate kinetic parameters during supramaximal test ($r^2 = 0.71, P < 0.01$). the prediction was not possible from these parameters during test and recovery period from it ($r^2 = 0.40, P < 0.01$). **Conclusion:** In summary, our results showed that lactate kinetic parameters during supramaximal test can be used for prediction of anaerobic capacity.

Key words: Anaerobic capacity, Lactate kinetics parameters, Active men

موبایل: ۰۹۱۲۶۶۱۲۸۵۶

✉ نویسنده مسئول: روح الله نیکویی

آدرس پست الکترونیکی: r_nikooie@uk.ac.ir

دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، کرمان، ایران

مقدمه

مول گلوکزی که در دستگاه گلیکولیتیک سوخته می شود، دو مول ATP و دو مول اسید لاکتیک تولید می شود. چنانچه لاکتات تولیدی در عضلات بیشتر از ظرفیت مصرف آن به شکل هوازی باشد- پس از افزایش آن تا حد معینی که معمولاً 10 mmol/kg وزن عضله تر است- توسط انتقال دهنده های خود در غشاء (مونوکربوکسیلات ترانسپورترها)^۳ عضله اسکلتی بدخل خون انتشار پیدا می کند(۹). در واقع لاکتات خون نشان دهنده میزان تولید و دفع لاکتات در بدن است(۱۰). با تداوم فعالیت بی هوازی بسته به میزان درگیری دستگاه گلیکولیتیک، غلظت لاکتات خون رفته رفته بیشتر می شود تا جائیکه مقادیر نزدیک به 15 mmol در لیتر در فعالیت هایی نظیر دوی 800 متر و شنای 400 متر گزارش گردیده است (۱۱). بنابراین اندازه گیری غلظت لاکتات خون نمادی غیر مستقیم از تولید انرژی به روش غیر هوازی در بدن است (۱۲، ۱۳). به دلیل اهمیت و درگیری دستگاه گلیکولیتیک در تامین انرژی در فعالیتهای ورزشی مختلف، استفاده از روش های ساده تری که همانند روش های سارجنت و بوسکو تنها به عملکرد متکی نباشد و از تغییرات فاکتورهای فیزیولوژیک همانند غلظت لاکتات خون نیز استفاده کند و در عین حال نسبت به روش های آزمایشگاهی دارای پیچیدگی کمتری بوده و اعتبار نسبی خوبی داشته باشد، از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. از آنجایی که اندازه گیری غلظت لاکتات خون بسیار راحت تر از جمع آوری گازهای تنفسی و تفسیر و تجزیه آنها در جهت تعیین کسر اکسیژن به عنوان برآوردی از ظرفیت بی هوازی است، تحقیقات متعددی از این شاخص جهت تعیین توان بی هوازی استفاده نموده اند. در تحقیقی که دافیلد و همکاران در سال 2005 به منظور تعیین اشتراک سیستم هوازی و بی هوازی در دوی 400 و 800 متر انجام دادند، استفاده از شاخص افزایش لاکتات خون در حین تمرین با موفقیت سهم مسیر بی هوازی در تامین انرژی فعالیت را پیش بینی می کرد (۱۴). در تحقیق کریستوفر و همکاران، شاخص افزایش در لاکتات خون سهم معنی داری در برآورد کل انرژی تولید شده از دستگاه بی هوازی داشت (۱۵). با این وجود، تحقیقی که از شاخص های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه به منظور پیش بینی توان بی هوازی استفاده نماید، انجام نشده است. لذا هدف از این تحقیق ارائه روشی غیر مستقیم، برای برآورد راحت تر ظرفیت بی هوازی در مقایسه با اندازه گیری کسر اکسیژن بود.

سیستم های تولید انرژی در بدن شامل سیستم های تولید انرژی هوازی و بی هوازی می شود. سیستم بی هوازی برای تولید انرژی متکی به اکسیژن نیست و شامل ATP ذخیره ای عضلات، ATP تولیدی دستگاه فسفاژن و گلیکولیتیک است. ذخیره ATP در عضلات اسکلتی بسیار محدود بوده (5 mmol/kg وزن عضله تر) و فقط در تک انقباض ها مثل ورزش های پرتابی و پرش ها انرژی مورد نیاز فعالیت را تولید می کند. دستگاه فسفاژن در فعالیت های بسیار شدید که 5 تا 8 ثانیه طول می کشند (شنای 50 متر و دوی 100 متر) دستگاه غالب تولید انرژی است (۱). ATP در این دستگاه بستگی به میزان ذخایر کراتین فسفات عضله دارد که بطور میانگین حدود 24 mmol/kg وزن عضله تر می باشد (۱۲). دستگاه گلیکولیتیک در فرایندی پیچیده تر، گلوکز را در طی یازده واکنش به اسید لاکتیک تبدیل، و دو مول ATP تولید می کند (۳). این دستگاه عمده انرژی تولید شده در فعالیت های کمتر از 2 دقیقه (مانند دوهای 400 ، 800 متر و شنای 100 و 200 متر) را تامین می کند (۴). معمولاً افتراق این دو سیستم در تامین انرژی فعالیت های کوتاه مدت غیر ممکن است و به همین جهت مجموع این دو سیستم به عنوان ظرفیت و توان دستگاه بی هوازی در نظر گرفته می شود (۲).

به دلیل اهمیت و درگیری دستگاه گلیکولیتیک در تامین انرژی در فعالیتهای ورزشی مختلف، روش های میدانی و آزمایشگاهی متعددی به منظور برآورد ظرفیت بی هوازی بوجود آمده است (۵، ۶) که در حال حاضر دقیق ترین روش سنجش کسر اکسیژن^۱ است که توسط مدبو^۲ ارائه گردیده است (۵). روش کسر اکسیژن، علی رغم دقت بالا در تعیین توان بی هوازی به تجهیزات آزمایشگاهی گران قیمت و افراد ماهر جهت آنالیز گازهای تنفسی نیاز دارد که این امر باعث افزایش هزینه، و زمان بر بودن این روش گردیده است (۷). لذا ارائه روش هایی که بصورت ساده تر انجام گیرد، در زمینه سنجش توان بی هوازی حائز اهمیت است.

بیشترین ATP تولید شده در سیستم بی هوازی، مربوط به دستگاه گلیکولیتیک می باشد بنابراین با سنجش انرژی تولید شده در این دستگاه می توان به صورت تقریبی انرژی تولیدی سیستم بی هوازی را اندازه گیری نمود (۵، ۳، ۲). در شرایط بی هوازی در عضله اسکلتی به ازاء هر

روش‌شناسی پژوهش

نمونه‌های پژوهش: تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی بود که با روش همبستگی انجام گردید. ۱۵ آزمودنی مرد فعال از دانشجویان دانشگاه شهید باهنر کرمان با میانگین سن $22 \pm 3/64$ سال، وزن $74 \pm 5/74$ کیلوگرم و قد $176 \pm 3/76$ سانتیمتر داوطلب شرکت در تحقیق حاضر شدند و در سه جلسه مجزا با فاصله زمانی یک هفته، یک آزمون فزاینده استاندارد تا رسیدن به واماندگی جهت تعیین P_{max} ، یک آزمون فرابیشینه یکنواخت سرحد واماندگی جهت تعیین ظرفیت بی هوازی با استفاده از پارامترهای کینتیک لاکتات و آزمون وینگیت را به عنوان روش مرجع در تعیین توان بی هوازی را به شرح زیر انجام دادند. هر آزمودنی حداقل دو سال سابقه ی تمرین منظم ورزشی بود اما هیچکدام از آزمودنی‌ها ورزشکار رقابتی نبودند. از آزمودنی‌ها خواسته شد که حداقل ۲۴ ساعت قبل از شرکت در تست‌ها از انجام هر گونه فعالیت‌های بدنی خودداری کنند.

آزمون تعیین P_{max} : در تست روز نخست، آزمودنی‌ها یک آزمون فزاینده برای تعیین P_{max} انجام دادند. آزمودنی‌ها ابتدا جهت گرم کردن رکاب زدن روی دوچرخه (مونارک E839 - سوئد) با شدت ۵۰ وات به مدت پنج دقیقه را انجام دادند. آزمون با شدت ۷۵ وات شروع، و هر دقیقه یکبار ۲۵ وات بر شدت کار افزوده شد در حالیکه آزمودنی‌ها موظف بودند سرعت رکاب زدن را روی ۶۰ RPM نگه دارند (۱۶). این عمل تا سرحد واماندگی که فرد دیگر قادر به ادامه ی آزمون نباشد ادامه پیدا می‌کرد. وقوع واماندگی در این آزمون، به عنوان عدم توانایی در حفظ RPM مورد نظر به مدت ۵ ثانیه تعریف شد. توان معادل با آخرین مرحله ای که آزمودنی‌ها توانسته بود به طور کامل انجام دهد به عنوان P_{max} تعریف، و جهت تعیین شدت در آزمون فرابیشینه استفاده شد.

آزمون فرابیشینه: در تست دوم که بعد از حداقل یک هفته ریکاوری انجام شد، آزمودنی‌ها ابتدا در شدتی معادل با ۵۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه رکاب زدند و سپس یک آزمون فوق بیشینه را با توان معادل با $110\% P_{max}$ تا سرحد واماندگی انجام دادند. نمونه خون در زمان‌های قبل از شروع تمرین، در حین تمرین هر دقیقه یک بار، بلافاصله بعد از تمرین و در دقایق ۳، ۶ و ۹ دوره ی ریکاوری جمع‌آوری و غلظت لاکتات خون با استفاده از دستگاه لاکتومتر (Lactate Scout، آلمان) اندازه‌گیری شد. نمودار غلظت

لاکتات- زمان برای هر آزمودنی به صورت جداگانه، یکبار برای داده‌های بدست آمده در حین تمرین و یکبار هم برای مجموع داده‌های تمرین و ریکاوری (روی هم) ترسیم شد، و ۳ مولفه ی کینتیک لاکتات بر روی هر نمودار به شرح زیر تعیین شد:

ΔLa : به عنوان اختلاف بین غلظت لاکتات در انتهای

آزمون و مقادیر اولیه ی آن دقیقاً قبل از شروع آزمون

ΔTLa : به عنوان مدت زمان رسیدن به میزان حداکثر

لاکتات تحمل شده در طول آزمون فرابیشینه

La_{max} : بیشترین مقدار لاکتات ثبت شده در خلال

آزمون فرابیشینه

ΔLa_{sum} : اختلاف بین حداکثر لاکتات بدست آمده در

مجموع مراحل ریکاوری و تمرین و مقادیر اولیه آن دقیقاً قبل از شروع آزمون

$La_{max, sum}$: به عنوان اختلاف بین غلظت لاکتات دقیقاً

قبل از شروع آزمون و بیشترین مقادیر آن در دوره ی

ریکاوری آزمون

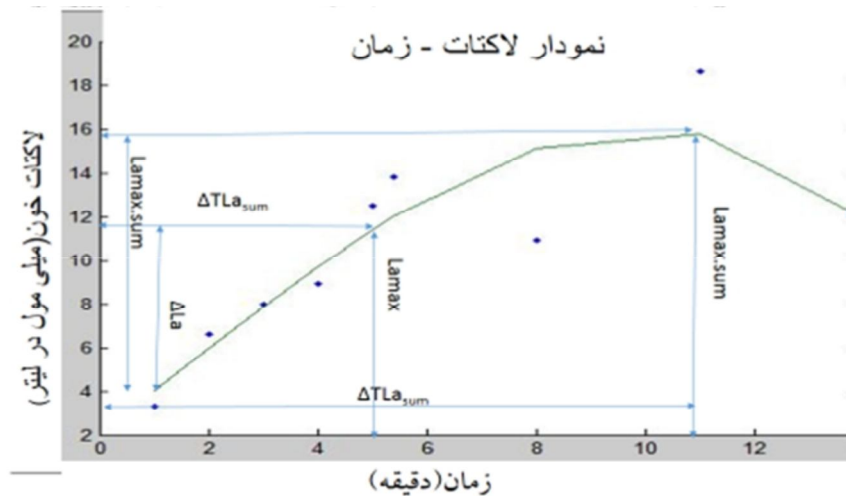
ΔTLa_{sum} : مدت زمان رسیدن به میزان حداکثر لاکتات

ثبت شده در مرحله ی ریکاوری و تمرین

جهت تعیین مولفه‌های فوق ابتدا بر روی داده‌ها در نمودار لاکتات - زمان بهترین منحنی با روش حداقل مجذورات خطا ترسیم و نقاط فوق با استفاده از نرم افزار Microcal Origin از نمودار و معادله مربوطه استخراج گردید (۱۷). شکل ۱ منحنی لاکتات - زمان یک آزمودنی در خلال آزمون فرابیشینه و ریکاوری بعد از آن را نشان می‌دهد که متغیرهای فوق بر روی آن نمایش داده شده‌اند.

آزمون وینگیت: در نهایت آزمودنی‌ها در جلسه ی سوم آزمون استاندارد ۳۰ ثانیه ای وینگیت را به عنوان روش مرجع جهت تعیین ظرفیت بی هوازی انجام دادند. نحوه اجرای آزمون دقیقاً مطابق با دستورالعمل اجرایی گزارش شده برای این آزمون بود (۴).

روش تعیین ظرفیت بی هوازی با استفاده از مولفه‌های کینتیک لاکتات: جهت تعیین ظرفیت بی هوازی با استفاده از مولفه‌های کینتیک لاکتات، شاخص‌های مورد نظر از منحنی لاکتات - زمان استخراج و وارد آنالیز رگرسیون شدند. معادله رگرسیونی برای برآورد ظرفیت بی هوازی بوسیله ی شاخص‌های کینتیک لاکتات یک بار برای کینتیک لاکتات در حین تمرین و یک بار برای کینتیک لاکتات مجموع مراحل ریکاوری و تمرین استخراج شد.



شکل ۱. منحنی لاکتات-زمان یک آزمودنی در خلال آزمون فرابیشینه (صفر تا ۵ دقیقه) و ریکاوری بعد از آن (دقیقه ۵ به بعد)

بود که از فرمول زیر محاسبه گردید (۲۰):

$$\text{شاخص خستگی} = \frac{(\text{حداکثر توان} - \text{حداقل توان})}{\text{حداقل توان}} \times 100$$

جدول ۱. مولفه های کینتیک لاکتات خون و برخی فاکتور های فیزیولوژیک آزمودنی ها در خلال آزمون فرابیشینه (n = ۱۵)

متغیر	میانگین + انحراف معیار
ΔLa (میلی مول در لیتر)	۷/۵ ± ۰/۴۹
ΔTLa (دقیقه)	۴/۹ ± ۰/۲۴
La _{max} (میلی مول در لیتر)	۱۱/۳ ± ۰/۸
ΔLa _{sum} (میلی مول در لیتر)	۱۰/۹ ± ۰/۷۶
La _{max, sum} (میلی مول در لیتر)	۱۷/۵ ± ۱/۸۳
ΔTLa _{sum} (دقیقه)	۹/۳ ± ۱/۸۴
لاکتات قبل از آزمون (میلی مول در لیتر)	۳/۳ ± ۰/۶۸

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین سه شاخص حداکثر لاکتات تحمل شده (La_{max}) ($P < ۰/۰۵$), $r = ۰/۶۲$ ، تغییرات لاکتات (ΔLa) ($P < ۰/۱$, $r = ۰/۷۹$)، زمان رسیدن به لاکتات حداکثر (ΔTLa) ($P < ۰/۰۱$), $r = ۰/۶۷$ در خلال آزمون فرابیشینه با ظرفیت بی هوازی ارتباط معنی داری وجود دارد. نتایج آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره نشان داد، امکان پیش بینی ظرفیت بی هوازی با استفاده از شاخص های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه از طریق معادله $y = -313x_1 + 123/9x_2 + 68/3x_3 + 987$

روش های تجزیه و تحلیل آماری

برای توصیف داده ها از شاخص های مرکزی، پراکنندگی، میانگین و SD استفاده شد. نرمال بودن توزیع داده ها با آزمون K-S سنجیده شد و برای تعیین ارتباط بین متغیرها از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. برای تعیین امکان پیش بینی، و معادله ی پیش بین ظرفیت بی هوازی بوسیله ی شاخص های کینتیک لاکتات و از آنالیز رگرسیون چند متغیره استفاده شد. جهت تعیین توافق بین توان بی هوازی برآورد شده بوسیله آزمون وینگیت و شاخص های کینتیک لاکتات از روش Blond-Altman استفاده گردید. سطح معنی داری در تمام آزمون ها $\alpha = ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

یافته ها

توصیف پارامترهای کینتیک لاکتات حاصله از آزمون فرابیشینه در جدول ۱ آمده است. دامنه زمانی انجام آزمون فرابیشینه ۴/۴ - ۳/۲ دقیقه بود. تمامی آزمودنیها در محدوده زمانی ۴ تا ۶ دقیقه مرحله ریکاوری بیشترین میزان لاکتات خون را تجربه کردند که به طور قابل ملاحظه از حداکثر لاکتات تحمل شده در خلال آزمون فرابیشینه بالاتر بود.

میانگین مقادیر بدست آمده در آزمون وینگیت برای توان بی هوازی کل ۱۳۲ ± ۱۵۷۴ (ژول)، توان بی هوازی میانگین ۲۰ ± ۳۹۵ (ژول) و شاخص خستگی ۱۲ ± ۱۳۰

مشاهده شده نتایج آزمون رگرسیون خطی چندمتغیره نشان داد که امکان پیش بینی ظرفیت بی هوازی با استفاده از شاخص های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه و دوره ریکاوری بعد از آن وجود ندارد.

بحث و نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف تعیین ظرفیت بی هوازی با استفاده از کینتیک لاکتات خون در خلال فعالیت فرابیشینه یکنواخت به انجام رسید. مهمترین یافته این تحقیق این بود که امکان پیش بینی ظرفیت بی هوازی با استفاده از شاخص های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه وجود دارد و ۷۱ درصد از تغییرات واریانس مشاهده شده در توان بی هوازی بدست آمده از آزمون وینگیت با این روش قابل پیش بینی است.

در تحقیق حاضر اندازه گیری مولفه های کینتیک لاکتات در خلال یک آزمون فرابیشینه با ۱۱۰ درصد P_{max} انجام گردید. علت اجرای این آزمون فرابیشینه به حداقل رساندن سهم سیستم هوازی در تأمین انرژی در حین تمرین بود چرا که این آزمون ها تنها زمانی که در شدت بالا انجام می شوند دارای اعتبار بالایی در برآورد ظرفیت بی هوازی می باشند (۲۰، ۱۹، ۱۸). از طرف دیگر شدت فعالیت فوق بیشینه به گونه ای انتخاب شد که موجب خستگی زودرس قبل از حصول ظرفیت بی هوازی نشود،

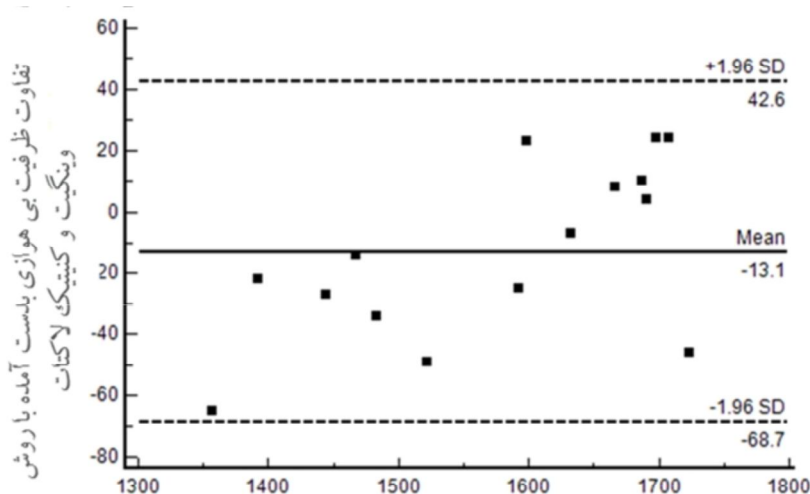
وجود دارد ($r^2 = 0.71$, $P < 0.01$). در این فرمول x_1 نماد La_{max} ، x_2 نماد ΔTLa و x_3 نشان دهنده ΔLa می باشد. میزان تأثیر (Beta) هر یک از سه شاخص پیش بین ظرفیت بی هوازی و معناداری آن شاخص در معادله پیش بین در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: مشخصات شاخص های تعریف شده در معادله ی کینتیک

متغیر	بتا	P value
(میلی مول در لیتر) ΔLa	۰/۶۸	۰/۰۰۵
(دقیقه) ΔTLa	۰/۶۳	۰/۰۵
(میلی مول در لیتر) La_{max}	-۰/۴۸	۰/۰۵

نتایج آزمون بلاند - آلتمن نشان داد ظرفیت بدست آمده با روش وینگیت و مولفه های کینتیک لاکتات در خلال آزمون فرابیشینه در سطح ۹۵ درصد اطمینان با یکدیگر توافق دارند (شکل ۲).

بین حداکثر لاکتات مجموع دوره ی فعالیت و ریکاوری ($La_{max} \cdot sam$) ($r = 0.7$, $P < 0.01$) و تغییرات لاکتات در مجموع این دو دوره (ΔLa_{sum}) ($r = 0.61$, $P < 0.01$) با ظرفیت بی هوازی ارتباط معنی داری وجود داشت. اما بین ظرفیت بی هوازی و زمان رسیدن به اوج لاکتات در مجموع دوره ی ریکاوری و تمرین ΔTLa_{sum} ارتباط معنادار وجود نداشت. علیرغم وجود روابط معنی دار



شکل ۲: نتایج آزمون بلاند - آلتمن (متغیر: توان بی هوازی بدست آمده با روش وینگیت و کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه)

شکل ۲: نتایج آزمون بلاند - آلتمن (متغیر: توان بی هوازی بدست آمده با روش وینگیت و کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه)

همراستا با سطوح عضلانی آن است (۲). به دلیل وجود این ارتباط نزدیک بین سطوح لاکتات خون و عضله، تحقیقات متعددی از شاخص لاکتات خون جهت پیش بینی توانایی بی هوازی بدن یا انرژی تولیدی در دستگاه بی هوازی استفاده نمودند. به عنوان مثال در تحقیقی که دافیلد و همکاران در سال ۲۰۰۵ به منظور تعیین اشتراک سیستم هوازی و بی هوازی در دوی ۴۰۰ و ۸۰۰ متر انجام دادند، استفاده از شاخص افزایش لاکتات خون در حین تمرین با موفقیت سهم مسیر بی هوازی در تأمین انرژی فعالیت را پیش بینی می کرد (۱۴). یا در تحقیق کریستوفر و افزایش در لاکتات خون سهم معنی داری در برآورد کل انرژی تولید شده از دستگاه بی هوازی داشت (۱۵). در تحقیق حاضر نیز افزایش در سطوح لاکتات خون در خلال آزمون فرایبشینه با ظرفیت بی هوازی رابطه معنادار داشت. در این رابطه توانایی بیشتر بدن در تولید لاکتات به منزله داشتن ظرفیت بی هوازی بالاتر فرد است. تولید لاکتات در انتهای گلیکولیز بی هوازی راه حلی سازشی است که با تولید NAD^+ منجر به راه اندازی واکنش ششم گلیکولیز و تداوم این مسیر می شود. (۲). این اصل بیوشیمیایی در تحقیق حاضر نیز دیده شد جایی که توانایی بدن در تولید لاکتات - که در قالب شاخص ΔLa نشان داده شد - با ظرفیت بی هوازی ارتباط مستقیم داشت.

شاخص ΔLa مجموعی از لاکتات تولیدی در حین تمرین به علاوه سطوح استراحتی لاکتات را بیان می نماید و با توجه به این که هدف تحقیق حاضر سنجش تغییرات لاکتات خون در حین تمرین فرایبشینه بود، لذا مولفه ی ΔLa در نمودار کنتیک لاکتات نیز در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق ارتباط مثبت و بالایی بین متغیر ΔLa بر ظرفیت بی هوازی نشان داد. مبانی فیزیولوژیک حمایت کننده از این ارتباط با آنهایی که در مورد La_{max} گفته شد مشابه هستند. ارتباط بین این متغیر با ظرفیت بی هوازی بالاتر از ارتباط به دست آمده بین La_{max} و ظرفیت بی هوازی بود. این ارتباط بالاتر احتمالاً به دلیل حذف مقادیر استراحتی لاکتات از شاخص ΔLa در حین تمرین است. علاوه بر عضله ی اسکلتی، اندام های دیگری نظیر گلبول قرمز و اسپریماتوزوئید نیز در تولید و مصرف لاکتات، بخصوص در حالت استراحت نقش دارند (۲، ۲۴). لذا حذف اثر آن ها در تعیین سطوح لاکتات خون در قالب متغیر ΔLa ارتباط این متغیر با ظرفیت بی هوازی را بیشتر نموده است.

چرا که زمان حصول ظرفیت بی هوازی زمانی بین ۲ تا ۵ دقیقه است (۲۲، ۲۱، ۱۱). در زمان های بالاتر از این به دلیل اشتراک مسیر هوازی در تأمین انرژی برآورد ظرفیت بی هوازی با خطایی برابر با ۳ تا ۵ درصد مواجه می شود (۲). در تحقیقات متفاوت، شدت مناسب برای واماندگی در دامنه زمانی ۲ تا ۵ دقیقه بین ۱۱۰ تا ۱۳۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی گزارش شده است (۷، ۵). با در نظر گرفتن مطالب فوق در تحقیق اخیر نیز شدت فعالیت فرایبشینه برابر $110\% P_{max}$ انتخاب گردید تا بر آورد صحیح ظرفیت بی هوازی امکان پذیر باشد. انتخاب این شدت باعث شد که آزمودنی های تحقیق واماندگی را در دامنه زمانی ۴/۴ - ۳/۲ دقیقه تجربه نمایند که مولفه ی تمرینی این آزمون با شرایط ارائه شده جهت اندازه گیری ظرفیت بی هوازی همسو می باشد. دیگر داده تحقیق که دلالت بر غالب بودن مسیر بی هوازی در تأمین انرژی در خلال فعالیت فرایبشینه می باشد، مقادیر حداکثر لاکتات تحمل شده در انتهای فعالیت فرایبشینه می باشد. آزمودنی های تحقیق حاضر به طور میانگین مقادیر لاکتات معادل با ۱۱/۳ میلی مول بر لیتر را از خود نشان دادند. این در حالی است که افزایش سطوح لاکتات خون به بالای ۱۲ میلی مول در لیتر به عنوان درگیری شدید سیستم گلیکولیز بی هوازی در تأمین انرژی فعالیت قلمداد می شود (۴).

با توجه به این موارد و حصول اطمینان از این که دستگاه غالب در تأمین انرژی در تحقیق حاضر گلیکولیز بی هوازی بود، ماحصل درگیری این دستگاه افزایش زیاد لاکتات خون در حین تمرین (La_{max}) بود که با ظرفیت بی هوازی به دست آمده از آزمون وینگیت رابطه معنی دار داشت. تولید انرژی در دستگاه گلیکولیز بی هوازی ابتدا باعث تولید و افزایش لاکتات عضله می شود. لاکتات تولیدی سپس با استفاده از انتقال دهنده های لاکتات وارد جریان خون شده و باعث افزایش لاکتات خون می گردد. هر چند سطح افزایش یافته در درون عضله و خون دقیقاً با هم یکی نیستند اما اندازه گیری لاکتات خون برآوردی از تجمع لاکتات درون عضلانی است که خود نمادی از انرژی تولیدی در دستگاه بی هوازی بدن می باشد (۲۳). به عنوان مثال نشان داده شده است که در حین فعالیت ورزشی شدید که لاکتات عضله تا ۳۰ میلی مول به ازای هر کیلوگرم وزن تر افزایش می یابد، لاکتات خون نیز تا ۲۵ میلی مول در لیتر افزایش نشان می دهد که تقریباً

فسفاژن در ظرفیت بی هوازی به دست آمده در آزمون وینگیت می تواند دلیل احتمالی باشد. در پیش بینی ظرفیت بی هوازی با استفاده از مولفه های کینتیک لاکتات در تحقیق حاضر سهم دستگاه فسفاژن در تأمین انرژی در حین فعالیت فرابیشینه نادیده گرفته می شود. این مهم بایستی به عنوان یکی از محدودیت های تحقیق حاضر در نظر گرفته شود. جهت رفع این نقیصه، اندازه گیری کسر اکسیژن فعالیت فرابیشینه که امکان اضافه شدن سهم دستگاه فسفاژن را میسر می سازد به محققان بعدی پیشنهاد می گردد.

در تحقیق حاضر کینتیک لاکتات و مولفه های آن در حین ریکاوری بعد از فعالیت نیز مورد بررسی قرار گرفت. منطق فیزیولوژیک این کار این بود که لاکتات تولیدی درون عضله در انتهای فعالیت فرابیشینه با تأخیر چند دقیقه ای وارد جریان خون می شود. انتقال لاکتات بین عضله و خون وابسته به انتقال دهنده های لاکتات MCT1 و MCT4 در غشای عضله اسکلتی است (۲۵). MCT4 که خروج لاکتات از درون عضله ی به خون را واسطه گری می کند، km برابر با حدود ۱۰ میلی مول دارد و با توجه به اینکه این ایزوفرم تنها ایزوفرم درگیر در خروج لاکتات از عضله ی اسکلتی است، لذا تا زمانی که سطوح لاکتات در داخل عضله اسکلتی به مقادیر ۱۰ میلی مول در کیلوگرم نرسد، خروج لاکتات از عضله ی اسکلتی به درون جریان خون اتفاق نمی افتد (۸). لذا دیده می شود پس از اتمام فعالیت با وجود توقف تمرین سطوح لاکتات خون در دوره ریکاوری همچنان تمایل به افزایش دارد و این افزایش تا ۵-۱۰ دقیقه بعد از فعالیت در دوره ی ریکاوری دیده می شود (۲۵، ۹). به این دلیل در تحقیق حاضر کینتیک لاکتات و مولفه های آن در حین ریکاوری از فعالیت نیز مورد بررسی قرار گرفت با این هدف که با توجه به مطالب فوق الذکر امکان پیش بینی

قوی تر ظرفیت بی هوازی میسر گردد. تأخیر در ورود لاکتات از عضله به خون در تحقیق حاضر نیز مشاهده گردید. در اکثر آزمودنی ها حداکثر لاکتات تجمع یافته در خون ($La_{max.sam}$) از (La_{max}) بیشتر بود و در دامنه ی زمانی ۴-۶ دقیقه بعد از اتمام پروتکل تمرینی اتفاق افتاد. با وجود این عمل زمانی که متغیر های دوره ریکاوری جهت پیش بینی ظرفیت بی هوازی مورد استفاده قرار گرفتند، قدرت پیش بینی نسبت به دوره تمرین تا حدود زیادی کاهش پیدا کرد و امکان پیش بینی میسر نشد.

در تحقیق حاضر بین شاخص ΔTLa با ظرفیت بی هوازی ارتباط معناداری یافت شد. متغیر ΔTLa در تحقیق حاضر به این دلیل وارد شد که این مولفه نمادی از توان دستگاه گلیکولیز بی هوازی در تأمین انرژی است (۱۳). دو مولفه ی قبلی یعنی ΔLa و La_{max} که با حداکثر میزان تجمع لاکتات در ارتباط هستند به نوعی ظرفیت این دستگاه را بازگو می نمایند. این در حالی است که شاخص ΔTLa زمان رسیدن به حداکثر تجمع لاکتات را بازگو می کند که نمادی از توان دستگاه گلیکولیز بی هوازی است. در تأیید این مطلب زمانی که ارتباط بین ΔTLa و مقادیر اوج توان^۴ به دست آمده در آزمون وینگیت سنجیده شده ارتباط بسیار بالایی بین این دو متغیر به دست آمد ($r = 0/89$). شایان ذکر است که peak power در آزمون وینگیت بیان گر توان دستگاه بی هوازی است (۲۲). ظرفیت بی هوازی کل را توان و ظرفیت بی هوازی تعیین می کند و به همین دلیل در تحقیق حاضر شاخص ΔTLa با ظرفیت بی هوازی کل ارتباط معنی داری را نشان می دهد.

مهمترین یافته این تحقیق این بود که امکان پیش بینی ظرفیت بی هوازی با استفاده از شاخص های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه وجود دارد و ۷۱ درصد از تغییرات واریانس مشاهده شده در توان بی هوازی بدست آمده از آزمون وینگیت با این روش قابل پیش بینی است. علیرغم بدست آمدن این نتیجه دو نکته اساسی باید در تفسیر این نتیجه مد نظر قرار گیرد. اول اینکه لاکتات اندازه گیری شده در تحقیق حاضر ماحصلی از تولید و پاکسازی این سوبسترا می باشد در حالیکه تولید این فرآورده به تنهایی بایستی در تعیین ظرفیت بی هوازی مد نظر قرار گیرد. لذا به منظور رفع اثر احتمالی فرایند پاکسازی لاکتات بر مولفه های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه، انجام مشابه همین تحقیق با روش خونگیری وریدی (حتی المقدور از ورید اندام تحتانی) به محققان بعدی پیشنهاد می شود. عامل دومی که باید در تفسیر نتایج تحقیق حاضر در نظر گرفته شود این است که فقط ۷۱ درصد از واریانس ظرفیت بی هوازی به دست آمده در آزمون وینگیت با مولفه های کینتیک لاکتات در خلال آزمون فرابیشینه قابل پیش بینی بود که نشان می دهد عوامل دیگر غیر از مولفه های کینتیک لاکتات همانند قدرت، یا درگیری دستگاه فسفاژن در مقادیر به دست آمده در آزمون وینگیت درگیر می باشد. درگیر بودن دستگاه

- 12 - Pires O, Adriano E, Ronaldo V Barros RV, MAP Dal, Kiss M. (2006). Characterization of the blood lactate curve and applicability of the Dmax model in a progressive protocol on treadmill. *J Rev Bras Med sport*. 12(2): 61 – 65.
- 13 - Beneke R, Hutler M, Jung M, Leithäuser MR. (2005). Modeling the blood lactate kinetics at maximal shortterm exercise conditions in children, adolescents, and adults. *J Applied physiology*. 99: 499–504
- 14 - Duffield, R, Dawson, B, and Goodman, C. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences* 23(3): 299 – 307, 2005.
- 15 - Scott CB. (2006). Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. *J Strength Cond Res*. 20(2):404-11.
- 16 - Hall G, Saris WH, Schoor PA, Wagenmakers AJ. (2000). The effect of free glutamine and peptide ingestion on the rate of muscle glycogen resynthesis in man. *Int J Sports Med*. 1(1):25-30.
- 17 - Gharbi A. Lactate kinetics after intermittent and continuous exercise training. *J Sports Science and Medicine*. 2008. 7: 279-285.
- 18 - Medbo JJ, Arne-Christian M, Izumi T, et al. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Applied physiology*. 64(1): 50-60.
- 19 - Nummela A, Alberts M, Rijntjes RP, Luhtanen P, Rusko H. (1996). Reliability and validity of the maximal anaerobic running test. *Int J Sports Med*. 17(2): 97-102.
- 20 - Tossavainen M, Nummela A, Paavolainen L, Rushko H. (1996). Comparison of two maximal anaerobic cycling tests. *Int J Sports Med*. 2:120-124.
- 21 - Baker JS, Davies B. (2004). Interrelationship between laboratory and field measures of performance. *J Exerc Physiol*. 7 (5):44-51.
- 22 - Baltzopoulos V, Eston RG, Melaren D. (1988). A comparison of power outputs on the Wingate test and on a test using an isokinetic device. *Ergonomic*. 31:1693-9.
- 23 - Åstrand PO, Hultman E, Juhlin- Danfelt A, Renolds G. (1986). Disposal of lactate during and after strenuous exercise in humans. *J Appl Physiol*. 61:338-43.
- 24 - Franc P, Eronnet F, Aguilaniu B. (2005). Lactic acid buffering, nonmetabolic CO₂ and exercise hyperventilation: A critical reappraisal. *J Respiratory Physiology & Neurobiology*. 10(16): 1569-9048.
- 25 - Thomas C, Perrey S, Lambert K, Hugon G, Mornet D, Mercier J. (2004). Monocarboxylate transporters, blood lactate removal after supramaximal exercise, and fatigue indexes in humans. *J Applied Physiology*. 98(3): 804–809.

به طور خلاصه نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مولفه‌های کینتیک لاکتات در حین فعالیت فرابیشینه می‌تواند ظرفیت بی‌هواری را پیش‌بینی کنند و سهم قابل توجهی از واریانس ظرفیت بی‌هواری از این طریق قابل پیش‌بینی است. لذا استفاده از این روش در مکانهایی که امکان استفاده از سایر آزمونها وجود ندارد به مریبان و ورزشکاران پیشنهاد می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. oxygen deficit
2. MEDBO
3. Monocarboxylate transporters
4. Peak power

منابع:

- 1 - Denton J, Cronin JB. (2006). Kinematic, kinetic, and blood lactate profiles of continuous and intraset rest loading schemes. *J Strength Cond Res*. 20(3): 528–534.
- 2 - Farrell PA, Joyner M, Caiozzo V. (2012). Advanced exercise physiology. American College of Sports Medicine Philadelphia. 2nd ed, page 367.
- 3 - Gladden LB. (2000). Muscle as a consumer of lactate. *Med Sci Sports Exerc*. 32(4): 764-771.
- 4 - Ozturk M, Ozer K, Gokce E. (1998). Evaluation of blood lactate in young men after Wingate anaerobic power test. *East J Med*. 3(1):13-16.
- 5 - Hamlin MJ, Draper N, Blackwell G, Jeremy P, Shearman JP, Nicholas E et al. (2012). Determination of maximal oxygen uptake using the bruce or novel athlete-led protocol in a mixed population. *J Physiology & Sports Medicine*. 31: 97-104.
- 6 - Hoffman JR, Kang J. (2002). Evaluation of a New Anaerobic Power Testing System. *J Strength and Conditioning Research*. 16(1): 142–148.
- 7 - Bengt SB, Astrand P. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *J Applied physiology*. 23(3): 353-358.
- 8 - Armstrong N, Barker AR. (2012). New insights in paediatric exercise metabolism. *Journal of Sport and Health Science*. 1: 18-26.
- 10 - Goodwin M, Harris J, Hernández. A, Gladden B. (2007). Blood Lactate Measurements and Analysis during Exercise: A Guide for Clinicians. *J. Diabetes Science and Technology*. 1(4): 558-569.
- 11- Carey DG, Richardson MT. (2003). Can aerobic and anaerobic power be measured in a 60-second maximal test. *J Sports Science and Medicine*. 2: 151-157.