الأسس الفسيولوجية للتمرين العضلي

المؤلف: أ .أستاذ لهواري بشير ترجمه: د. نذير طيار

الرّقم التعريفي للمقال: DOI: 10.33705/1111-000.008.008

المدخل: يقوم لاعبُ التنس أو المصارعُ بأفعال فردية أو مركَّبة، متعدِّدة يمكن اختصارها في التالي: هو يجري، يَضْرِب، يُسقِط خصمَه، يَدْفَعُ، ويُثَبِّت. يُنَشِّطُ مجموعُ هذه الحركات الجسمَ برمَّته وعلى نحو تمييزي.

في كلّ ممارسة بدنية، يؤدي الرياضي إنجازا حركيا أو رياضيا، عبر استعماله الطاقة لخلق القوة الضرورية لتحريك الجسم، هذا من جهة. ومن جهة أخرى عبر استعمال المعلومات لإنتاج عمل منسجم مع محيطه. هذان العاملان (الطاقة والمعلومات) مِنْ موارد جسم الرياضي، ولكن هناك عوامل أخرى.

ويجب أن نميِّز: مختلف مؤهلات الرياضي

- **المؤهلات المورفولوجية**: القامة، الوزن، عرض المنكبين والحوض، إلخ...؛
- **المؤهلات البيولوجية**: القدرة الحيوية، نسبة الدهون، الاستهلاك الأقصى للأوكسجين، توزيع الألياف العضلية؛
- **المؤهلات البدنية**: هناك مجموعتان مصنفتان:

* **المؤهّلات الشرطية**: التي تستدعي التجهيز، الانخراط في اللعب وإعادة تركيب الطاقة العضلية الضرورية لاشتغال الجسم (الطاقات الهوائية واللاَّهوائية)؛

* **مؤهلات التنسيق العصبية-العضلية**: التي تستدعي تنسيق الحركات وترشيدها وضبطها (القوة، المرونة، الإتقان، المهارة الحركية)؛

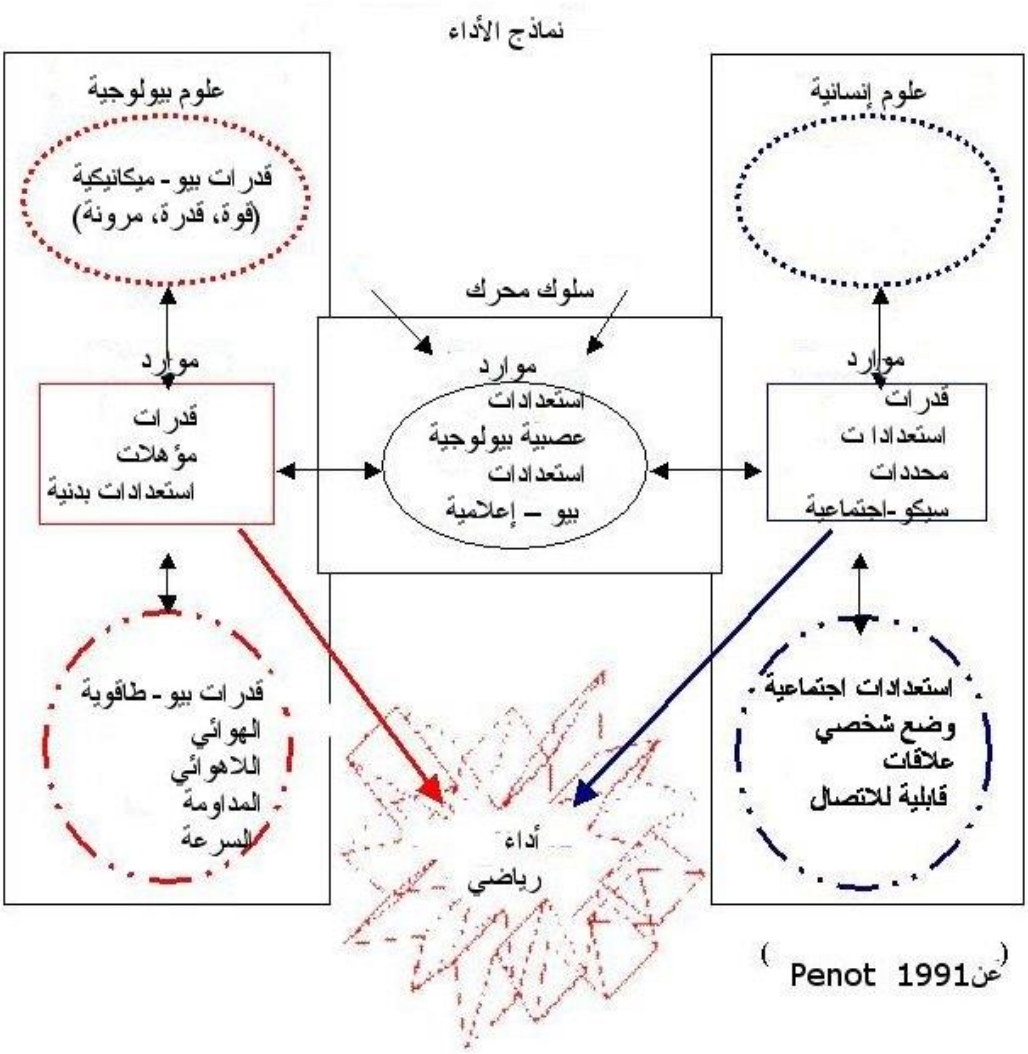
- **المؤهلات التقنية-التكتيكية**: ذات علاقة بالثقافة المحمولة عن الاختصاص الممارَس؛
- **المؤهلات الأخلاقية والسيكولوجية**: هي العناصر غير القابلة للتقسيم في الإنجاز، لأنها كائنة برأس الممارسين: الشخصية، مستوى المعارف العامة، التحفيز، الإرادة، مقاومة الكرب stress، تقبل الألم، الرغبة في النجاح؛
- **التدريب**: المبادئ المختلفة للتدريب، الأهداف، الاختبارات، التخطيط قصير المدى وبعيد المدى؛

•**العوامل المساعدة على الإنجاز**: التغذية، التعب، الشروط المادية، التسخين، المتابعة الطبية، الانخراط الاجتماعي؛

•**المحيط**: إطار الحياة، شروط الحياة، مستوى المعرفة العلمية للمدرّب، سياق الأداء (الارتفاع (عن سطح البحر)، مستوى البحر، الأهمية الإعلامية)؛

•**الإدارة**: هي تنظيم المدرّب لكل مركّبات الإنجاز، في تفاعلها العلائقي وتناغمها. يقوم هذا العمل على تحليل شامل للمدرّب في علاقة مفضلة مع الرياضي. إنها العلاقة: مدرّب-رياضي.

أداء الرياضي هو إذا، نتاج عوامل متعددة.



نماذج الأداء:

بيو- إعلامي (الجهاز العصبي – وظيفة الضبط)؛

بيو- ميكانيكي (الوظيفة الحركية – الجهاز العظمي –الجهاز العضلي – الجهاز المفصلي)؛

بيو- طاقوي (الوظيفة الدورانية – الوظيفة التنفسية – الوظيفة الهضمية –وظيفة الإفراز (الإفراغ)؛ في البدء، يكون التدفق البيولوجي للطاقة

تمكِّن المقاربة الفسيولوجية من معرفة آليات تكيُّف الجسم - في وضعيات كهذه - مع الجهد ومع إنتاج الطاقة الضرورية لتحقيقه (أي الجهد)؛ هي تمنح وسائلَ تعهُّدٍ أو تحسين الصفات المكتسَبة لأجل ممارسة نشاط معيَّن. كما تمكِّن من معرفة كيفية تحويل الجسم للطاقة الكيمياوية المخزَّنة في الغذاء إلى طاقة ميكانيكية وطاقة حرارية.

تأتي كلّ الطاقة الموجودة على الكرة الأرضية من الشمس، وتصلنا على شكل ضوء (طاقة ضوئية). تحوّل ملايينُ النباتات الخضراء من كوكبنا جزءً من هذه الطاقة إلى طاقة كيمياوية. هذه الأخيرة تستعملها النباتات الخضراء لإنشاء الجزيئات العضوية (دهون (ليبيدات)، سكّريات (غلوسيدات)) انطلاقا من ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، والماء (H_2O)، والأزوت (N_2). يسمّى هذا المسار«التحليل الضوئي». إنّ الإنسان بحكم تغذِّيه من نباتات وحيوانات لإشباع حاجاته الغذائية، تابعٌ مباشرة للنباتات وللشمس كذلك، لضمان طاقته.

نعلم الآن أنّ الحركات تحدُث بفضل تحويل الطاقة الكيمياوية للأغذية التي تصبح بدورها عناصر مغذية nutriments وتنتِج طاقةً ميكانيكية.

يقع هذا التحول داخل العضلة intramusculaire.

الدم: موقع النقل والمبادلات

يحتوي جسم الإنسان على ملايين عديدة من الخلايا مختلفة الأنواع. خمسون مليون من هذه الوحدات تموت كلّ ثانية، ولكنّها تُستبدَل باستمرار.

عبر الدم الموجود في الأوعية (الشرايين والأوردة)، والمدفوع بالمضخة القلبية تأتي الخلايا العضلية، لأخذ **الأوكسجين** الضروري للحياة، على مستوى الأسناخ (الحويصلات الهوائية) الرئويةalvéoles pulmonaires**،** كما تأتي لأخذ الأغذية والماء على مستوى قناة الهضم، بعدها، وعبر الدم مجددا العابر لجميع الأعضاء وجميع الأجهزة، تقع المبادلات ويجري طرح الفضلات.

محاولة لأجل الفهم

عند قيامنا بأيّ جهد (سباحة، ركض، بستنة) نلاحظ تسارع التنفس والقلب، وهذه التكيُّفات ليست سوى نتيجة زيادة الحاجة إلى الطاقة لدى العضلات المستدعاة بالتمرين. تَنتُج هذه الطاقة في قسمها الأكبر من احتراقٍ يقع داخل العضلة. وكما يحدث في جميع الاحتراقات، لا يمكن للوقود أن يحترق طويلا بدون مساهمة الأوكسجين، وهكذا يصبح الأوكسجين الوقود الحارق في عملية الاحتراق تبعا لشدة التمرين ومدّته، يمكن للاحتراق أن يستعمِل أنواعا مختلفة من الوقود التي سنجدها: في العضلة أو منقولة عبر الدم.

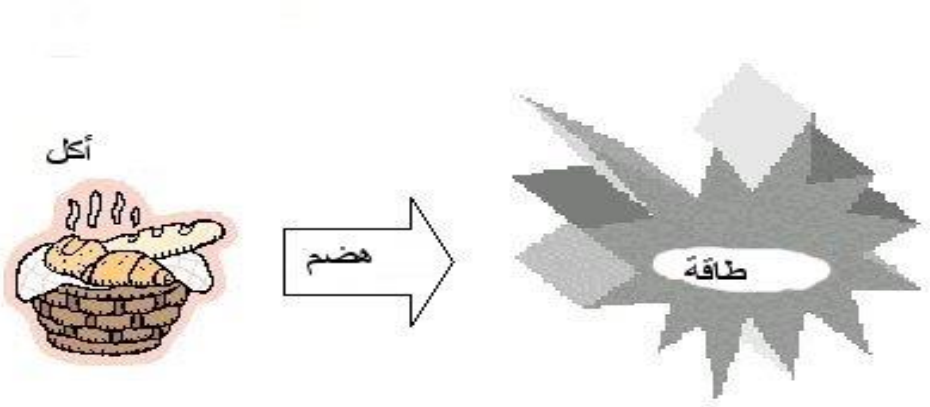
1- بالنسبة للتمارين الطويلة ذات الشدّة الضعيفة، يتكوّن الوقود من نسبة ضئيلة من الغلوسيدات ونسبة كبيرة من الليبيدات التي تشكل، في الواقع، الجزء الجوهري منه.

2- عندما ترتفع السرعة والشدة ارتفاعا تدريجيا، تنقص النسبة المئوية لليبيدات، وترتفع نسبة الغلوسيدات.

3- عندما نجري بسرعة طويلا وبشدة قصوى، فإنّنا باستهلاكنا الغلوسيدات فقط وتحديدا الغُلَيْكوجين، يمكننا الثبات على هذا الدرب.

4- لإجراء حصص تكون السرعة فيها قصوى ولكنّ لبضعة ثوان؛ فإنّ العضلة هي التي تحوي الوقود اللازم والمسمّى كرياتين فوسفات.

الأكل لأجل إنتاج الطاقة



إنّ الأغذية التي نُدْخِلها في جوفنا لا تُستعمَل مباشرة على المستوى الخلوي. هي مكوَّنة أساسا من كربون، وهيدروجين وأوكسجين. أحد أهداف الهضم هو كسرُ الجزيئات المركَّبة بهدف جعل الجسم أكثر قابلية لها (على شكل حوامل substrats) واستعمالُ الطاقة بتخزينها داخل جزيء اسمه: الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP).

ألـ ATP (الأدينوزين ثلاثي الفوسفات) هو جزيء مكوّن من الأدينين **adénine**، والريبوز **ribose** (سكر خماسي) المترابطيْن مع ثلاث مجموعات من الفوسفات. هذا ألـATP حاضر في الليف العضلي. لأجل التبسيط يمكن القول أنّ طاقة تُحرَّر عندما يَفُكُّ آخر فوسفات ارتباطه بجزيء ألـ (ATP).

$$EM \leftarrow \text{طاقة} + Pi + ADP = ATP$$

أدينوزين ثنائي الفوسفات = ADP/ فوسفات = Pi / طاقة عضلية = EM

هذا الحامل (ألـ ATP) حاضر بكمّية صغيرة جدا في العضلة. ولا يمكنه الحفاظ على انقباض عضلي أكثر من3 ثوان. ألـ (ATP) هو الحامل الوحيد الذي بإمكان الليف العضلي استعمالَه كي يشتغل.

من اللاّزم إذن، قيام مصادر أخرى للطاقة بإعادة تركيب دائمة للـ (ATP) لأجل عمل عضلي مستمر.

تعيد الخلايا تركيب ألـ (ATP) عبر طريقين وثلاثة مسارات:

الطريق اللاهوائي الذي لا يستعمل الأوكسجين

1) النظام ATP–CP: تُجَدَّد ألـ (ATP) بفضل الطاقة المنتَجة عبر المخزون الخلوي لـ CP. إنّه مسار لاهوائي لالبني anaérobie alactique.

2) النظام الغليكوليتي: هناك مغذٍّ طاقويٌّ، الغلوكوز (المحمول عبر هضم الأغذية) الذي ينتج الطاقة الضرورية لإعادة تركيب ألـ (ATP). إنه مسار لاهوائي لبني anaérobie lactique.

الطريق اللاهوائي الذي يستعمل ألأوكسجين

3) النظام الأوكسجيني: يستدعي هذا النظام أكسدة الأغذية (غلوسيدات، ليبيدات، بروتينات) بحضور الأوكسجين لإنتاج الطاقة الضرورية لإعادة تركيب ألـ (ATP). إنّه مسار هوائي .

1- النظام ATP-CP (كرياتين – فوسفات): هو النظام الأبسط والأسرع لتجديد ألـ (ATP) انطلاقا من مركَّب طاقوي حاضر في الخلايا. هو مسار هوائي لالبني. يسمى هذا الجزيء الفوسفو-كرياتين (PC). يقابل هذا النظام جهودا خاطفة ولكنها شديدة، مثل السرعة. هذا المسار سريع ولا يتطلب حضور الأوكسجين (لاهوائي) وفوق ذلك هو لالبني (إنتاج ضعيف لحمض اللبن). خلال الثواني الأولى من التمرين العضلي ذي الشدّة القصوى (عدو سريع)، تستقرّ كمية ألـ (ATP) في مستوى ثابت نسبيا؛ ولكن بعد 7 ثوان من الجهد الأقصى، تصبح مستويات ألـ (ATP) وألـ (CP) أضعف من أن تسمح بضمان انقباضات عضلية. بعد هذه المرحلة، على العضلات أن تقوم إجراءات أخرى لمواصلة التغطية الطاقوية.

الشكل المفضّل للجهد في هذا النظام ATP-CP هو: السرعة

2- النظام الغليكوليتي: هو وسيلة أخرى لإنتاج ألـ ATP تستلزم تحرير طاقةٍ عبر تدرُّكِ **degradation** الغلوكوز الذي يمثل 99% من السكّريات المتنقّلة في الدم. يسمّى هذا الإجراء تحلّل الغلوكوز **glycolyse**. هو مسار لاهوائي لبني.

ينتج هذا الغلوكوز عن هضم الكاربوهيدرات وتدرُّك الغليكوجين الكبدي. عند السكون (الراحة) تتكفل بالغلوكوز العضلةُ، والكبدُ التي تحوّلُه إلى غليكوجين عضلي. هذا الأخير له ميزة القدرة على التخزُّين والتدرُّك حسب الطلب.

الشكل المفضل للجهد في هذا النظام هو: المقاومة.

يجري هذا الإنتاج للطاقة في البروتوبلازم العضلي. إنتاج الطاقة مهمٌّ ولكن خلال مدة قصيرة نسبيا (من 30 ثانية مع شدة قصوى إلى دقيقتين مع شدة أقل). إسهام الأوكسجين غير كاف (لاهوائي) الأمر الذي يحوّل - عبر رسم بياني معقَّد - حمض البيروفيك إلى حمض لبني.

حضور كمّية مهمّة من الأحماض اللبنية في الدم سيربك التوازن الحيوي (انخفاض ألـ pH (الأس الهيدروجيني) في الدم وعلى التمرين أن يتوقّف (تيبس في الساقين، وثقل في الذراعين، إلخ)

الشكل المفضل للجهد في هذا النظام هو: المقاومة

3- النظام الأكسيجيني: النظام الخلوي الأخير لإنتاج الطاقة هو النظام الهوائي (أكسدة الأغذية). يحدث هذا التفاعل في الميتوكوندريات «المصانع الحقيقية للأوكسجين» الموجودة في اللّيف العضلي. يُمكِّن حضور الأوكسجين (الطريق الهوائي) من وقوعِ اشتغالٍ بشدة معتدلة، ولكن خلال مدة طويلة. هذا التدرُّك للغلوسيدات والليبيدات وبعض البروتينات عبر الطريق الهوائي، يترافق مع إنتاج «بقايا» ذات أثر ضعيف على التعب في المدى القصير:

◊ يستلزم الماءُ عرقا مطروحا؛

◊ يُطرح غاز الكربون عبر التنفس؛

إنّ العضلات والكبد هي التي تخزِّن ما يكافئ حوالي 2000 كيلوسعيرة على شكل غليكوجين. بالنسبة للجهود طويلة المدد (45 دقيقة على الأقل)، فإن الليبيدات هي التي تتدخل بشكل خاص.

الشكل المفضل للجهد في هذا النظام هو: المداومة Endurance (أداء مجهود متوسط ومتواصل)

سِعَة capacité **وقوة** puissance، يمكِن تمييزُ كل ليف طاقوي بسعةٍ (قدرة) تسمح بمدةِ اشتغالٍ (مستقلة عن التدفق débit): كلما كان التمرين قويا، كان الاشتغال قصير المدة والعكس صحيح.

1) **السعة:** هي الكمية الكلية من الطاقة المتاحة في الخزان.

2) **القوة**: هي الكمية القصوى من الطاقة القابلة للاستعمال خلال وحدة زمنية (تدفق الحنفية)

يملك كل نظام:

- **سعة؛**
- **قوة؛**

●المدة = السعة\القوة؛

لهذين المفهومين آثارٌ ثانوية مباشرة على التدريب. على المربّي وعبر اختيار تمارين العمل، أن يرفع مستوى كل نظام لكي ينتِج أقصى قوة وبأسرع وأطول ما يمكن.

عليه أن ينظّم تدريبه بهدف -ليس التحسين المثالي لمردودية اختصاص فحسب؛ وإنّما باللعب على وسائط الاستشفاء والشدّة والمدّة.

ملخص المميزات الأساسية لمختلف الفروع الطاقوية

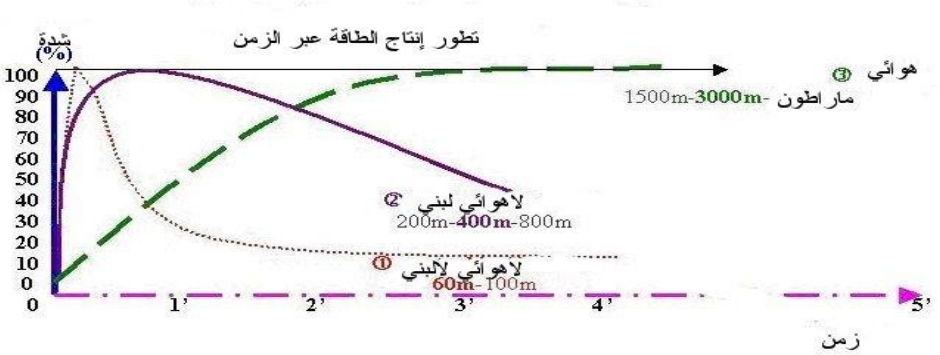
نقلا عن م.برادي (1989)

	لاهوائي لالبني	لاهوائي لبني	هوائي
حوامل substrats	ATP CP	غلوسيدات (غلوكوز وغليكوجين)	غلوسيدات ليبيدات بروتينات (نسبة مئوية ضعيفة)
أجل الفعالية القصوى	معدوم	20 إلى 30 ثانية	دقيقة إلى 3 دقائق
قوة	مرتفعة جدا ++++	مرتفعة ++	مرتبط بالحجم الأقصى للأوكسجين
زمن نفاذ القوة القصوى	2 إلى 3 ثوان	25 إلى 40 ثانية	3 إلى 15 دقيقة
غير محدود	ضعيف جدا +	ضعيف +	سعة
زمن نفاذ السعة (المخزون)	بين 7 و20 ثانية	دقيقتان	مرتبط بنسبة الحجم الأقصى للأوكسجين المستعمل
عوامل مقيِّدة للتمرين	قوة: نظام إنزيمي وعصبي-عضلي. سعة: انخفاض تركيز مخزونات ألـ CP	قوة: إنزيمات من تحلل الغلوكوز اللاهوائي وعدد من الألياف السريعة سعة: انخفاض ألـ PH العضلي.	قوة: تعب عضلي محلي سعة: هبوط معدل الغليكوجين

ملخص

الطريق 1:الفوسفاجينات ATP-CP - في العضلة - بدون أوكسجين - بدون إنتاج لحمض اللبن - سعة 20"	لاهوائي لالبني 7"
الطريق 2: تحلل غلوكوز - غلوسيدات - انعدام (أو ضعف) الأوكسجين - إنتاج حمض اللبن - سعة 2' - قوة 15"\20"	لاهوائي لبني 45"

الطريق 3: تدرُّك هوائي - غلوسيدات – ليبيدات – بروتينات - بالأوكسجين - إنتاج ألـ H_2O - إطلاق ألـ CO_2 - قوة 2' - سعة غير محدودة	هوائي '9\'6



تبيّن قراءة هذه المنحنيات الثلاثة:

أنّ الطرق الثلاث 1، 2، 3 لا تتدخّل على نحو تتابعي، هي تتشابك تدريجيا وبالترتيب عبر مسارات مختلفة. كما تملك انطلاقا فوريا؛ ولكنّها ذاتُ آجالِ تدخُّلٍ مختلفة وإمكانياتها مبسوطة على طول الزمن.

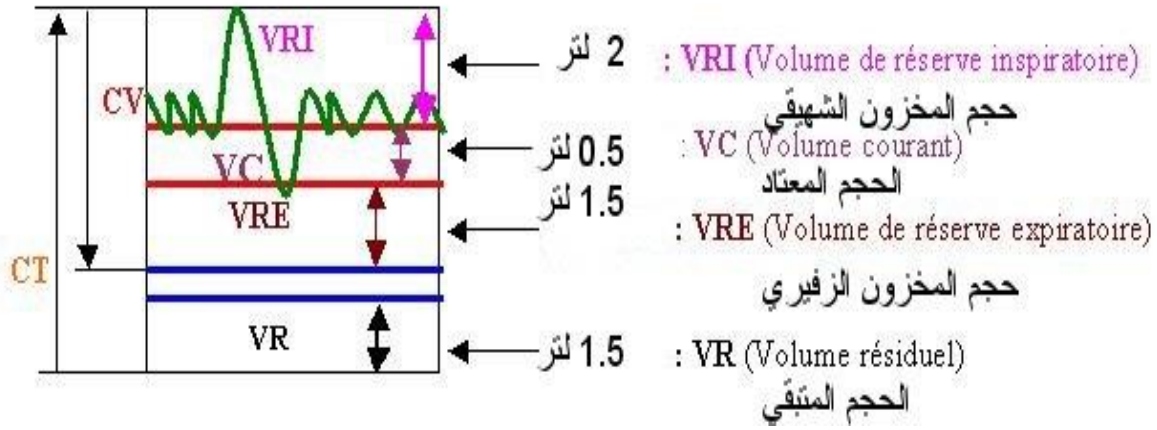
تذكير بالأحجام التنفسية: تتمثل الحركات التنفسية في تجديد الهواء داخل الرئتين. وهي تحدُث على نحو إيقاعي وتناوبي. نميّز الشهيقَ والزفيرَ.

◊ يقابل الشهيق تمدُّد القفص الصدري، عند دخول الهواء الجوي إلى الرئتين؛

◊ يقابل الزفير انقباض القفص الصدري، وبالتالي إخراج الهواء الموجود داخل الرئتين. هذه الحركات ممكنة بفضل حركية القفص الصدري والمرونة الرئوية؛

◊ تقابل التهوية الرئوية (VP) التواتر التنفسي (FR) من 10 إلى 12 حركة/الدقيقة. يتغير هذا التواتر تبعا للنشاط (عمل عضلي، نوم) أو العواطف؛

الأحجام التنفسية:



تُقاس الأحجامُ بمقياس التنفس spiromètre، ونقيس 4 أحجام:

1. الحجم المعتاد بـ 0.5 ل. حجم الهواء لأجل تنفس هادئ (VC)
2. حجم المخزون الشهيقي بـ 2 ل. حجم الهواء الإضافي خلال شهيق شاق (VRI)
3. حجم المخزون الزفيري بـ 1.5 ل. حجم الهواء المجليّ خلال زفير شاق (VRE)
4. الحجم المتبقي بـ 1.5 ل. حجم الهواء غير المجليّ والذي يبقى باستمرار في الرئتين (VR).

السعات التنفسية: هناك سعتان تمثلان مجموع الأحجام المختلفة:

1. السعة الحيوية (CV). تمثل مجموع الأحجام وعادة بين 4 و5 لترات.
2. السعة الكلية (CT). هي مجموع كل الأحجام الرئوية، ويمكنها بلوغ 6 ل.

التكيف الوظيفي مع الجهد: يستلزم التمرين الرياضي تعديلا في إيقاع التهوية الرئوية، وفي سعتها التي تساوي حوالي 6 لترات عند السكون (10 إلى 12 حركة x 0.5 لتر من الحجم المعتاد)

يصبح طلب الأوكسجين أهمّ على مستوى الخلايا العضلية المشارِكة في الجهد. في بداية التمرين، هناك ارتفاع في سعة الحركات التنفسية وإيقاعها. يزيد هذا الارتفاع شيئا فشيئا مع ارتفاع شدة التمرين العضلي. إذا أصبحت هذه الشدة معتدلة وقد كانت في البداية عسيرة، تثبت الإيقاعات التنفسية والدورانية:

هناك توازن بين الاستهلاك وإسهامات الأوكسجين، إنّها وضعية ثابتة، تقابل مفهوم النفس الثاني حيث يبدو الجهد سهلا (مثال: الهرولة).

في المقابل، كلّما دعَّم الرياضي جهدا شديدا، زاد التدفّق (يمكن للحجم المعتاد أن يصل إلى 3.5 لتر وللإيقاع أن يرتفع إلى 45 بل 70 حركة/الثانية الأمر الذي يمنح 120 إلى 200 لتر من الأوكسجين في الدقيقة). في اللّحظة التي يبلغ فيها التمرين الحدود التي يستعمل عندها كل الأوكسجين المتاح على المستوى العضلي، نقول: إنّ الرياضي بلغ قوّته القصوى الهوائية puissance maximale aérobie **(PMA)**. تعبِّر ألـ **PMA** عن نفسها بالواط Watt وتشير إلى قوّة شدة الجهد الموافقة للإمكانيات القصوى للرياضي لتزويد عضلاته بضخ قوي (الحجم الأقصى للأوكسجين) (VO_2 Max).

يقول الفسيولوجيون إنّ الرياضي بلغ حجمه الأقصى من الأوكسجين (دفق أقصى للأوكسجين) بين 6 و7 دقائق بالسرعة القصوى الهوائية (VMA)). يعبَّر عن ألـ VMA بالكلم/سا. هذا المعطى ضروري لتحقيق مخططات تدريب فردية. ألـ VO_2 Max صفة يحددها الموروث الجيني، وهو أكبر عند الذكور من الإناث. يمكننا تطوير ألـ VO_2 Max من 15 إلى 30 %؛ سيما خلال مرحلة البلوغ وهذا إلى غاية 25 سنة. يقيّم هذا بالميللتر من الأوكسجين في الكلغ العضلي وفي الدقيقة (مل/د/كلغ) في المخبر أو الميدان. يمكننا أن نعثر لدى الرياضي عالي المستوى على قيمة80 ك/د/كلغ، في حين أن الجالس يبلغ بصعوبة 46 إلى 50 مل/د/كلغ.

رغم هذه الوضعية الحرجة بالنسبة للرياضي عند الحجم الأقصى للأوكسجين، يمكن لهذا الأخير أن يرفع مجددا شدّته (العدو السريع على خط اليمين في سباق 3000م) باستدعاء مساراته اللاهوائية. وهذا ينتج لبنية كبيرة في الدم lactatémie ويخلق **ديْن الأوكسجين** الذي عليه تسديده خلال استشفائه récupération. وسيحدُث في هذه المرحلة، طبعا، ضيقٌ في التنفَس مع توقف التمرين.

دَيْنُ الأوكسجين: خلال فترة الاستشفاء، يتقلّص الطلب الطاقوي تقلصا كبيرا بحكم انتهاء التمرين. وعلى العكس من ذلك، يبقى استهلاك الأوكسجين(vo_2) مرتفعا نسبيا خلال مدة ترتبط مدتها بشدة التمرين.

الفارق بين حجم (vo_2) في الاستشفاء وحجم (vo_2) في السكون يسمى ديْن الأوكسجين (هيل – 1922).

من اليسير ملاحظة أن القيم التنفسية والقلبية في ختام جهد، مهما كان نوعه، لا تعود إلا تدريجيا إلى قيمها الابتدائية.

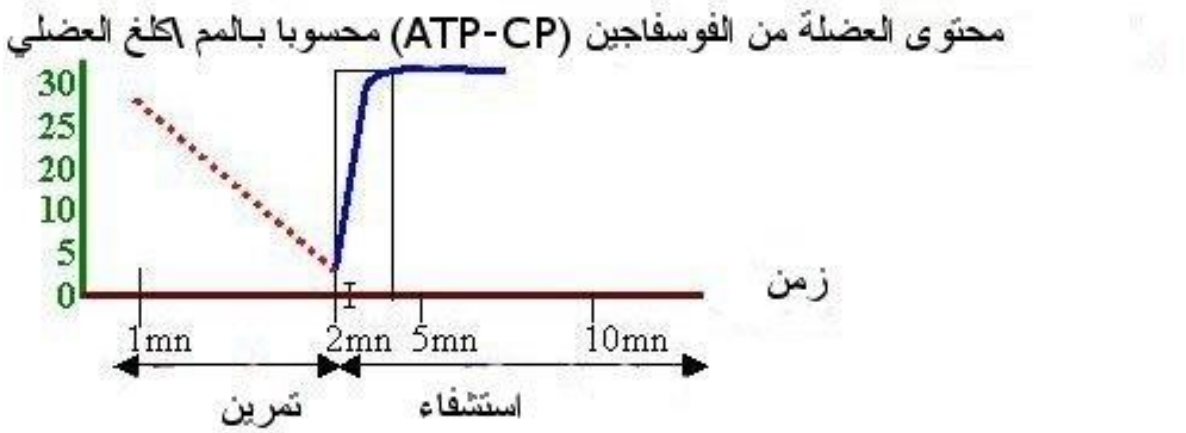
يعني هذا الاستشفاء البطيء أنّ استهلاك الأوكسجين يعود ببطء إلى قيمته عند الانطلاق. يُعرَّف دين الأوكسجين بكمية الأوكسجين المستهلَكة الزائدة خلال فترة الاستشفاء بالنظر إلى فترة السكون.

الرياضي المشتغل مع نقص الأوكسجين في بداية الجهد، يسلك طريقا (مسارا) مجرّدا من أداة القدرة على المواصلة. إنّه حال زبون يقترض من البنك للحاجة. عليه إذن تسديد هذا القرض بنسبة أعلى من نسبة البداية: الدين أعظم من العجز.

وذلك لأنّ أهمّية هذا الديْن من الأوكسجين مرتبطة بشدة الجهد المؤدي إلى هذا العجز ومدته. كلّما كان الجهد عنيفا كان زمن الاستشفاء أطول.

إعادة تركيب المخزونات الطاقوية خلال الاستشفاء

ألـATP-CP أو الديْن اللالبني: يمثل عجزا ضعيفا من الأوكسجين. يعثر على أيضِ métabolismeالسكون خلال 3 إلى 5 دقائق.



كيف يُستعمَل هذا الاستهلاك الزائد من الأوكسجين خلال طور الاستشفاء؟

جهد من النمط اللاهوائي اللالبني: يستخدم فائض الأوكسجين في إعادة تشكيل مخزونات الفوسفاجين (ATP-CP) يعاد تركيب أكثر من 84% من الكرياتين في دقيقتين.

غليكوجين عضلي أو دين لبني: مُنْتَجة خلال تمرين شديد جدّا، مع إنتاج مهمٍّ للَّبنات (لاكتات). الدين عظيم جدا ولأجل إعادة تركيب المكوّنات الطاقوية نحتاج إلى استشفاء طويل من 10 إلى 48 ساعة (وحتى 5 أيام)

جهد من النمط اللبني: يُستخدَم فائض الأوكسجين خصوصا في:

1- إعادة تشكيل الفوسفاجينات

2- تحويل حمض اللبن إلى غليكوجين، 88% تُطْرَح في 75 دقيقة من الاستشفاء.

3- استعادة درجة حرارة جسمية عادية.

4- إشباع حاجات العضلات التنفسية إلى الأوكسجين لأجل استشفائها.

هذا التحليل لِدين الأوكسجين مهم جدا للمدرّب: في برمجة تمرين بالقوّة اللاّهوائية اللاّلبنية مثال: (60م، 80م، 100م) أو هوائية معتدلة (مشي سهل) ويكون إنتاج اللبَنَات قليل الأهمية. وهذا يتطلّب استشفاءً قصيرا.

ففي برمجة تمرين بالسعة اللاهوائية اللالبنية التكرار مثال: (60، 80، 100، 120، 150) على المدرّب أن ينظّم قطعا استشفاء كاملا بين السلاسل إذا كان الهدف هو العمل في الطريق ATP-CP. يجب أن تكون لهذا الاستشفاء مدّة (زمن) وطبيعة (سلبية - عند التوقف) أو (نشطة – مشي).

لأجل التدريب في الطريق 2، مع إنتاج مهم للَبنات القوة اللاهوائية اللبنية مثال: (250م-300م-400م) على الاستشفاء أن يكون أطول. كذلك ينصح بإجراء استشفاء نشط. (مشي خفيف من 15 إلى 30د).

في حالة السعة اللاهوائية اللبنية مثال (400-500-600-800) يمكننا العمل ضمن **التعب اللبني** fatigue lactique (استشفاء أقل) لأجل:

تعويد الجسم على تحقيق حصص ذات جرعة مهمّة من اللبنات (اللاكتات). وهذا يستدعي تحفيزا لأنّ الجهد ذو شدّة عالية جدّا (ينصح بها للشباب)

المدد الدنيا والقصوى للاستشفاء، المقترحة إثر تمرين أقصى

مسار الاستشفاء	زمن الاستشفاء
استرداد مخزونات الفوسفاجين في العضلة ATP-CP (سباق سريع)	3د على الأقل 5د على الأكثر
تسديد الدَيْن اللالبني (سباق سريع)	3د 5د
إعادة تركيب الغليكوجين العضلي	10سا باستمرار 46سا 5 سا بالفاصل 24سا
التخلص من حمض اللّبن في الدم والعضلات	30د استشفاء نشط 1سا 1سا استشفاء سلبي 2سا

التكيف الوظيفي مع الجهد

◊ يقاس الحجم الأقصى للأوكسجين (**VO2 max**) بالميللتر في الدقيقة وفي الكلغ (مل/د/كلغ). إذا رفعنا تدريجيّا شدّة جهد، يرتفع الاستهلاك أيضا إلى غاية نقطة معيّنة. فوق هذه النقطة، لن يجرَّ كل تقدُّمٍ جديدٍ تزايدًا في امتصاص الأوكسجين: وهذا هو ألـ**VO2 max** .

تقاس ألـPMA (القوة القصوى الهوائية)بالواط watt وتشير إلى القوة التي يُبلَغ فيها ألـ**VO2 max** .

يُعَبَّر عن ألـVMA (السرعة القصوى الهوائية) بالكلم/سا، خلال الاختبارات المخبرية أو الميدانية. وهو معطى أساسي بالنسبة للمدرِّب، لإقامة برنامج تدريب فردي.

يزيد **التردّد (التواتر) القلبي** على نحو خطي، تبعا للتمرين وكذلك استهلاكُ الأوكسجين. إنّها إجابة قلبية- وعائية على شدّة التمرين.

لفهم طبيعة التمارين المقترحة في الميدان، يجب معرفة مميزات المسارات التي تمكِّن من إعادة تركيب ألـATP: الحوامل المستعمَلة، أجلُ التدخل، القوّة (الكمّية القصوى من الطاقة القابلة للإنتاج في وحدة زمنية)، سعة أو مداومة، عوامل محدِّدة للقوة، عوامل محدِّدة للقدرة المداومة، المنتوج النهائي للتفاعلات، أجل عودة الجسم إلى السكون إلخ....

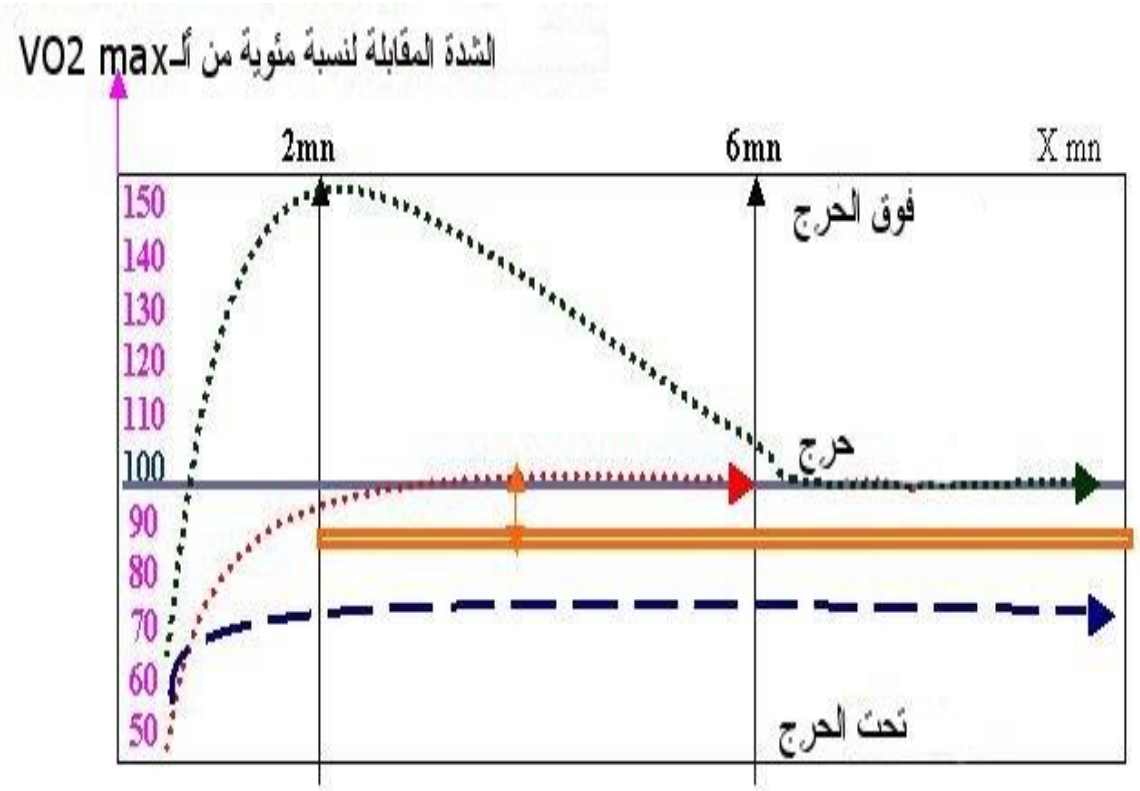
مفهوم الحجم الأقصى للأوكسجين VO2 max: يوافق الحجم الأقصى للأوكسجين VO2 max، طوال التمرين، الكمية القصوى من الأوكسجين المستهلَك من الجسم في دقيقة. ومع اعتبار أجلِ تدخُّل الفرع الهوائي، لن يكون بالإمكان تنشيط ألـVO2 max إلا من أجل جهود تتجاوز الدقيقتين.

ألـVO2 max (معبرا عنه باللتر في الدقيقة أو الميللتر في الدقيقة وفي الكلغ من الوزن الجسمي) مقيَّد أساسا بعمل الجهاز القلبي –الوعائي والاستنفاذ الإنزيمي (ميتوكوندريات) للألياف العضلية المثارة.

ترتبط سعته بالتجهيز الوراثي والتدريب المجرى قبل سن الخامسة والعشرين. من وجهة نظر إحصائية يكون ألـVO2 max أكبر عند الرجال منه عند النساء.

مفهوم المداومة: تسمَّى السعة الهوائية، ويُعبِّر مفهوم المداومة عن إمكانية الاستمرار في التمرين وفق الشدّة المختارة. ترتبط مدّة تمرين، يُوَظِّف على نحو تفضيلي النظام الهوائي، بالنسبة المئوية للـVO2max المستعمَل وبمستوى التدريب. بالقوة القصوى الهوائية تنفذ طاقة شخص غير مدرب بين 4 و6د. يمكن لشخص مدرَّب أن يحافظ على قوته القصوى الهوائية بين 7 و 15د.

مفهوم العتبة:



تمرين بشدة معتدلة: يجري التمرين في وسط هوائي aérobiose ويمكن متابعته طويلا (المداومة القصوى الهوائية=E.M.A)(Endurance Maximale Aérobie).

تمرين بشدة مساوية للـ P.M.A: على شدة التمرين أن تنخفض لكي يستمر الجسم في العمل داخل وسط هوائي aérobiose.

تمرين بشدة عالية جدا: تكون الطاقة ذات الأصل الهوائي غالبة.

منطقة العمل اللاهوائي

مفهوم العتبة الهوائية واللاهوائية**:** خلال تمارين شديدة، **أقل من الـ** P.M.A، يرتفع تركيز اللبَنَات **lactates** خلال الدقائق الأولى للتمرين (بحوالي 60% من ألـ VO2 max)، وتبدأ اللبَنَات في

الظهور. يوافق هذا الطور جزئيا إسهاما طاقويا لاهوائيا. تم تثبيته على نحو نظري محض في تركيز دموي لـ 4 ممول من حمض اللبن. إنها العتبة اللاهوائية، التي تنتقل طبعا مع مستوى التدريب.

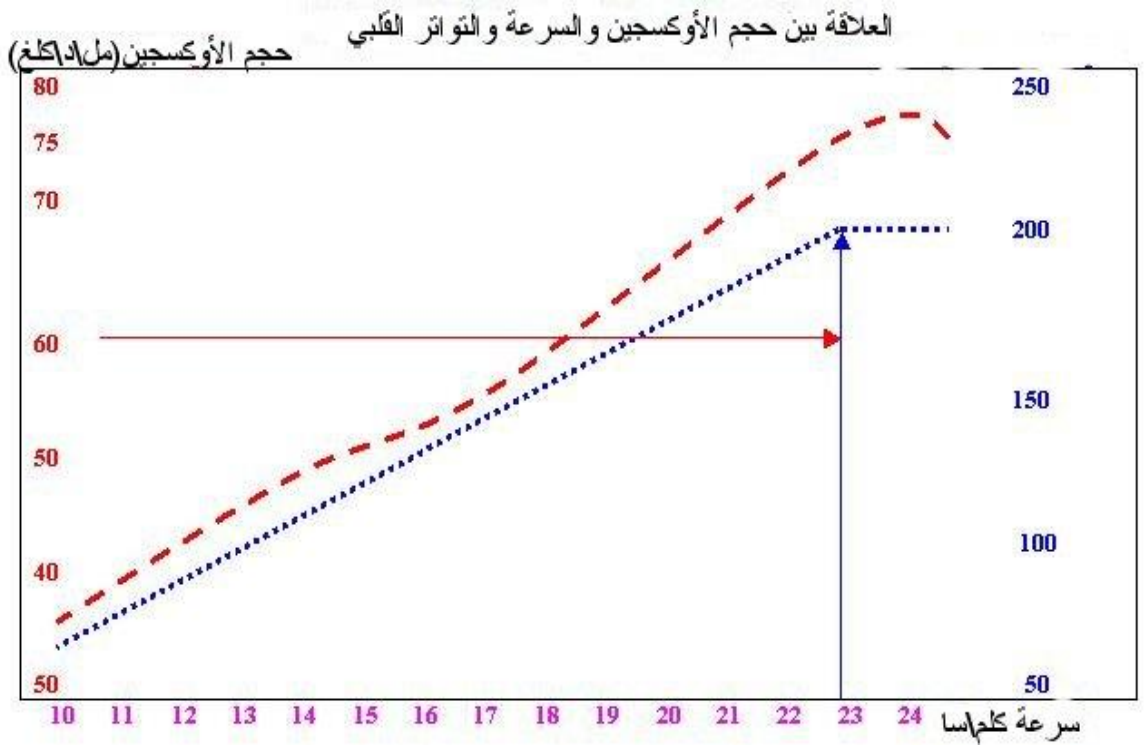
إلى 60 % من ألـ VO2 max (عتبة هوائية)، يبقى معدّل اللبنات ضعيفا (2 ممول) وثابتا. إنها منطقة المداومة الأساسية على الاستشفاء. إن الرغبة في جر الفرع الهوائي تحت هذه العتبة لا يحدث أي أثر.

ما وراء 60% وحتى 85% من الحجم الأقصى للأوكسجين، نراكم تدريجيا لبنات؛ ولكن يمكننا مجدّدا متابعة الاستمرار طوال حوالي 30د لدى الجالس و60د لدى الرياضي المتدرب. إنّها منطقة عمل السعة الهوائية (منطقة انتقالية هوائية-لاهوائية). يمكن للعمل أن يجري عبر أجزاء من 20د أو أكثر.

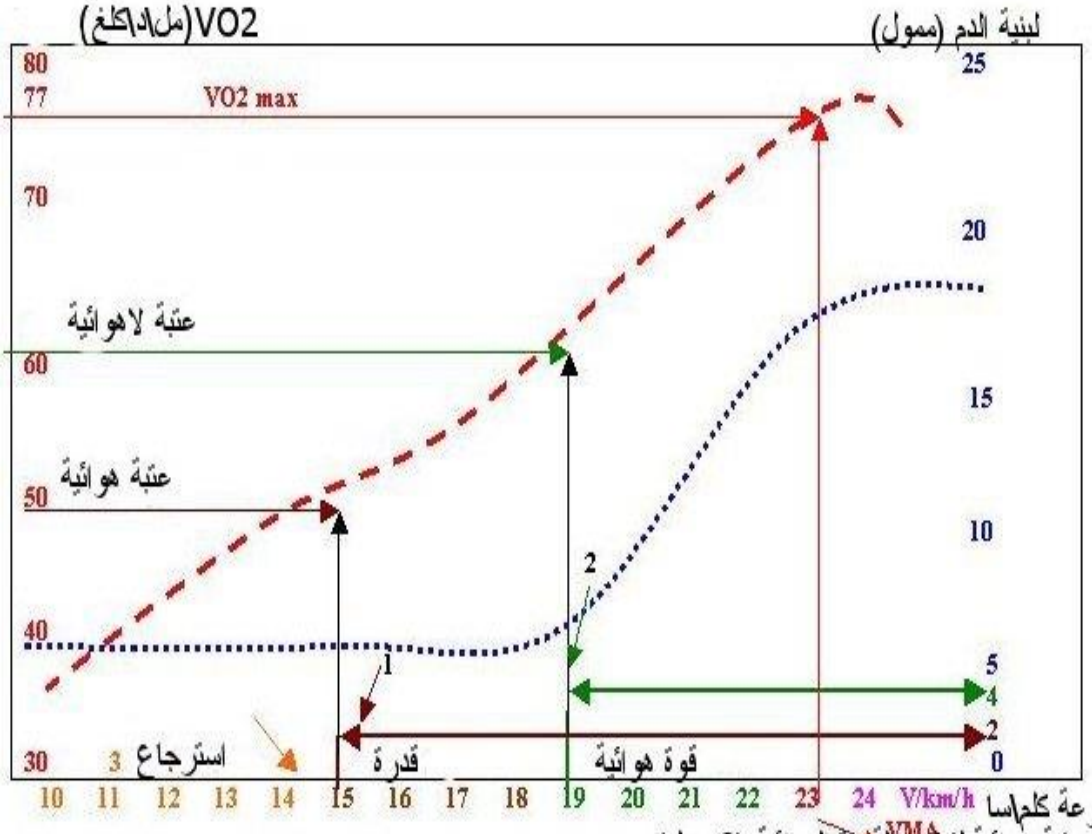
نحو 85% من ألـ VO2 max و4ممول من اللبنات إنها العتبة اللاهوائية. كل زيادة في السرعة تحدث ارتفاعا فجائيا في معدل اللبنات ويقلص متابعة الجهد.

ما وراء العتبة اللاهوائية، إنها منطقة تطوير القوة الهوائية. يجب تجزئة العمل مع استشفاءات نشطة.

مع 100% من ألـ VO2 max، يكون استهلاك الأوكسجين في الذروة. تتغير مدة التمرين تبعًا لمستوى كل شخص، لأنّ التراكم اللبني مهم.



العلاقة بين استهلاك الأوكسجين و لبنية الدم و السرعة



1 عتبة هوائية:لتطوير القدرة الهوائية (2ممول)

2 عتبة لاهوائية: هي حد الحُمَاض المقبول (العمل على نحو منقطع) 4 (ممول)

3 استشفاء (تسخين، مرض، إجازات)