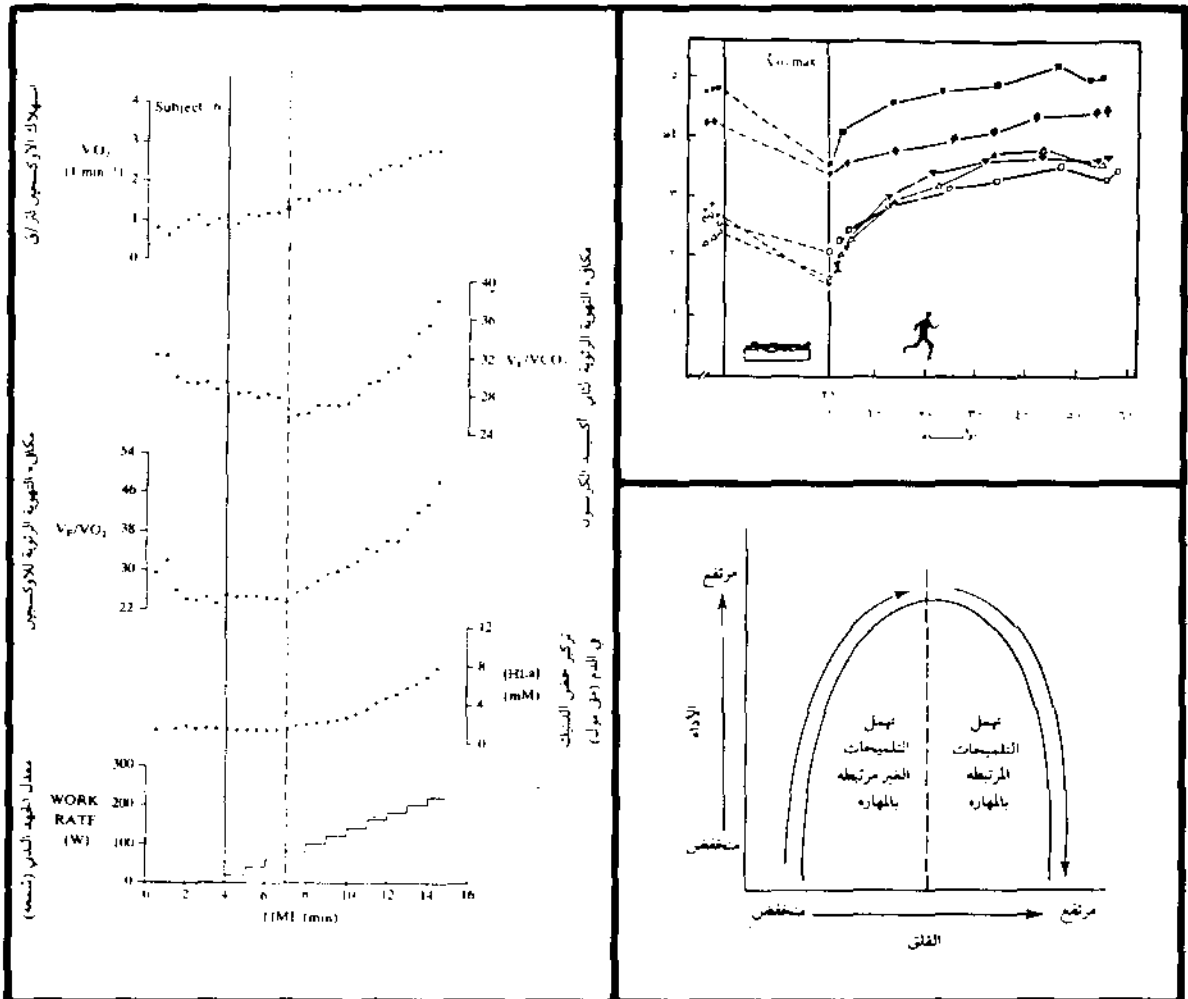




المملكة العربية السعودية  
الإتحاد العربي السعودي للطب الرياضي

# موضوعات معاصرة في الطب الرياضي وعلم الحركة



إعداد: الدكتور هزاع محمد الهزاع

والدكتور يحيى كاظم النقيب

ومساهمة نخبية من المختصين وأساتذة الجامعات

١٤١٠ هـ = ١٩٨٩ م

# العتبة اللاهوائية

## المعنى والدلالة

### The Anaerobic Threshold: Its Meaning and Significance

د. هزاع محمد الهزاع

استاذ وظائف أعضاء الجهد البدني المساعد

قسم التربية البدنية

كلية التربية - جامعة الملك سعود

الرياض - المملكة العربية السعودية

#### المحتويات:

١ - مقدمة.

٢ - تطور مفهوم العتبة اللاهوائية.

٣ - عتبة حمض اللبنيك وعتبة التهوية الرئوية.

#### Lactate Threshold Versus Ventilatory Threshold

٤ - دلالة وأهمية العتبة اللاهوائية.

٥ - المعايير الاعتيادية للعتبة اللاهوائية.

٦ - العوامل المؤثرة على العتبة اللاهوائية.

٦-١ التغذية.

٦-٢ التدريب البدني.

٦-٣ نوع الألياف العضلية.

٧ - العتبة اللاهوائية والاستهلاك الأقصى للاوكسجين والاداء

البدني.

## ملخص

على الرغم من أهمية وشيوع مفهوم الاستهلاك الأقصى للأكسجين ( $V_{O_2 \max}$ ) في حقل وظائف أعضاء الجهد البدني (Exercise physiology) إلا أنه في الأونة الأخيرة بدأ التركيز على مدى قدرة الفرد على أداء مجهود بدني عند نسبة عالية من هذا الاستهلاك الأقصى للاوكسجين بدون الدخول في العمليات الأيضية اللاهوائية (Anaerobic Metabolism) وبالتالي زيادة تركيز حمض اللبنيك في الدم، هذا هو مفهوم العتبة اللاهوائية (Anaerobic Threshold) والتي يمكن أن نعرفها بانها النقطة التي يتم عندها الانتقال من الحصول على الطاقة بشكل رئيسي من مصادر هوائية إلى مصادر لاهوائية أثناء المجهود البدني مما يترتب على ذلك من ارتفاع في تركيز حمض اللبنيك في الدم، ويتم قياسها عن طريق مباشر بواسطة تحديد نقطة مغادرة تركيز حمض اللبنيك مستوى تركيزه أثناء الراحة وبطريقة غير مباشرة عن طريق التغير الغير خطي (Nonlinear) في حجم التهوية الرئوية (Ventilatory Volume).

ويعتبر مستوى العتبة اللاهوائية لدى الفرد عاملاً حاسماً في مدى قدرته على أداء تمرين مجهد عند نسبة عالية من استهلاكه الأقصى للاوكسجين بدون الدخول في العمليات الأيضية اللاهوائية، ومن المعروف أن التدريب البدني يؤدي إلى زيادة مستوى العتبة اللاهوائية ويظهر أيضاً انها (أي العتبة اللاهوائية) أكثر قابلية من الإستهلاك الأقصى للاوكسجين في الإستجابة للتدريب البدني.

## ١ - مقدمة:

من الملاحظ أنه في وقت الراحة وأثناء الجهد البدني المنخفض إلى المتوسط الشدة يتم توفير الطاقة الضرورية عن طريق العمليات الأيضية الهوائية (Aerobic Metabolism) في الميتوكوندريا (Mitochondria) وذلك من خلال أكسدة الأحماض الدهنية والكربوهيدرات وبدرجة أقل المواد البروتينية. هذه الطاقة تستخدم بالطبع من أجل إعادة تصنيع مركب ادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) من ادينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) والفوسفات (P). على انه في حالة الجهد البدني المتصاعد الشدة فإن الطاقة اللازمة لذلك الجهد تأتي من كلا العمليات الأيضية الهوائية واللاهوائية وبنسبة تعتمد إلى حد كبير على شدة ذلك الجهد البدني فكلما ارتفعت الشدة

(Intensity) زاد الاعتماد على الطاقة اللاهوائية والعكس صحيح (٢، ٣، ١٥، ٤٤، ٦٦، ٦٧).

ولهذا فإثناء الجهد البدني المستمر الشدة يلاحظ أن جلايكوجين العضلات يكون المصدر الأساسي للطاقة مؤدياً إلى تحلله إلى حمض البيروفيك (Pyruvate) ذو الجزيئات الكربونية الثلاث، على أنه عندما تكون شدة الجهد البدني عالية والحاجة للـ ATP ماسه وأعلى من معدل توفير الاوكسجين (02) فإن حمض البيروفيك لزاماً أن يقبل أيون هيدروجين وبالتالي يتم اختزاله إلى حمض اللبنيك (Lactic Acid) هذه العملية تعتبر ضرورية من أجل تجنب إيقاف عملية تحلل الجلوكوز (Glycolysis)، لذا فإن إنتاج حمض اللبنيك هو في الواقع الطريقة الوحيدة التي تضمن استمرار التحليل الجلايكوجيني والجلوكوزي حيث أن إحدى الخطوات الأولية في عملية التحليل الجلوكوزي تعتمد على تواجد انزيم مساعد هو (NAD) أو نيكوتينا مايد ادينين داى نيوكليوتايد (Nicotinamide Adenine dinucleotide) والذي يتم توفيره من عملية تحول حمض البيروفيك إلى حمض اللبنيك كما في الشكل رقم (١). لذا فإننا نرى أنه إذا لم يتم نقل مركبي NAD و NADH من وإلى الميتوكوندريا بسرعة كافية فإن حمض البيروفيك سوف يتحول لا محالة إلى حمض اللبنيك كي يتم توفير مركب NAD اللازم للخطوة الأولية في عملية التحلل الجلوكوزي (١٧، ٢١، ٢٩، ٥٤). وعليه فإن المحصلة هي ارتفاع مستوى تركيز حمض اللبنيك في الدم نتيجة لزيادة إنتاج حمض اللبنيك بدرجة أكبر من معدل التخلص منه (تحويله إلى مركبات أخرى أو أكسدته).

والجدير بالذكر أن ارتفاع تركيز حمض اللبنيك في العضلات والدم يرتبط مع حدوث التعب في حالة الجهد البدني العالي الشدة (٢٠، ٢٢) حيث من المعروف أن حمض اللبنيك والذي يعتبر حمض عضوي قوي يطلق أيون هيدروجين (بروتون  $H^+$ ) مؤدياً إلى انخفاض في الأس الهيدروجيني PH (ارتفاع في الحموضة).

ومن المعروف أيضاً أن انخفاض الأس الهيدروجيني يؤدي إلى تثبيط أنزيم فوسفو فركتو كينيز (PFK) (أحد الانزيمات المهمة في عملية التحلل الجلوكوزي) مبطناً بالتالي عملية التحلل الجلوكوزي (٢٥)، وبالإضافة إلى ذلك فإن أيون الهيدروجين من الممكن أن يؤدي إلى ازاحة الكالسيوم  $Ca^{++}$  عن التروبونين (Troponin) مؤدياً بذلك إلى ارباك عملية الانقباض العضلي (٣٣، ٥٩).

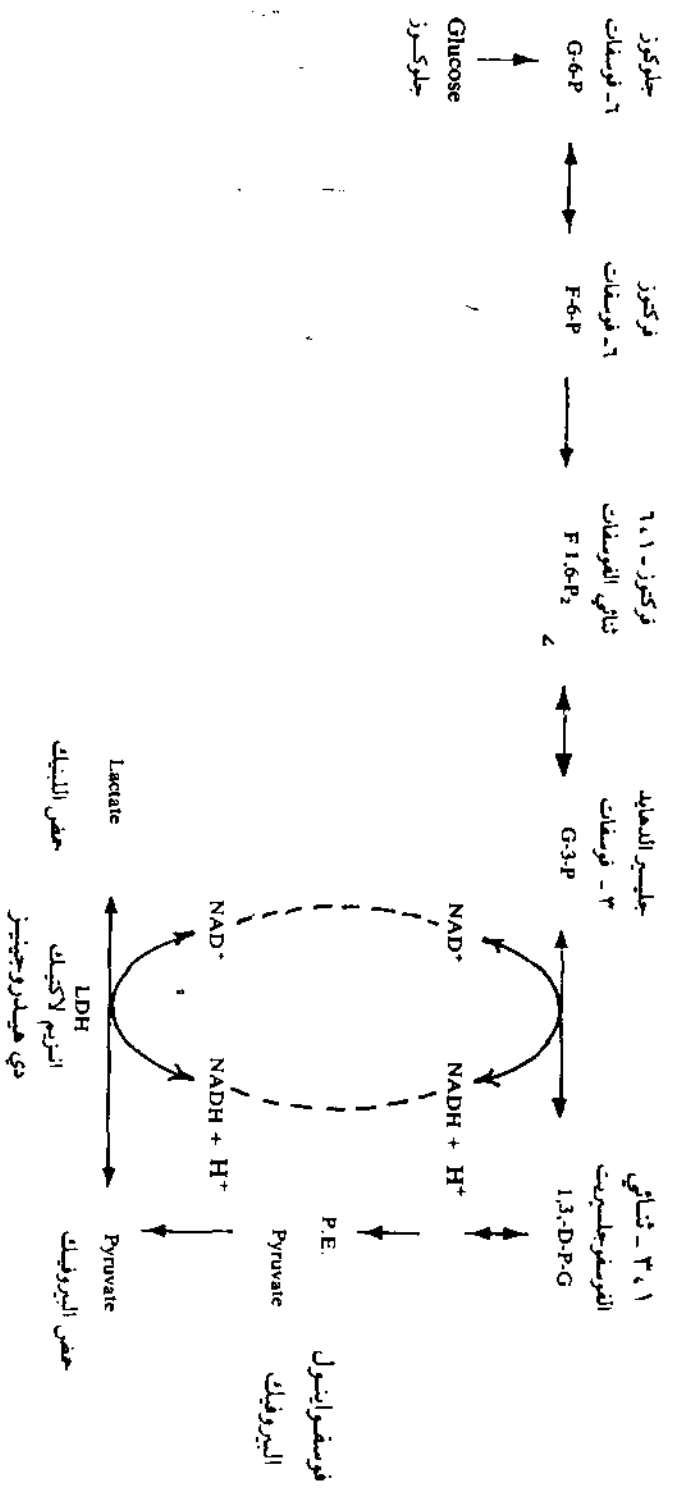


Figure 1. Embden-Meyerhof Pathway of glycolysis. شكل (1): التحلل اللاهوائي للجلوكوز.

## Definition of AT:

## ٢ - تعريف العتبة اللاهوائية:

تعرف العتبة اللاهوائية والتي يرمز لها اختصاراً AT على أنها مقدار الجهد أو استهلاك الاكسجين عند المستوى الذي يسبق حدوث التحمض الايضي (Metabolic Acidosis) وما يرتبط بذلك من تغير في عملية التبادل الغازي (Gas exchange) (٧٣)، ويعرف ديفز وآخرون (Davis et al.) (١١) العتبة اللاهوائية على أنها بداية التحمض اللبني (Lactic Acidosis) - نسبة إلى حمض اللبنيك - ويزيد ذلك شرحاً بقوله انها تعني مستوى استهلاك الاوكسجين أثناء الجهد البدني عندما يصبح معدل انتاج حمض اللبنيك يفوق معدل ازالته (أو معدل التخلص منه) وتعني لدى ديفز كذلك أنها تعبير وظيفي بدون الاشارة إلى علاقة سببية (Functional definition).

على أن بعض الباحثين وخاصة الاوربيين منهم يعرفون العتبة الهوائية بانها لحظة بداية تراكم حمض اللبنيك في الدم أو (Onset of Blood Lactate Accumulation) وارتفاع تركيزه عن مستوى محدد حيث يعني هذا المستوى عند البعض شدة الجهد البدني الكفيلة برفع تركيز حمض اللبنيك في الدم بمقدار ١,٥ ملي مول (١٩) ويعني عند البعض الآخر شدة الجهد البدني الكفيلة برفع تركيز حمض اللبنيك في الدم بمقدار ٢ ملي مول (٦٦,٥١) أو بمقدار ٤ ملي مول عند آخرين (٦٨,٦٥,٤٩,٤٥,٤٣).

ولقد أظهر ديفز وآخرون (Davis et al.) (١١) أن العتبة اللاهوائية، والتي يعرفها بالنطقة التي يبدأ فيها تركيز حمض اللبنيك بالارتفاع نتيجة لزيادة انتاجه بمقدار أكبر من مقدار التخلص منه، بانها تتراوح من ١,٢٥ إلى ٢,٢٥ ملي مول وبمتوسط هو ١,٧٥ ملي مول من حمض اللبنيك في الدم.

اذن يتضح من مجمل التعريفات السابقة أن العتبة اللاهوائية هي النقطة التي يتم عندها الانتقال من الحصول على الطاقة بشكل رئيسي من العمليات الايضية الهوائية إلى العمليات الأيضية اللاهوائية وما يعقب ذلك من زيادة في معدل انتاج حمض اللبنيك بصورة تفوق معدل ازالته.

### ٣ - تطور مفهوم العتبة اللاهوائية:

على الرغم من أن مسمى العتبة اللاهوائية لم يصبح شائعاً ومعروفاً إلا منذ قرابة عقدين من الزمن، إلا أن مفهوم العتبة اللاهوائية في واقع الأمر ليس بجديد فقد أشار العالم الفسيولوجي الحائز على جائزة نوبل للطب «هل» «Hill» ومجموعة من معاونوه<sup>(٢٨)</sup> منذ ما يزيد على نصف قرن من الزمن أن إنتاج حمض اللبنيك يحدث عندما يكون هناك نقص في توفير الاوكسجين للعضلات العاملة (ثبت فيما بعد أن لا علاقة إلى حد ما بين إنتاج حمض اللبنيك وتوفر الاكسجين) ولقد لاحظ هو وزملاؤه كذلك أن المعامل التنفسي الخلوي (Respiratory Quotient) من الممكن أن يكون مؤشراً جيداً للتغيرات القاعدية والحمضية (Acid-Base) الحادثة أثناء الجهد البدني وفترة الاسترداد (Recovery).

وفي الثلاثينات الميلادية كانت للبحوث الهامة التي قام بها العالم الفسيولوجي مارجريا (Margaria) وزملاؤه<sup>(٥٠)</sup> دور كبير في تطور مفهوم أيض حمض اللبنيك (Lactate Metabolism) حيث عمل ومجموعة من معاونوه في مختبر الاجهاد البدني في جامعة هارفارد بالولايات المتحدة الامريكية (Harvard Fatigue Laboratory) على تكوين النظرية التي مفادها أن تأمين الطاقة فوق مستوى القدرة الهوائية القصوى يتم عن طريق التحلل اللاهوائي للجلكوكوز في العضلات وإنتاج حمض اللبنيك (Anaerobic glycolysis).

وعند الحديث عن العتبة اللاهوائية لا بد أن نذكر هنا أن العالم والطبيب الألماني الغربي هولمان (Hollman) قد تطرق إلى مفهوم ما سماه في أوائل الستينات الميلادية بمستهل أو بداية العمليات الأيضية اللاهوائية (Onset of Anaerobic Metabolism) كمقياس للأمكانية الهوائية للجهاز القلبي - التنفسي أثناء الجهد البدني<sup>(٣١)</sup>.

وفي هذا الصدد لا بد أن نشير كذلك إلى الأبحاث التي قام بها العالمان اسيكتز ورودال (Issekutz & Rodahl) حيث لاحظا وجود زيادة لاخطية (Non Linear) في إنتاج ثاني أكسيد الكربون  $VCO_2$  من قبل الرئتين بعد زيادة إنتاج حمض اللبنيك، وأشاروا إلى أن الزيادة الملاحظة في معامل التبادل التنفسي (Respiratory exchange

(ratio أو R) \* قد تكون مؤشر غير مباشر على حدوث التحمض اللبني (lactate Acidosis) (٣٤، ٣٥).

على أنه خلال العقدين الماضيين من الزمن ومع تطور أجهزة قياس الغازات وخاصة تلك التي يتم من خلالها قياس نسبة الغازات في هواء الزفير لحظة بلحظة (Breath by Breath) فقد حدث تقدم كبير في فهم آلية وكنه العتبة اللاهوائية. فلقد استطاع واسيرمن وزملاؤه (Wasserman) في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس (٥٣) قياس معامل التبادل التنفسي عن طريق قياس تركيز ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> والنروجين N<sub>2</sub> في هواء الزفير باستخدام أجهزة ذات سرعة عالية في قياس الغازات (قياس تركيز الغازات في هواء الزفير لحظة بلحظة (Breath by Breath) ووجدوا أن معامل التبادل التنفسي هذا يرتبط ويتوافق مع لحظة التحمض الأيضي أثناء الجهد البدني (Metabolic Acidosis)، وفي دراسة لاحقة تمكن واسيرمن وزملاؤه أيضاً من تأكيد الملاحظات والنتائج السابقة وتحديد العتبة اللاهوائية عند مجموعة من مرضى القلب (٧٩).

ويجدر الإشارة إلى أنه في نفس تلك الفترة الزمنية استطاع كل من جوبس وستينسبي (Jobsis & Stainsby) أن يقدموا من الدلائل العلمية مالا يؤكد الاعتقاد السابق من قبل هيل (Hill) الذي مفاده أن زيادة حمض اللبنيك ناتج عن نقص الاكسجين في العضلات العاملة حيث قاما بدراسة مستوى الأوكسدة والاختزال للـ NAD في الميتوكوندريا (Oxidation Reduction Level) الناتج من جراء التنبه الكهربائي للعضلة التوأمية (Gastrocnemius) في ساق أحد كلاب التجارب ووجدوا أن كمية الأوكسجين في عضلات الساق كانت كافية على الرغم من زيادة إنتاج حمض اللبنيك، مما يشير إلى أن إنتاج حمض اللبنيك ليس بسبب عدم توفر الاوكسجين ولكن بسبب انعدام التوازن بين التحلل اللاهوائي للجلوكوز (Anaerobic glycolysis) ومعدل استخدام حمض البيروفيك في دورة كريس (TCA Cycle) (٣٩، ٤٠). وبالإضافة إلى ذلك فقد أثبت مجموعة من الباحثين الآخرين

\* معامل التبادل التنفسي (R) يساوي حاصل قسمة إنتاج ثاني أكسيد الكربون على

استهلاك الأوكسجين.

$$R = \frac{\text{إنتاج CO}_2}{\text{استهلاك O}_2}$$



(٤٤) أن حمض اللبنيك يتم إنتاجه من قبل عضلات الفخذين أثناء الجهد البدني على الرغم من وجود تركيز عال نسبياً من الاوكسجين في الوريد الفخذي (Femoral Vein).

وخلاصة القول انه في السنوات الأخيرة تطور مفهوم العتبة اللاهوائية بشكل كبير حتى أصبحت إحدى القياسات الفسيولوجية الروتينية ضمن اختبارات الجهد التدريجي (Incremental Exercise Test) والتقويم الفسيولوجي للرياضيين والعمامة وبعض المرضى أيضاً وذلك لأهمية معرفة النقطة التي يبدأ منها تركيز حمض اللبنيك في الارتفاع فوق مستوى تركيزه أثناء الراحة أي نقطة العتبة اللاهوائية (١١، ١٢، ١٣، ٤٥، ٣٦).

#### ٤ - عتبة حمض اللبنيك وعتبة التهوية الرئوية؛

##### Lactate Threshold Versus Ventilatory Threshold

من تعريف العتبة اللاهوائية يتضح أنها النقطة التي يبدأ منها تركيز حمض اللبنيك في الارتفاع فوق مستوى تركيزه أثناء الراحة، على أن هذا يتطلب قياس مستمر لمستوى حمض اللبنيك في الدم بما يتطلب ذلك من سحب متتالي لعينات صغيرة من الدم الشرياني أو الوريدي، هذه الطريقة والتي تعتبر طريقة توسعية (Invasive technique) لا تخلو من بعض التحفظات من قبل المفحوصين حيث يتردد الكثير منهم في السماح بادخال أبرة في الوريد متصل بها أنبوب بلاستيكي صغير (Canula) وإبقائها في الوريد طوال فترة الاختبار كي يتسنى سحب عينات من الدم منها على فترات متعاقبة. هذا بالإضافة إلى أن استعمال هذه الطريقة يتطلب خبرة طبية قد لا تتوفر لدى الكثيرين.

غير أنه في أوائل السبعينات الميلادية تمكن واسيرمن (Wasserman) وزملاؤه (٧٣) من نشر مفهوم العتبة اللاهوائية على نطاق واسع عندما قدموا الطريقة الغير توسعية (Non-Invasive Technique) لقياس العتبة اللاهوائية وذلك عن طريق معرفة التغيرات التي تحدث في عملية التبادل الغازي (Gas Exchange) والمصاحبة للتحمض الايضي (Metabolic Acidosis) أثناء الجهد البدني، حيث أشاد واسيرمن وزملاؤه (٧٣) أنه يمكن معرفة وتحديد العتبة اللاهوائية بالطريقة الغير توسعية بما

يلي :

١ - الزيادة الغير خطية في حجم التهوية الرئوية . Non-Linear increase in VE

٢ - الزيادة الغير خطية في حجم ثاني أكسيد الكربون المنتج .

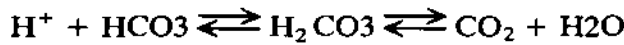
Non-Linear increase in Vco<sub>2</sub>

٣ - زيادة مكافئ التهوية الرئوية للاوكسجين (V'E/V'0<sub>2</sub>) .

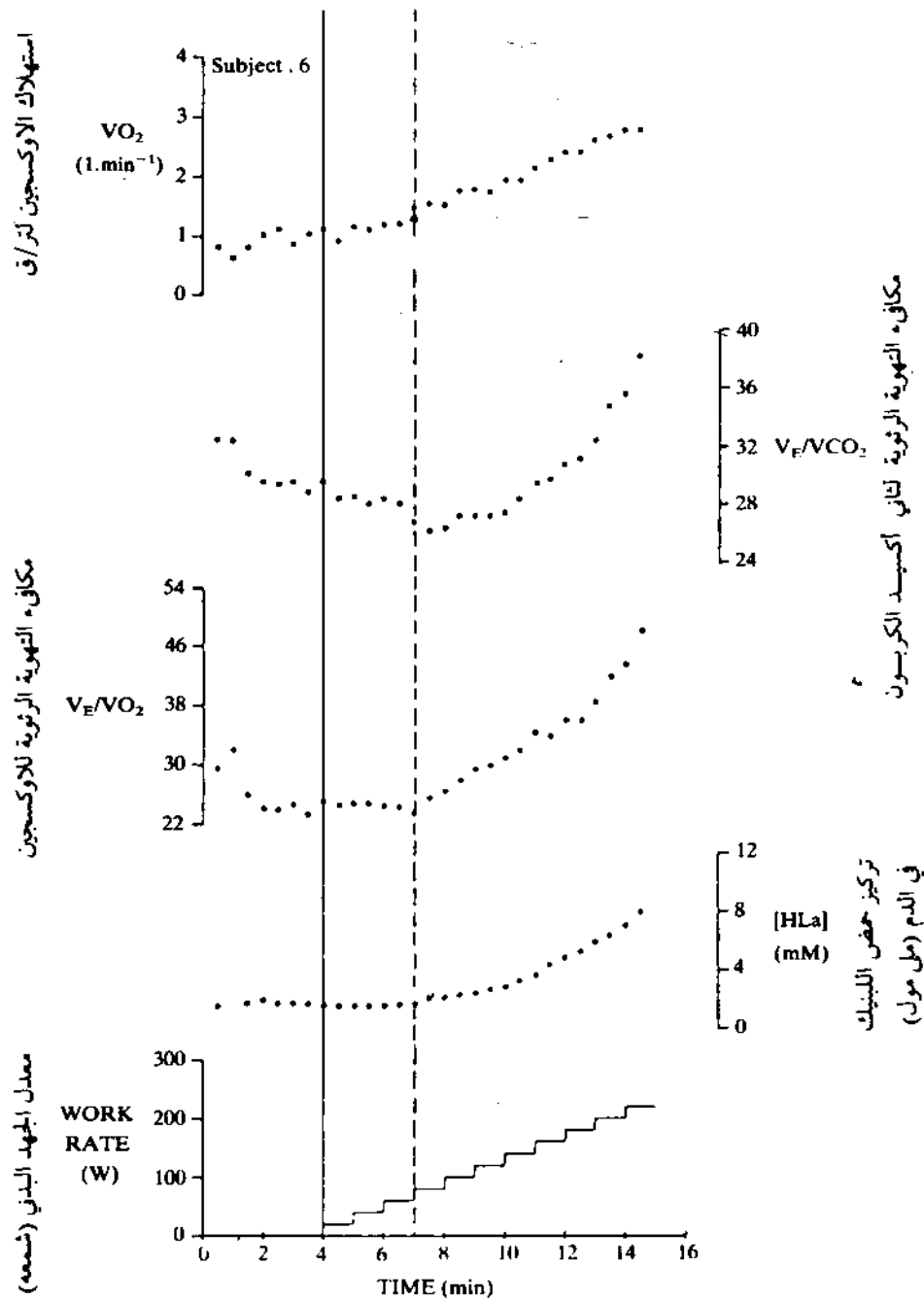
(حاصل قسمة حجم التهوية الرئوية على حجم الأوكسجين) بدون زيادة

لكافئ التهوية الرئوية لثاني أكسيد الكربون (VE/Vco<sub>2</sub>) .

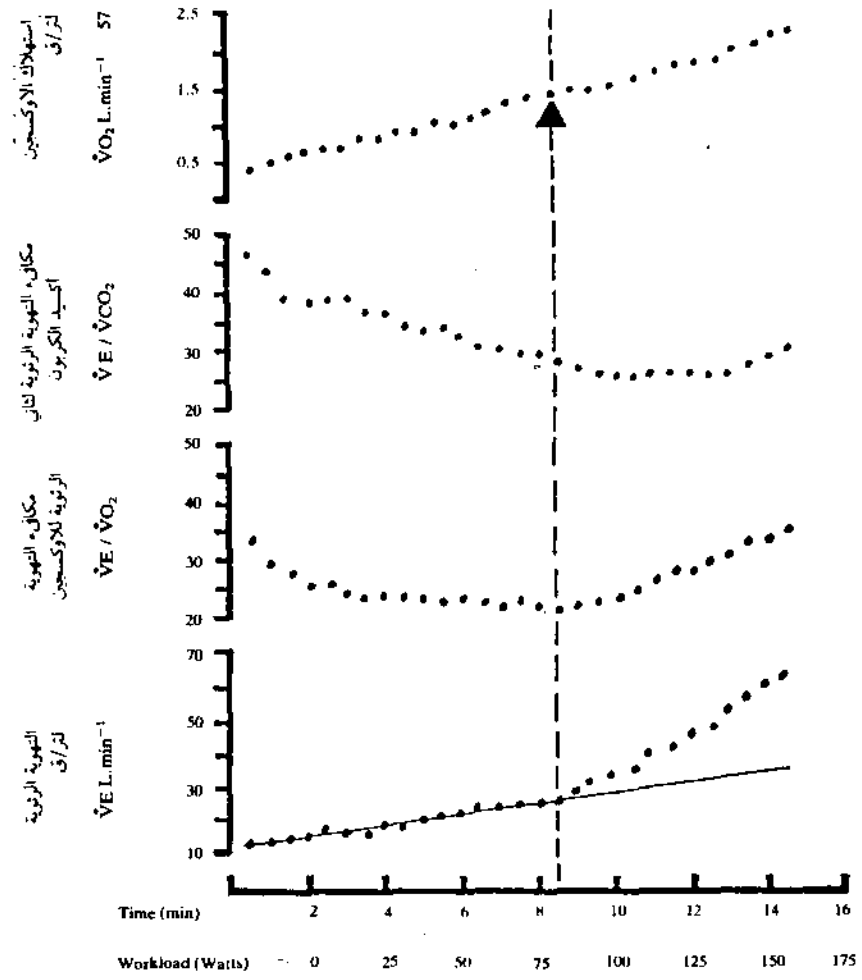
ولمعرفة دلالة القياسات السابقة وارتباطها بنقطة التحمض الايضي فلا بد من التوسع في هذا الشأن ، فالملاحظ أنظاء الجهد البدني المتزايد الشدة أن كلا من حجم التهوية الرئوية (VE) وحجم استهلاك الاوكسجين (Vo<sub>2</sub>) وحجم انتاج ثاني أكسيد الكربون (Vco<sub>2</sub>) يستمر في الزيادة الخطية (Linear) حتى لحظة العتبة اللاهوائية ، وبينما يستمر بعد ذلك حجم استهلاك الاوكسجين (Vo<sub>2</sub>) في الزيادة الخطية مع زيادة شدة الجهد البدني فإن حجم التهوية الرئوية (VE) وحجم انتاج ثاني أكسيد الكربون يبدأ آن بمغادرة الزيادة الخطية ليعطيا شكلاً غير خطي (منحني) (Curvilinear) كما هو موضح في الشكل رقم (٢) والشكل رقم (٣) . هذا التغيير في حجم التهوية الرئوية (التحول من الشكل الخطي إلى المنحني) يعتقد أنه من نتاج التحمض الايضي حيث أن زيادة تركيز حمض اللبنيك يؤدي إلى زيادة أيون الهيدروجين (H<sup>+</sup>) الذي بدوره يؤدي إلى خفض الاس الهيدروجيني (زيادة الحموضة) مما يجعل طرد أو صد الحموضة في الجسم (Buffering System) يحاول جاهداً خفض الحموضة عن طريق اتحاد البيكربونات مع أيون الهيدروجين كما في المعادلة التالية (٧٢) .



ماء + ثاني أكسيد الكربون  $\rightleftharpoons$  حمض البيكربونيك  $\rightleftharpoons$  بيكربونات + ايون الهيدروجين



شكل (٢) : قياس العتبة اللاهوائية عن طريق التغير في تركيز حمض اللبنيك في الدم والتغير في التهوية الرئوية ومكافء التهوية الرئوية (الخط الراسي المتقطع يمثل مستوى العتبة اللاهوائية).  
 (المصدر: مرجع رقم ١١)



شكل (٣) : قياس العتبة اللاهوائية بواسطة التغير في حجم التهوية الرئوية.  
المصدر: المؤلف - عمل غير منشور

والمحصلة هي اذن زيادة ثاني أكسيد الكربون ( $VCO_2$ ) في هواء الزفير مع حجم التهوية ( $VE$ ) بالطبع وعليه فإن حاصل قسمة حجم التهوية الرئوية على حجم ثاني أكسيد الكربون ( $VE/VCO_2$ ) لن يتغير في تلك اللحظة (أي لحظة حدوث العتبة اللاهوائية) بينما حاصل قسمة حجم التهوية الرئوية على حجم استهلاك الاوكسجين ( $VE/\dot{V}O_2$ ) يزداد (لأن البسط وهو حجم التهوية الرئوية يزداد).

وتشير العديد من الدراسات التي أجريت بغرض مقارنة نتائج قياس العتبة اللاهوائية بالطريقة التوسعية ( $Invasive$ ) عن طريق قياس تركيز حمض اللبنيك في الدم والطريقة الغير توسعية ( $Non-Invasive$ ) عن طريقة الزيادة الغير خطية في حجم التهوية الرئوية ( $VE$ ) ان العتبة اللاهوائية تحدث عند نفس المستوى من استهلاك الاوكسجين سواء تم قياسها بواسطة حمض اللبنيك في الدم أم بالتغيير في حجم التهوية الرئوية (٥٦، ١٢، ١٣، ٣٦، ١٣، ٥٦، ٧٧، ٦٩، ٥٦، ١٣، ١١، ٥٦)، حيث وجد أن العلاقة أو معامل الارتباط ( $R$ ) بين عتبة حمض اللبنيك وعتبة التهوية الرئوية يتراوح من ٠,٩٥ إلى ٠,٩٨ (١٣) (٥٦).

وعلى الرغم من أن موضوع عتبة التهوية الرئوية أصبح مثار جدلاً عند بعض المختصين في وظائف أعضاء الجهد البدني (١٠٤) إلا أنه بناءً على نتائج الدراسات المقارنة السابقة الذكر يرى الكثير من المختصين ان تحديد العتبة اللاهوائية باستخدام التغير في حجم التهوية الرئوية قد يكون له ما يبرره كبديل لاستخدام الطريقة التوسعية عن طريق معرفة تركيز حمض اللبنيك في الدم. بل أن استخدام التغير في حجم التهوية الرئوية قد يكون مفضلاً في بعض الأحيان نتيجة لكونها في حد ذاتها طريقة غير توسعية (٧٢، ٤١).

#### ٤ - دلالة وأهمية العتبة اللاهوائية: Significance of AT.

لقد حظيت العتبة اللاهوائية في السنوات الأخيرة باهتمام بالغ حتى أن العديد من مختبرات فسيولوجيا الجهد البدني أصبح يتضمن قياس العتبة اللاهوائية كأحد الإجراءات القياسية الروتينية لأختبارات الأداء البدني. وبالإضافة إلى ذلك نجد أن قياس العتبة اللاهوائية أمتد إلى أبعد من ذلك ليصبح أحد الأختبارات المستعملة في تقويم قدرة الجهاز القلبي - التنفسي ( $Cardio-respiratory$ ) في تزويد الجسم بالكمية

الكافية من الأوكسجين حيث أن إستخدام العتبة اللاهوائية كأداة للتقويم وخاصة لدى المرضى أو المسنين يقلل من الجهد المبذول ومن مدة المجهود البدني اللازمة للإختبار، ذلك أن قياس نقطة العتبة اللاهوائية يحدث قبل الوصول إلى الجهد الأقصى للمفحوص، فهذا واسير من (٧٣) ص: ٢٣٦ يقول:

«إننا نجد في العتبة اللاهوائية أداة قيمة لفهم التغيرات التي تحدث للتبادل الغازي أثناء الجهد البدني لدى الاسوياء والمرضى».

وبالإضافة إلى ما سبق ذكره عن العتبة اللاهوائية نجد أن هنالك جانب آخر يعطيها أهمية ودلالة ألا وهو قدرتها على الأخذ بعين الاعتبار للفروق الفردية في الأمكانية الهوائية واللاهوائية لدى الأفراد، فعلى مدى سنوات عديدة كان وصف التمرين أو التدريب البدني (Exercise prescription) ينبنى على نسبة معينة من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين ( $Vo_2 \max$ ) (١٤٠١) بغض النظر عما إذا كان معدل العبء الجهدية (Work Load) يستلزم إستخدام العمليات الأيضية اللاهوائية (Anaerobic Metabolism) وبالتالي تركيز متصاعد من حمض اللبنيك، ولهذا فيعتقد أن إستخدام نسبة معينة من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين في وصفه التمرين لا يميز بشكل جيد فيما إذا كان الجهد البدني هو فوق أو تحت مستوى العتبة اللاهوائية مما ينتج عنه أختلاف في العبء الملقى على شخصين يمتلكان نفس الأستهلاك الأقصى للأوكسجين ( $Vo_2 \max$ ) ولكن يختلفان في مقدار العتبة اللاهوائية (AT).

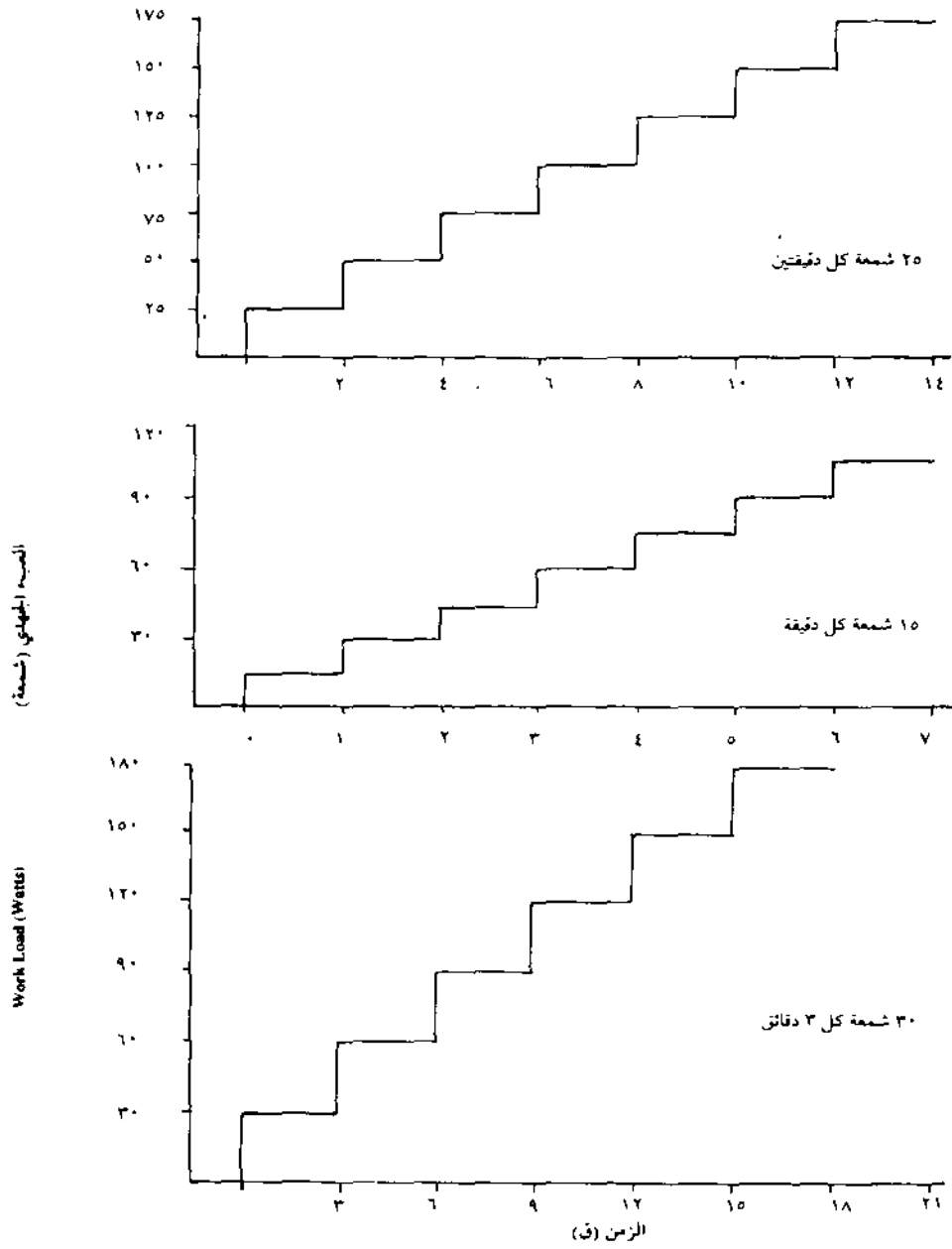
ويرى الكثير من المختصين أن العتبة اللاهوائية قد تكون أكثر دلالة من غيرها على التغيرات التي تحدث في العمليات الأيضية الخلوية (Cellular Metabolism) من جراء التكيف الناتج عن التدريب البدني (٧٤،٧٣،٤١،٣٨). وفي الواقع فإن الدلائل القادمة من العديد من التجارب العلمية تشير إلى أن العتبة اللاهوائية تعد أكثر قابلية للإستجابة للتدريب البدني من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين، أي بمعنى آخر أن التدريب البدني يرفع من مقدار العتبة اللاهوائية بدرجة أكثر من قدرته على رفع الأستهلاك الأقصى للأوكسجين وخاصة لدى أولئك الأفراد الذين يمتلكون مستوى عال من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين (٧٤،٥٥،١٢،٨).

## ٥ - المعايير الأعتيادية للعتبة اللاهوائية: Normal Standards

على الرغم من شيوع استخدام العتبة اللاهوائية كإختبار روتيني من إختبارات تقييم الأداء البدني وخاصة عند الرياضيين إلا أنه لا يوجد نظام (بروتوكول) موحد لقياسها، فالجميع بالطبع يتبع الإختبار التدرجي للجهد (Incremental Exercise Test) لكن الأختلاف يكمن في مقدار الزيادة في العبء الجهدي (Work Load) مع الزمن، فعند استخدام دراجة الجهد (Bicycle Ergometer) فإن البروتوكول يبدأ بمقاومة معينة ومن ثم يتم زيادة تلك المقاومة بمقدار يتراوح بين ١٥ شمعة عند البعض (٧٣،٥٨) إلى ٣٢ شمعة عند البعض الآخر (١٣،١٢) كل فترة زمنية محددة تتراوح من دقيقة واحدة أو دقيقتين (٧٣،٥٨،١٣،١٢) إلى كل أربع دقائق (١٧).

ويوجد حالياً نوع من درجات الجهد التي يتم التحكم في مقاومتها إلكترونياً ويمكن زيادة العبء الجهدي بمقدار ٥ شمعات كل فترة زمنية لتعطي زيادة في العبء بصورة متدرجة تصل في النهاية إلى ٢٠ أو ٣٠ شمعة (Watt) في الدقيقة، ويوضح الشكل رقم (٤) بعض البروتوكولات المستعملة في قياس العتبة اللاهوائية بإستخدام دراجة الجهد (Bicycle Ergometer).

وعندما نتفحص المعايير الأعتيادية للعتبة اللاهوائية كما أظهرتها الكثير من الدراسات نجد أنها تتراوح عند أستهلاك أوكسجين ما بين ٢، ١ لتر/ دقيقة لدى الأفراد الذكور الغير ممارسين (٧٣) و ٨، ٠ لتر/ دقيقة لدى الإناث الغير ممارسات (٥٣)، وهي تتراوح ما بين ٢، ٠ إلى ٥، ٠ لتر/دقيقة عند مجموعة من مرضى القلب والرئتين (٧١)، ولقد وجد آخرون أن العتبة اللاهوائية (باستخدام عتبة التهوية الرئوية) لدى مجموعة من الذكور الأصحاء (متوسط العمر ٣٧ سنة) هي عند أستهلاك أوكسجين يساوي ٦، ٣٩ ± ٣، ٨ مل / كجم / دقيقة (٥٦)، وفي دراسة لديفنز وآخرون (١٣) أظهرت أن العتبة اللاهوائية تحدث عند حوالي ٨، ٥٩ ± ٤، ٧٪ من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين ( $V_{O_2 \max}$ ) ولقد أشارت دراسات أخرى الى أن العتبة اللاهوائية تحدث عند نسبة من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين تساوي ٥، ٥٩ ± ٧، ٧٪ (٧٤). بالإضافة إلى ما سبق نجد كذلك أن مكليلين وسكينر (McLellan & Skinner) سجلوا أرقاماً للعتبة اللاهوائية قريبة جداً من الأرقام التي أشرنا إليها أعلاه (٥١). غير أن هناك بعض الدراسات التي سجلت



شكل رقم (4) : يوضح هذا الشكل أكثر الأنظمة (الروتوكول) شيوعاً في إختبار الجهد التدرجي بغرض تحديد العتبة اللاهوائية



أرقاماً للعبء اللاهوائية تساوي نسبة من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين أقل قليلاً من النسب المشار إليها فيما سبق، فقد وجد يوشيدا (Yoshida) أن العبء اللاهوائية حدثت لدى مجموعة من المفحوصين الذين قام هوبل باختبارهم عند  $48, 4 \pm 0, 6\%$  من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين<sup>(٧٧)</sup>، وأشارت مجموعة أخرى من الباحثين أن العبء اللاهوائية تحدث عند نسبة  $0, 4\%$  من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين<sup>(٣٦)</sup>.

يتضح من استعراض المعايير الاعتيادية للعبء اللاهوائية أنها تتراوح من ٥٠ إلى ٦٠٪ من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين لدى الشاب السليم الغير ممارس للتدريب البدني المنتظم، على أن هذه النسبة قد ترتفع لدى الأفراد المتدربين بدنياً حيث أشار هيوز وآخرين<sup>(٣٢)</sup> إلى أن العبء اللاهوائية تقع عند  $0, 72\%$  من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين، كما وسجل آخرون مقداراً للعبء اللاهوائية يصل إلى  $0, 85\%$  من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين لدى بعض الرياضيين الذكور الذين يمارسون التدريب البدني المنتظم<sup>(٥٨، ٣٨)</sup>.

## ٦ - العوامل المؤثرة على العبء اللاهوائية:

تتأثر العبء اللاهوائية بالعديد من العوامل، فمن الناحية النظرية فإن أي عامل يؤثر على معدل إنتاج حمض اللبنيك في الدم من الممكن أن يؤثر على تحديد العبء اللاهوائية، غير أن هذه المناقشة سوف تقتصر على تلك العوامل التي من الممكن أن تؤثر بشكل ملحوظ على العبء اللاهوائية والتي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تحديد العبء اللاهوائية للفرد:

### ٦ - ١ التغذية : Dietary Manipulation

تؤثر التغذية على تحديد العبء اللاهوائية بشكل أو بآخر ويعتقد أن ذلك مرده إلى التغيير الذي يحدث في حاصل إنتاج ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ )، ولقد تطرقت العديد من الدراسات إلى مدى تأثير نوعية التغذية على العبء اللاهوائية فلقد وجد أن زيادة أستهلاك المواد الكربوهيدراتية والذي يؤثر على مستوى سكر الجلوكوز في البلازما أدى إلى ارتفاع في العبء اللاهوائية<sup>(٤٦)</sup>، ولقد وجد كذلك أنه عندما تم تخفيض أستهلاك الكربوهيدرات أدى ذلك إلى خفض العبء اللاهوائية.

وفي دراسة أخرى كانت نتائجها مثيرة للتحيرة ظهر أن زيادة أستهلاك الكربوهيدرات أدى الى حدوث تغير في العتبة اللاهوائية عندما تم قياسها عن طريق التغير في حمض اللبنيك ولكن لم يحدث تغير في العتبة اللاهوائية عندما تم قياسها بواسطة التغير في حجم التهوية الرئوية (٧٦،٧٥). هذا التناقض والذي حدث في بعض التجارب كهذه يعتبره بعض المختصين غير المؤيدين لمفهوم عتبة التهوية الرئوية مدخلاً لتأكيد اعتقادهم بأن عتبة التهوية الرئوية ليس لها منشأ أو أساس نظري (٤) غير ان الواقع قد يكون في أن بعض هذه التجارب لم يتم فيها تحديد عتبة التهوية الرئوية بالطرق الأكثر موضوعية ودقة وبالتالي فإن هناك ما يفسر هذا التفاوت المذكور في تحديد العتبتين. ومن الملاحظ كذلك أن زيادة مستوى جلوكوز الدم قد يؤثر على العتبة اللاهوائية فقد وجد كوستيل (Costill) وزملاؤه أن زيادة سكر الجلوكوز أدى إلى تحفيز (Stimulation) التحلل اللاهوائي للجلوكوز (glycoly- sis Anaerobic) مؤدياً في النهاية إلى رفع تركيز حمض اللبنيك في الدم (٩)، ومن المعروف أيضاً أن أستنفاد جلايكوجين العضلات (Glycogen depletion) يؤدي إلى خفض تركيز حمض اللبنيك في الدم (٣٢،٣٣).

ويظهر أن تركيز الأحماض الدهنية في الدم (Free Fatty Acids) تؤثر على العتبة اللاهوائية حيث أظهرت الدراسات أن ارتفاع تركيز الأحماض الدهنية يؤدي إلى خفض العتبة اللاهوائية عندما تم قياسها بواسطة تركيز حمض اللبنيك في الدم على الرغم من عدم وجود فرق في الأستهلاك الأقصى للأوكسجين (٣٧). ويعتقد أن مرد ذلك يعود إلى أن رفع تركيز الأحماض الدهنية أثناء الجهد البدني يؤدي إلى زيادة الاعتماد على أكسدة الدهون وبالتالي خفض الاعتماد على الكربوهيدرات ومن ثم انخفاض تركيز حمض اللبنيك في الدم (٢٧،٩).

## ٦ - ٢ - التدريب البدني : Physical Training

من المعروف أن الأفراد المتدربين يقل مستوى تركيز حمض اللبنيك لديهم عن غير المتدربين عند أداء مجهود بدني دون الأقصى (Submaximal) وسواء أخذنا في الاعتبار العبء الجهدى المطلق أو النسبي (Absolute and Relative Work Load) (٦١،٢٦)، ولقد أوضح سالتن (Saltin) وزملاؤه (٦٣) في تجربة تم فيها تدريب إحدى الساقين تدريباً تحملياً أن إنتاج حمض اللبنيك من الساق المدربة كان أقل من الساق

الغير مدربة أثناء جهد بدني دون الأقصى (Submaximal) على الرغم من أن تدفق الدم وأستهلاك الأوكسجين كان متساوياً لكلا الساقين .

ويبدو أكيداً من الدراسات التي أجريت لمعرفة تأثير التدريب البدني على العتبة اللاهوائية أن التدريب البدني يؤدي الى رفع العتبة اللاهوائية ولهذا نرى أن العتبة اللاهوائية تحدث لدى المتدربين عند نسبة من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين أعلى منها لدى غير المتدربين (١٢٠٨، ٢١٠١٢، ٣٨٠٧٤)، ويظهر أن التدريب البدني يؤدي إلى زيادة معدل إزالة حمض اللبنيك (Lactate Removal) حيث أظهرت التجارب التي تم إجرائها على حيوانات التجارب أن معدل إنتاج حمض اللبنيك عند الحيوانات المدربة يتساوى مع الغير مدربة ولكن الفرق كان في القدرة على التخلص من حمض اللبنيك حيث كانت قدرة الحيوانات المدربة في إزالة هذا الحمض من الدم أكبر مما لدى الحيوانات الغير مدربه (٦١) .

وتشير الدراسات المختبرية كذلك إلى أن التدريب البدني يزيد من نشاط أنزيم آلانين ترانس امينيز (Alanine Transaminase) وهو الأنزيم المسئول عن تحويل حمض البيروفيك إلى آلانين (Alanine) (٥٢)، وهذه النتائج في الواقع هي التي تفسر لماذا نجد أن تركيز حمض اللبنيك في عضلات رياضي المسافات الطويلة (Endurance Athletes) أقل من غير المتدربين عند نفس المعدل من التحلل الجلوكوزي (Glycolysis) (٦١) .

ويتراوح التحسن أو الارتفاع في مستوى العتبة اللاهوائية من جراء التدريب البدني من ١٠٪ إلى ٧٠٪ فلقد وجد ديفز (Davis) ومجموعة من معاونوه (١٢) أن العتبة اللاهوائية قد ازدادت بمقدار ٤٤٪ من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين لدى أفراد لم يسبق لهم التدريب من قبل عندما أنخرطوا في تدريب تحملي لمدة تسعة أسابيع .

وفي دراسة أخرى تم فيها تدريب مجموعة من الأفراد تدريباً تحملياً باستخدام دراجة الجهد (Bicycle Ergometer) نتج عنه زيادة في العتبة اللاهوائية بمقدار ٧٠٪ من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين حيث كان الارتفاع من ٢٩,٢ مل / كجم / دقيقة إلى ٤٩ مل / كجم / دقيقة (٥٥)، وبالإضافة إلى ماسبق

فد أشارت دراسات أخرى إلى زيادة مستوى العتبة اللاهوائية نتيجة للتدريب البدني (١٣، ٤٣، ٤٥).

ولكن ما هي الآلية (Mechanism) التي يعزى لها ارتفاع العتبة اللاهوائية من جراء التدريب البدني التحملي؟ .

يعتقد أن من الأسباب المحتملة لارتفاع العتبة اللاهوائية عقب التدريب البدني هو زيادة تدفق الدم في العضلات بعد التدريب، ويعتقد كذلك أن مرد ارتفاع العتبة اللاهوائية هو في زيادة إمكانية العضلة على أكسدة حمض البيروفيك والأحماض الدهنية، بالإضافة إلى ذلك فيعزى هذا الارتفاع للعتبة اللاهوائية بعد التدريب التحملي إلى تغير في عملية توظيف الألياف العضلية الهيكلية (Muscle Fibers) حيث يؤدي التدريب البدني إلى تأخير توظيف الألياف العضلية السريعة الخلجة (Fast Twitch) التي يعتقد أنها أكثر اعتماداً على الطاقة اللاهوائية وبالتالي أكثر إنتاجية لحمض اللبنيك (١٨، ٢٩، ٣٠، ٦٨).

### ٦ - ٣ - نوع الألياف العضلية: Muscle Fiber Types

تشير كثير من الدلائل العلمية إلى أن الارتفاع في تركيز حمض اللبنيك في البلازما (الدم) ناتج من زيادة توظيف الألياف العضلية السريعة الخلجة (Fast Twitch Fibers) وفي الواقع فلقد أظهرت دراسات عديدة أن الأفراد الذين يمتلكون نسبة عالية من الألياف العضلية بطيئة الخلجة (Slow Twitch Fibers) لديهم مستوى عال من العتبة اللاهوائية مقارنة بالذين يمتلكون نسبة منخفضة من الألياف بطيئة الخلجة (٢٢، ٣٦، ٣٨، ٦٥، ٦٧، ٦٨). ومن الثابت أن الألياف العضلية بطيئة الخلجة تمتلك قدرة عالية على الأكسدة الهوائية مقارنة بالألياف سريعة الخلجة (١٨). وتشير دراسة أخرى إلى أن هناك ارتباط وثيق بين القدرة على أكسدة حمض البيروفيك والعتبة اللاهوائية عند قياسها بواسطة التغير في تركيز حمض اللبنيك في الدم (٣٨).

ويبدو بالإضافة إلى ما سبق أن هنالك ارتباط وثيق بين نوع الألياف العضلية ونشاط أنزيم لاكتيك ديهيدروجينيز (Lactate dehydrogenase) وهو الأنزيم المسؤول عن تحول حمض البيروفيك إلى حمض لبنيك (١٨، ٢١، ٢٢، ٤٢، ٦٤، ٦٧) والمعروف أن هذا الأنزيم يوجد في صورتين أحدهما H-LDH تساعد على أكسدة حمض اللبنيك إلى حمض البيروفيك والأخرى على صورة M-LDH تساعد على اختزال حمض البيروفيك

إلى حمض اللبنيك، ولقد وجد أن الألياف العضلية بطيئة الخلجة تمتلك نشاط عال من H-LDH بينما تمتلك الألياف سريعة الخلجة نشاط عال من M-LDH (٦٧،٦٤)، ولهذا نرى أن الألياف بطيئة الخلجة تمتلك قدرة أكبر من سريعة الخلجة في إستخدام حمض اللبنيك كوقود.

## ٧ - العتبة اللاهوائية، الاستهلاك الأقصى للأوكسجين والأداء البدني؛

يعتبر مفهوم الأستهلاك الأقصى للأوكسجين ( $Vo_2 \max$ ) من أهم وأكثر المفاهيم شيوعاً في حقل فسيولوجيا الجهد البدني (Exercise Physiology) وهو مؤشر جيد للإمكانية الوظيفية للجسم ودليل على اللياقة القلبية - التنفسية للفرد (٣٠٢٠١). إلا أنه في الأونة الأخيرة بدأ الأهتمام في التركيز على مدى قدرة الفرد على أداء مجهود بدني عند نسبة عالية من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين بدون الدخول في العمليات الأيضية اللاهوائية وبالتالي زيادة تركيز حمض اللبنيك في الدم، وهو مفهوم العتبة اللاهوائية (٧٠،٦٦،٦٥،٤٩،٤١،٢٤،١٠،٠٨)، ولهذا فمن المعتقد أن مستوى العتبة اللاهوائية عند الرياضي يعد عاملاً حاسماً في مدى قدرته على أداء تمرين بدني مجهد عند نسبة عالية من أستهلاكه الأقصى للأوكسجين (٦٥،٤٨،١٩) وفي حقيقة الأمر فإن الارتباط أو العلاقة بين الأستهلاك الأقصى للأوكسجين والعتبة اللاهوائية يعتبر ارتباطاً عالياً حيث تشير معظم الدراسات أن معامل الارتباط بينهما (R) يتراوح بين ٠,٨٥ و ٠,٩٠ (٧٤،٥٧،٥٦،٧).

وعلى الرغم من العلاقة الوثيقة بين مستوى الأستهلاك الأقصى للأوكسجين والأداء البدني التحملي (Endurance Performance) إلا أن العلاقة تبدو أوثق بين مستوى العتبة اللاهوائية والأداء البدني التحملي، فلقد وجد كوستيل (Costill) وآخرون (٨) أن العلاقة بين الأستهلاك الأقصى للأوكسجين والأداء البدني في سباق عشرة أميال هي (- ٠,٩١) بينما العلاقة بين العتبة اللاهوائية والأداء البدني في نفس السباق كانت (- ٠,٩٤) دلالة على أن الذين لديهم مستوى عال من العتبة اللاهوائية كان أدائهم أفضل في ذلك السباق. وبالإضافة إلى ذلك فقد أوضحت دراسات أخرى إلى وجود علاقة وارتباط عال بين سرعة الجري (Running Velocity) عند مستوى العتبة اللاهوائية ومستوى الأداء في سباق الماراثون (٦٥،٥٧). ولقد وجد أيضاً أن معامل الارتباط (R) بين العتبة اللاهوائية والأداء البدني في سباق

٥ كم وكذلك ١٠ كم أكبر من معامل الارتباط بين الأستهلاك الأقصى للأوكسجين والأداء البدني في نفس السباقين المذكورين (٤٧).

وتشير العديد من التجارب العملية أن العتبة اللاهوائية ترتبط بشكل جيد مع نشاط الأنزيمات المسؤولة عن التنفس الخلوي في الميتوكوندريا (Mitochondrial Respiratory Enzymes) هذا الارتباط كان أعلى من ارتباط نشاط هذه الأنزيمات مع الأستهلاك الأقصى للأوكسجين (٦٨٠٦٥٠٥٨٠١٩) ولهذا نجد أن البعض يعتقد أن الأستهلاك الأقصى للأوكسجين يبدو أكثر ارتباطاً بعوامل ذات علاقة بالجهاز القلبي - الوعائي بينما يكون ارتباط العتبة اللاهوائية أكثر بعوامل ذات علاقة بالأمكانية الأيضية للعضلات بما في ذلك نشاط الأنزيمات التنفسية (Respiratory Enzyme activities) (٢٤).

ولعل أهم شيء لفت نظر المختصين في فسيولوجيا الجهد البدني فيما يرتبط بالعتبة اللاهوائية إنها تبدو أكثر استجابة للتدريب البدني من الأستهلاك الأقصى للأوكسجين (٦٦٠٥٥٠٤٨٠٤٥٠٤٣٠٤١٠١٢). وعلى الرغم من أن الأستهلاك الأقصى للأوكسجين يرتفع بالتدريب البدني (٦٢٠٣٠٢٠١) إلا أنه وجد أن التدريب البدني يؤدي إلى زيادة أو رفع مستوى العتبة اللاهوائية بدرجة أكبر من قدرته على رفع الأستهلاك الأقصى للأوكسجين، أي بمعنى آخر أن العتبة اللاهوائية هي في الواقع أكثر قابلية للارتفاع من جراء التدريب البدني مقارنة بالأستهلاك الأقصى للأوكسجين، وهذا بالطبع يعني أن الفرد أو المتسابق سوف يستطيع أداء المجهود البدني مستخدماً نسبة أعلى من أستهلاكه الأقصى للأوكسجين بدون أن يرتفع تركيز حمض اللبنيك في الدم بشكل تصاعدي ومن ثم يؤثر سلباً على قدرة الفرد في الاستمرار بنفس شدة الجهد.

## المراجع

1. American College of Sports Medicine (position Statement): The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Med. & Sci. sports*, 1978, 10: 7-10.
2. Astrand, P.O.: Quantification of exercise capability and evaluation of physical capacity in man. *Progress in Cardiov. Dis*, 1976, Vol. 19, No. 1: 51-67.
3. Astrand, P.O., and K. Rodahl: *Textbook of work physiology*. New York: MacGraw-Hill Book comp., 1987: 12-14.
4. Brooks, G.A.: Anaerobic threshold: review of the concept and direction for future research. *Med. Sci. Sports Exer.*, 1985, 17: 22-31.
5. Caiozzo, V.J., J.A. Davis, J.F. Ellis, J.L. Azus, R. Vandagriff, C.A. Prietto, and W.C. McMaster: A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J. Appl. physiol.: Resp., Env. & Exer. physiol* 1982, 53: 1184-1189.
6. Clausen, J.P.: circulatory adjustments to dynamic exercise and effect of physical training in normal subjects and patients with coronary artery disease. *Progress in cardiov. Dis*. 1976, 18: 549-595.
7. Costill, D.L: Metabolic responses During Distance running *J. Appl. physiol.*, 1970, 28: 251-255.
8. Costill, D.L., H. Thomason, and E. Roberts: Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med. Sci. Sports*, 1973, 5: 248-252.
9. Costill, D.L. E. Coyle, G. Dalsky, W. Evans, W. Fink, and D. Hoopes: Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J. Appl. physiol.* 1977, 43: 695-699.
10. Davis, J.A.: Anaerobic threshold: Review of the concept and Directions for future research. *Med Sci. Sports Exer.* 1985, 17(1): 6-18.
11. Davis, J.A., V.J. Caiozzo, N. Lammara, J.F. Ellis, R. Vandagriff, C.A. prietto, and W.C. McMaster: Does the gas exchange anaerobic threshold occur at a fixed blood lactate concentration of 2 or 4 mM? *Int. J. Sports Med.* 1983, 4: 89-93.
12. Davis, J.A., M.H. Frank, B.J. Whipp, & K. Wasserman: Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle - aged men. *J. Appl. Physiol.*, 1979, 46:1309 - 1046.
13. Davis, J.A., P.Vodak, J.H. Wilmore, J. Vodak, and P. Kurtz: Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. physiol.* 1976, 41: 544 - 550.
14. DeVries, H. A. : Exercise intensity threshold for improvement of cardiovascular-respiratory function in older men. *Geriatrics*, 1971, 26: 94-101.
15. Di Prampero, P. E.: Energetics of Muscular Exercise. *Rev. physiol. Biochem. Pharmacol.*, 1981, 89: 143-222.
16. Donovan, C. M. and G. A. Brooks: Endurance Training affects lactate Clearance, not lactate production. *Am. J. physiol. (Endocr. & Metab)*. 1983, E 83-E92.
17. Essen, B.: Intramuscular substrate Utilization during prolonged exercise. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 1977, 301: 30-44.

18. Essen, B., E. Jansson, J. Henriksson A. Taylor, and B. Saltin: Metabolic characteristics of fiber types in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, 1975, 95: 153-165.
19. Farrell, P. A., J. H. Wilmore, E. F. Coyle, J. E. Billing and D. L. Costill: Plasma Lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports Exer.* 1979, 11: 338-344.
20. Fitts, R. H., and J. O. Holloszy: Lactate and contractile force in frog muscle during development of fatigue and recovery. *Amer. J. Physiol.*, 1976, 231: 430-433.
21. Gollnick, P. D. and L. Hermansen: Biochemical adaptation to exercise: Anaerobic metabolism. In J. H. Wilmore (ed.) *Exercise and Sports Sciences Reviews*. New York: Academic Press, 1979: 1-43.
22. Gollnick, P., K. Piehl, and B. Saltin: Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of various intensity and at varying pedalling rates. *J. Physiol.* 1974, 241: 45-75.
23. Green, H., M. Houston, J. Thomson, and P. Reid: Alterations in ventilation and gas exchange during exercise-induced carbohydrate depletion. *Canad. J. Physiol. and pharmacol.*, 57: 615-618.
24. Hagberg, J. M.: physiological implications of lactate threshold. *Int. J. Sports Med.*, 1984, 5: 106-109.
25. Hermansen, L. : Effect of metabolic changes on force generation in skeletal muscle during maximal exercise. In *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. Ciba foundation symposium 82. Pitman Medical, London, 1981: 82-101.
26. Hermansen, L. and I. Stensvold: production and removal of lactate during exercise in man. *Acta physiol. Scand.* 1972, 86: 191-201.
27. Hickson, R., M. Rennie, R. Conlee, W. Winder and J. Holloszy: Effects of increased plasma fatty acids on glycogen Utilization and endurance. *J. Appl. Physiol.*, 1977, 43: 829-833.
28. Hill, A. V., C. N. Long. and H. Lupton: Muscular exercise, lactic acid and the supply and Utilization of Oxygen. *Proceed. Royal Socit. Lond.* Part VII, 1924, 97: 155-167.
29. Holloszy, J. O.: Adaptation of skeletal muscle to endurance exercise. *Med. Sci. Sports*, 1975, 7: 155-164.
30. Holloszy, J., M. Rennie, R. Hickson, R. Conlee, and J. Hagbarg: physiological consequences of the biochemical adaptation to endurance exercise. *Annals of the N. Y. Acad. Sci.*, 1977, 301: 440-449.
31. Hollmann, W: Historical Remarks on the Development of the aerobic Anaerobic threshold up to 1966. *Int. J. Sports Med.*, 1985, 6 (3) : 109-116.
32. Hughes, E., S. Turner, and G. Brooks: Effects of glycogen depletion and pedaling speed on "anaerobic threshold". *J. Appl. physiol. (Resp. Envir. Exer. Physiol.)*, 1982, 52: 1598-1607.
33. Hultman, E. and K. Sahlin: Acid-base balance during exercise. In R. Hutton and D. Miller (Eds.) *Exercise and Sport Sciences Reviews*, Philadelphia: Franklin Institute Press, 1980, Vol. 8: 41-128.
34. Issekutz, B., and K. Rodahl: Respiratory quotient during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1961, 16: 606-610.
35. Issekutz, B., N. Birkhead, K. Rodahl: use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *J. Appl. physiol.* 1962, 17: 47-50.



36. Ivy, J., D. Costill, and B. Maxwell: Skeletal muscle determinants of maximum power in man. *Eur. J. Appl. physiol.*, 1980, 44: 1-8.
37. Ivy, J., D. Costill, P. Van Handel, D. Essig, and R. lower: Alteration in the lactate threshold with changes in substrate availability. *Int. J. Sports Med.*, 1981, 3: 139-142.
38. Ivy, J. L., R. T. Withers, P. Van Handel, D. Elger, and D. Costill: Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. physiol.* 1980, 48: 523-527.
39. Jobsis, F. F. : Spectrophotometric Studies on intact muscle. II. Recovery from contractile activity. *J. General Physiol.*, 1963, 46: 929-934.
40. Jobsis, F. and W. Stainsby: Oxidation of NADH during contraction of circulated mammalian skeletal muscle. *Respir. physiol.*, 1968, 4: 292-300.
41. Jones, N. L. and R. E. Ehsam: The anaerobic threshold. In R. L. Terjung (Ed.) *Exercise and Sport Sciences Reviews*. Philadelphia: Franklin Institute Press, 1982, 10: 49-84.
42. Karlsson, J. : Lactate and phosphagen concentration in working muscle of man. *Acta Physiol. Scand.* (suppl.) 358, 1971.
43. Karlsson, J. and I. Jacobs: Onset of blood lactate accumulation during muscular exercise as a threshold concept in new illumination. *Int. J. Appl. physiol.* 1982, 3: 190-201.
44. Keul, J., E. Doll, and D. Keppler: The substrate supply of the human skeletal muscle at rest, during, and after work *Experientia*, 1967, 23: 1-6.
45. Kindermann, W., G. Simon, and J. Keul: The Significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. physiol.* 1979, 42: 25-34.
46. Kowalchuk, J. M.: The effect of dietary alteration on respiratory gas exchange during exercise. Master's thesis. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada., 1980.
47. Kumagai, S.; Tanaka, K.; Matsuura, Y.; Matsuzaka, A.; Hirakoba, K.; and Asano, K.: Relationships of the anaerobic threshold with the 5 Km, 10 Km, and mile races. *Europ. J. Appl. Physiol.* 1982, 49: 13-23.
48. MacDougall, J. D.: The anaerobic threshold – its significance to the endurance athlete. *Can. J. Appl. Sports Sci.*, 1979, 2: 13-18.
49. Mader, A. and H. Heck: A theory of the metabolic origin of "Anaerobic Threshold". *Int. J. Sports Med.* (Suppl.), 1986, 7: 45-65.
50. Margaria, R., H. T. Edwards, and D. B. Dill: The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Amer. J. Physiol.* 1933, 106: 689-715.
51. McLellan, T. and J. Skinner: Blood lactate removal during active recovery related to the aerobic threshold. *Int. J. Sports Med*, 1982, 3 : 224-229.
52. Mole, P., K. Baldwin, R. Terjung, and J. Holloszy: enzymatic pathways of pyruvate metabolism in Skeletal muscle: Adaptations to exercise. *Amer. J. Physiol.* 1973, 224, 50-54.
53. Naimark, A., K. Wasserman, and M. McIlroy: Continuous Measurement of Ventilatory exchange ratio during exercise. *J. Appl. physiol.* 1964, 19: 644-652.

54. Newsholme, E. A.: The regulation of intracellular and extracellular fuel supply during sustained exercise. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 1977, 301: 81-91.
55. Ready, A. E., and H. A. Quinney: Alterations in anaerobic threshold as the result of endurance training and detraining. *Med. & Sci. Sports & Exer.*, 1982, 14: 292-296.
56. Reybrouck, T., J. Chesquiere, A. Cattaert, R. Fagard and A. Amery: Ventilatory threshold during short-and long - term exercise. *J. Appl. physiol.: Env. & Exer physiol.* 1983, 55: 1694-1700.
57. Rhodes, E., and D. McKenzie: Predicting marathon time from anaerobic threshold measurements. *The Phys. & Sports Med.*, 1984, 12(1): 95-98.
58. Rusko, H., P. Rahkila, and E. Karvineu: Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross country skiers. *Acta physiol. Scand.* 1980, 108: 263-268.
59. Sahlin, K.: Intramuscular PH and energy metabolism in skeletal muscle of man. *Acta physiol. Scand.* (suppl.), 1978, 455: 7-45.
60. Saltin, B.: Metabolic Fundamental in exercise *Med. Sci. Sports*, 1973., 5: 137-146.
61. Saltin, B., and J. Karlsson: Muscle ATP, CP, and lactate during exercise after physical conditioning. In B. Pernow and B. Saltin (eds.) *Muscle metabolism during exercise* New yourk: Plenum press, 1971: 395-400.
62. Saltin, B., G. Blomqvist, J. Mitchell, R. Johnson, K. wildenthal, and C. Chapman: Response to exercise after bed rest and after training. *Circulation*, 1968, 38 (Suppl.): 1-78.
63. Saltin, B., K. Nazar, D. Costill, E. Stein, B. Jansson, B. Essen, and P. Gollnick: The nature of the training response: Peripheral and central adaptation to one-Legged exercise. *Acta physiol. Scand.*, 1976, 96: 289-305.
64. Sjodin, B.: Lactate dehydrogenase in human skeletal muscle. *Acta physiol. Scand.* (Suppl.) 1976, 436: 1-32.
65. Sjodin, B. and I. Jacobs: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int. J. Sports Med*, 1981, 2: 23-26.
66. Skinner, J., and T. Mclellan: The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Quart. Exer. Sports.*, 1980, 51: 234-248.
67. Tesch, P. A.: Muscle fatigue in man. *Acta physiol. Scand.* (Suppl.), 1980, 480: 1-40.
68. Tesch, P., D. Sharp and W. Daniel: Influence of fiber type composition and capillary density on onset of blood-lactate accumulation. *Int. J. Sports Med.*, 1981, 2: 252-255.
69. Tucker, S. and S. Sucec: Comparison of gas exchange indices as predictors of anaerobic threshold for exercise on an ergometer, (Abstract) *Int. J. Sports Med.*, 1984, 5: 160.
70. Wasserman, K.: Breathing during exercise. *New Eng. J. Med.* 1978, 298: 780-785.
71. Wasserman, K., and M. Mcilroy: Detecting the threshold of anaerobic metabolism. *Amer. J. Cardiol.* 1964, 14: 844-852.
72. Wasserman, K., B. Whipp, and J. Davis: Respiratory physiology of Exercise: Metabolism, gas exchange, and ventilatory control. In J. G. Widicombe (ed.) *International Review of physiology*, Baltimore: University Park Press, 1981, 23: 149-211.

73. Wasserman, K. B. Whipp, S. Koyal, and M. Beaver: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. physiol.* 1973, 35: 236-243.
74. Weltman, A. and V. L. Katch: Relationship between the onset of metabolic acidosis (AT) and maximal oxygen uptake. *J. Sports Med. & phys. Fitness*, 1979, 19: 135-141.
75. Yoshida, T.: Effect of Dietary Modifications on Anaerobic threshold. *Sports Med.*, 1986, 3 (1): 4-9.
76. Yoshida, T.: Effect of dietary modifications on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental Exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. and Occup. physiol.*, 1984, 53: 200-205.
77. Yoshida, T., A. Nagata, M. Margo, N. Takeuchi, and Y. Sada: The validity of anaerobic threshold determination by a Douglas bag method compared with arterial blood lactate Concentration. *Eur. J. Appl. physiol.* 1981, 46: 423-430.