Les paramètres physiologiques de l’entrainement intermittent

العوامل الفزيولوجية للتدريب المتقطع

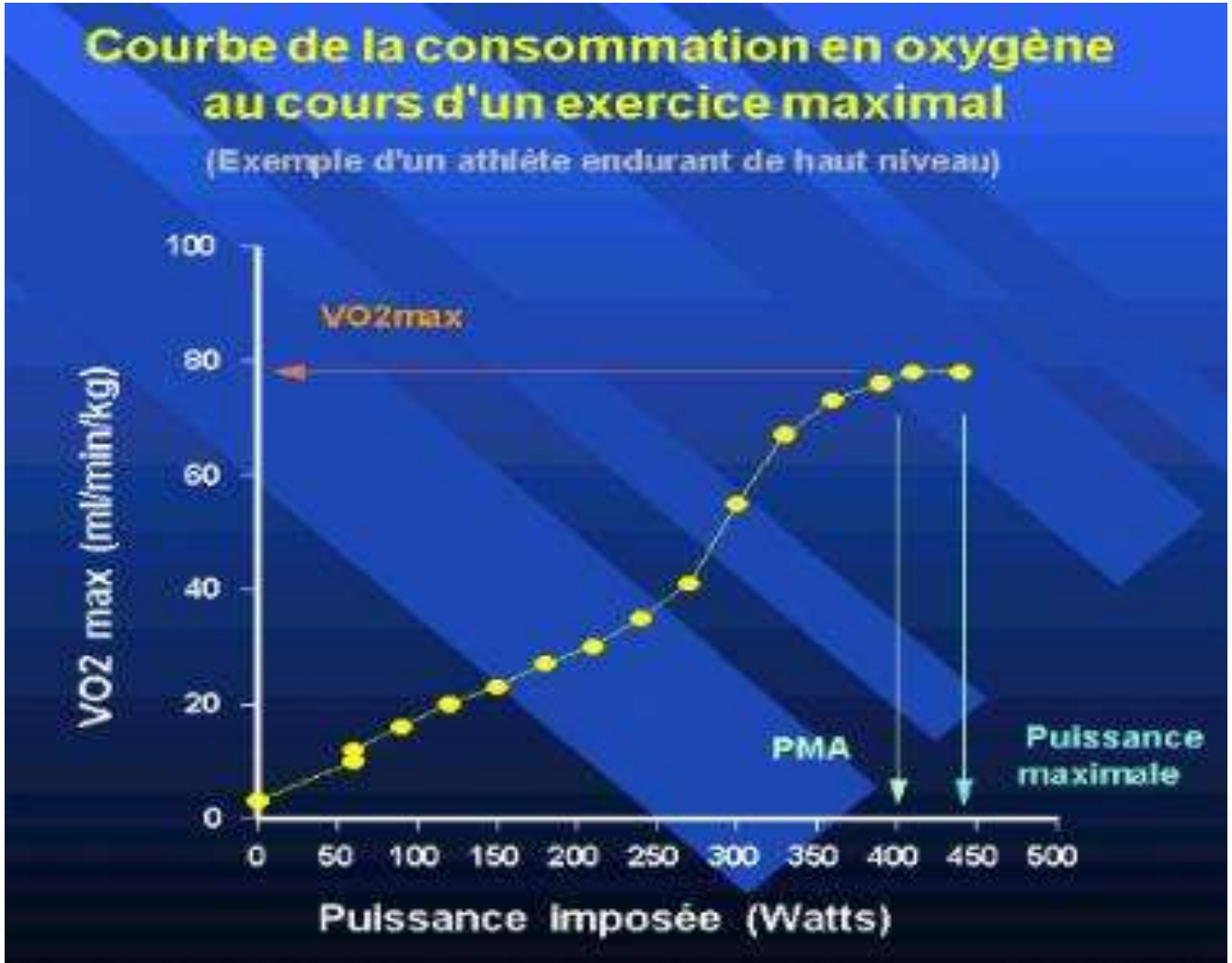
التدريب المتقطع
Intermittent

يراعي التدريب المتقطع أن مدة الراحة تؤثر بشكل مباشر على شدة الجهد المبذول. ويكمن الفرق بين التدريب المتقطع والتدريب الفتري في أن معدل ضربات القلب لا ينخفض بأكثر من 10 إلى 15 نبضة في الدقيقة خلال فترة الراحة في الأول، بينما ينخفض بمقدار 20 إلى 40 نبضة في الدقيقة في الثاني.

يرتبط تطور المعرفة في فسيولوجيا التمارين الرياضية بتطور تقنيات القياس. ففي أوائل الستينيات، سهّل تطوير أجهزة التحليل الإلكترونية قياس التبادل التنفسي وتحديد كمية استقلاب الطاقة (willmore et costill, 1994) وكان عالم وظائف الأعضاء السويدي بير أولوف أستراند من رواد هذا المجال، لا سيما في التمارين المتقطعة (بيلات، 2001أ). ومن الناحية الفسيولوجية، كان الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (VO2max) أول عامل تم تحديده كمحدد لأداء سباقات المسافات المتوسطة.

قام أرشيبالد فيفيان هيل (الحائز على جائزة نوبل في علم وظائف الأعضاء أو الطب عام 1922) في عام 1923 بتعريف مفهوم VO2maxوالوصول إلى حالة مستقرة قصوى لا يزيد استهلاك الأكسجين فوقها (باسيت وهولي، 2000).

أكدت دراسة أستراند ورودال (1970) استقرار استهلاك الأكسجين فوق مستوى معين من الشدة. وكان هيل ولوبتون قد اقترحا في عام 1923 أن مستوىً عالياً من VO2maxضروري لتحقيق أداء عالٍ في سباقات المسافات الطويلة (باسيت وهولي، 2000).



الوصول إلى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (VO2max) أثناء التمارين المتقطعة

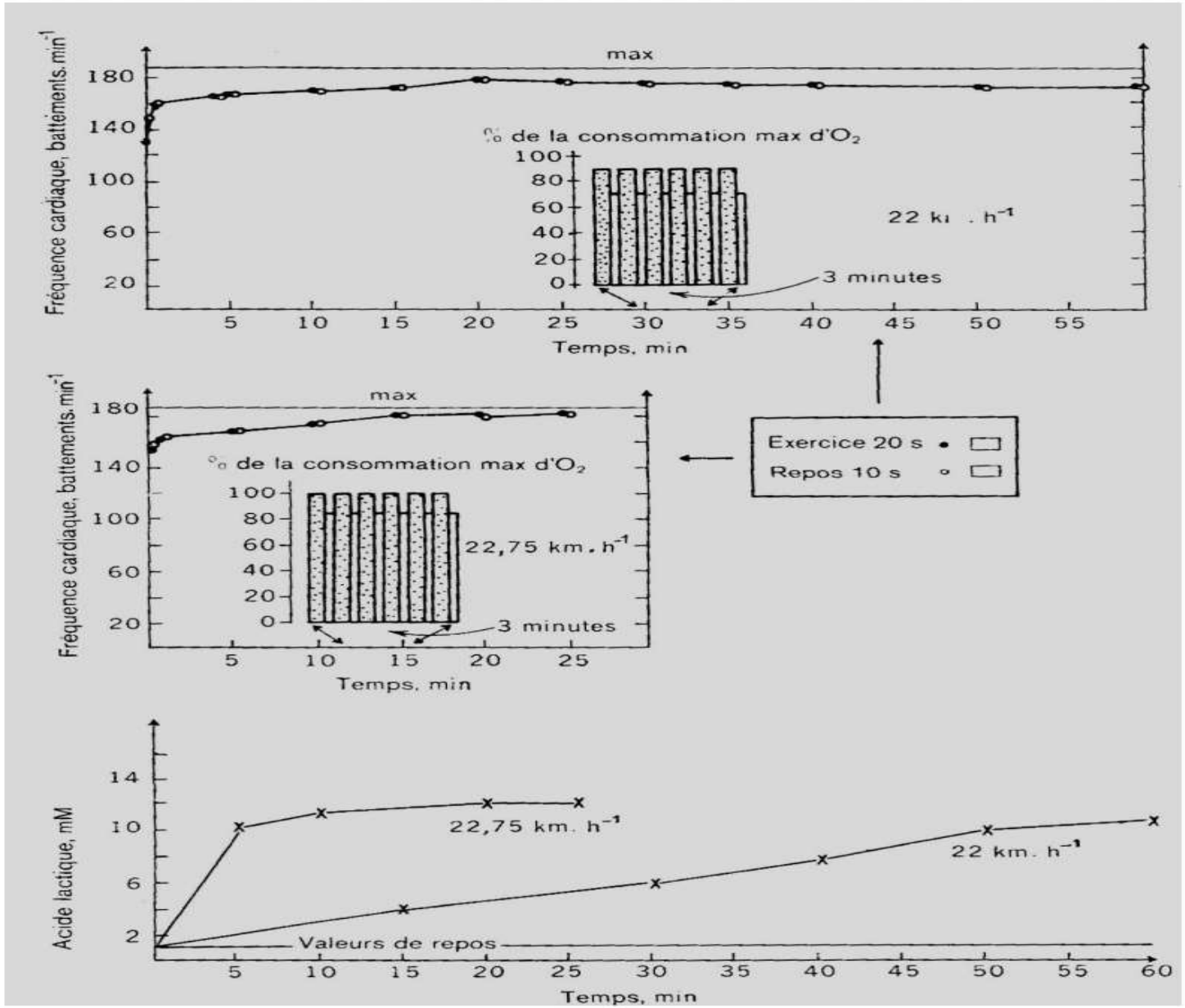
أظهرت الدراسات المبكرة حول التمارين المتقطعة وجود تأثيرات فسيولوجية مختلفة تبعًا لنوع التمرين المتقطع (كريستنسن وآخرون، 1960؛ أستراند وآخرون، 1960أ). وقد لوحظ أنه خلال التمارين المتقطعة من نوع 10-5 ثوانٍ (فترات جري مدتها 10 ثوانٍ تتخللها فترات راحة سلبية مدتها 5 ثوانٍ) والتي تُمارس لمدة 20 دقيقة (بسرعة لا يمكن الحفاظ عليها إلا لمدة 4 دقائق في دورة متواصلة بسرعة 29 كم/ساعة)، يصل العداء إلى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (VO2max) في نهاية كل فترة تمرين. (Christensen et coll, 1960)

أظهر هؤلاء المؤلفون أنفسهم أن VO2 لم يصل إلى القيم القصوى إذا تم تمديد فترة الاستشفاء إلى 10 ثوانٍ، وأنه كان مرتفعا، ألا أنه لم يتم الوصول إلى الحد الأقصى أثناء تمرين من نوع 15 ثانية عمل - 15 ثانية راحة.

أظهرت دراسة أستراند وآخرون (1960ب) أنه عند قدرة تبلغ 350 واط، لم يكن بالإمكان الاستمرار في التمرين المتواصل على دراجة ثابتة لأكثر من 9 دقائق، بينما عند نفس الشدة، استمر التمرين المتقطع (30 ثانية - 30 ثانية) لمدة 30 دقيقة. في هذه الدراسة، من بين أربعة أشكال من التمارين المتقطعة التي دُرست (30 ثانية - 30 ثانية، دقيقة واحدة - دقيقة واحدة، دقيقتان - دقيقتان، و3 دقائق - 3 دقائق)، سمحت الأنماط التي تتناوب فيها فترات الجهد لمدة دقيقتين أو 3 دقائق مع فترات الراحة لمدة دقيقتين أو 3 دقائق بالوصول إلى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (VO2max) مع قيم عالية من اللاكتات (16.6 مليمول/لتر).

خلال تمرين متقطع من نوع (20 ثا جهد / 10 ثا راحة)، أدّت زيادة طفيفة في شدة الجهد (3.4%) إلى الانتقال من 90% إلى 100% من VO_2max، مما نتج عنه انخفاض ملحوظ في زمن تحمّل التمرين (من 60 دقيقة إلى 25 دقيقة)، دون تغيّر في تركيز اللاكتات الدموي عند نهاية الجهد، مما يشير إلى أن العامل المحدِّد للأداء هو الإجهاد القلبي-التنفسي وليس التراكم اللاكتيكي.

من جهة أخرى لم تؤدي زيادة وتيرة ومدة التدريب المتقطع (من 2 إلى 4 مرات في الأسبوع) إلى تحسن كبير في VO2max. (Fox et coll, 1975 ; Gjovaag et Dahl, 2008). يبدو أن شدة التمارين المتقطعة، وليس حجم التدريب الإجمالي، هي التي ترتبط بالتكيفات الفسيولوجية الهامة (Laursen et Jenkins, 2002 ; Laursen et coll, 2002b)



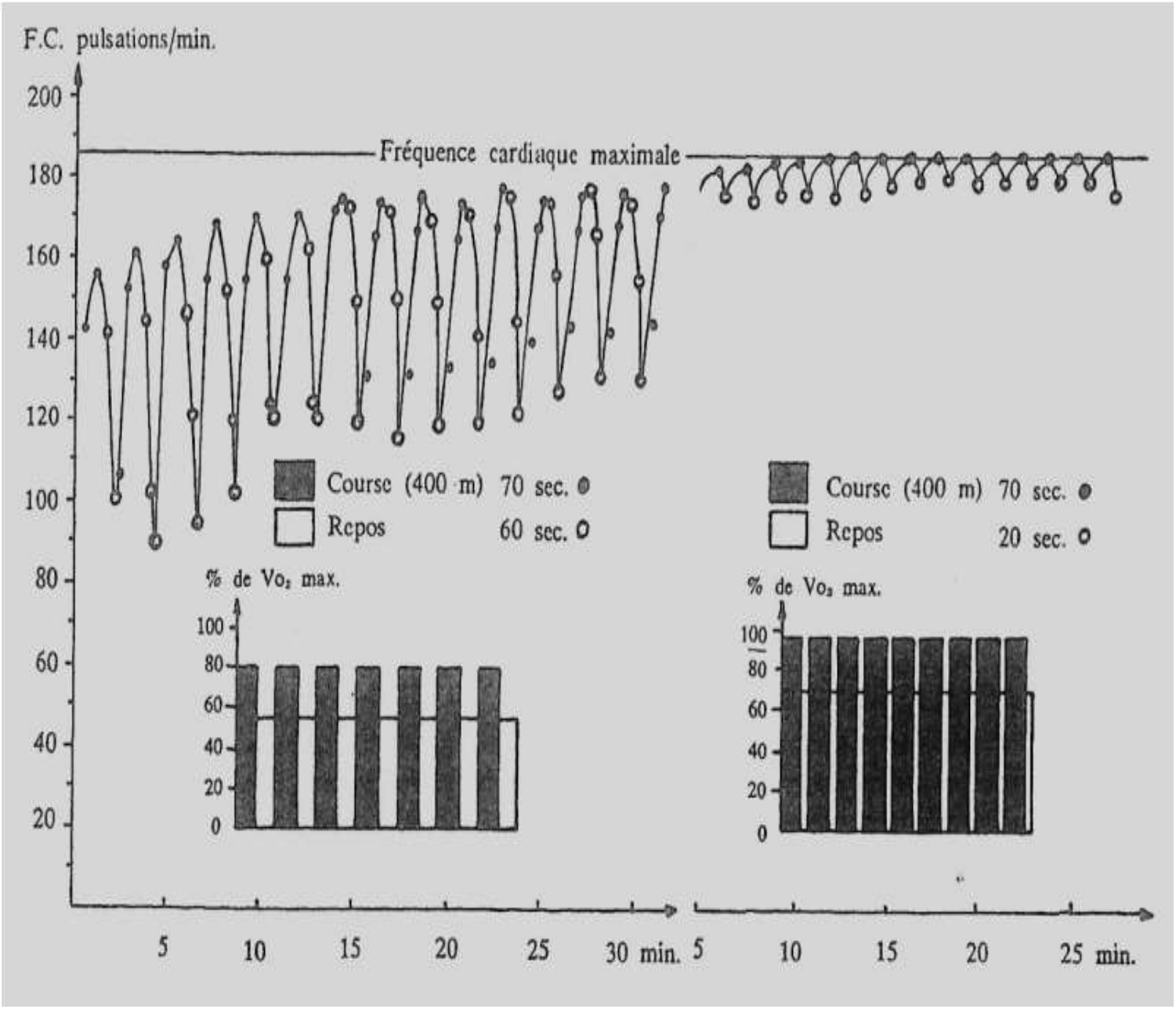
يبين الشكل تأثير زيادة طفيفة في شدة تمرين متقطع (20 ثانية جهد / 10 ثواني راحة) على الاستجابات الفسيولوجية.

عند سرعة 22 كم/س، يرتفع استهلاك الأكسجين ليبلغ حوالي 90% من VO_2max، مع استقرار نسبي في النبض القلبي، مما يسمح بالاستمرار في الجهد لمدة طويلة.

عند زيادة السرعة إلى 22.75 كم/س فقط، يصل استهلاك الأكسجين إلى 100% من VO_2max، ويبلغ النبض القلبي قيمه القصوى بسرعة، مما يؤدي إلى انخفاض كبير في زمن تحمل التمرين.

يوضح منحنى الاكتات الدموي أن تركيزه النهائي متقارب في الحالتين، رغم اختلاف الشدة وزمن الأداء. يدل ذلك على أن العامل المحدد للأداء في هذا النوع من التمارين المتقطعة هو الإجهاد القلبي-التنفسي المرتبط بـ VO_2max، وليس تراكم اللاكتات.

Consommation d'oxygène, fréquence cardiaque et lactatémie au cours de deux exercices intermittents 20s-10s courus respectivement à 22km.h-1 et 22,75 km.h-1 (Karlson et coll, 1967).



الصورة تقارن بين نمطين من التمرين المتقطع في الجري لمسافة 400 م، مع اختلاف مدة الراحة، وتظهر تأثير ذلك على النبض القلبي (F.C)، ونسبة استهلاك الأكسجين من VO_2max.

الجزء العلوي: النبض القلبي حيث أن الخط الأفقي يمثل النبض القلبي الأقصى.

في الحالة الأولى (راحة 60 ثانية):

النبض القلبي يرتفع أثناء الجهد وينخفض بوضوح أثناء الراحة.

في الحالة الثانية (راحة 20 ثانية):

لا ينخفض النبض القلبي كثيرا ويبقى قريبا من القيم القصوى طوال التمرين. تقليص زمن الراحة يزيد من الضغط القلبي التنفسي.

الجزء السفلي: النسبة المئوية % من VO_2max

مع راحة 60 ثانية:

الجهد عند حوالي 80–85% من VO_2max

مع راحة 20 ثانية:

الجهد يصل إلى 90–100% من VO_2max

قصر مدة الراحة يبقي استهلاك الأكسجين مرتفعا.

كلما قصرت فترة الراحة قل الاستشفاء زادت المتطلبات القلبية والتنفسية وارتفعت شدة الحمل الفسيولوجي

Consommation d'oxygène et fréquence cardiaque au cours de deux exercices intermittents : 400 mètres courus en 70s alternés avec des récupérations passives de 60 s dans le premier exercice ou de 20 s dans le deuxième exercice (Karlson et coll, 1978)

مخزون الأكسجين المحلي (الميوقلوبين)

الميوغلوبين (MHbO2) هو بروتين عضلي يتكون من سلسلة واحدة من 153 حمضا أمينيا، تحتوي على مجموعة فوسفات وأيون الحديد (Fer II) في مركزها. اكتشف عام 1957 على يد John Kendrew (الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1962). يوجد الميوغلوبين في العضلات الهيكلية (حيث يكسب الألياف المؤكسدة لونا أحمر) وفي عضلة القلب.

يسهل الميوغلوبين نقل الأكسجين إلى الميتوكوندريا، لا سيما أثناء التمارين الرياضية المكثفة والمتقطعة (Wittenberg, 1975). تقدر احتياطيات الأكسجين المرتبطة بالميوغلوبين بـ 2 ملي مول من الأكسجين لكل كيلوغرام من العضلات، وهو ما يعادل 3 ملي مول من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات لكل كيلوغرام من العضلات (Harris et coll, 1975)

يسمح الميوغلوبين للشخص بأداء تمارين متقطعة (10-20 ثانية)، بكثافة أكبر من الحد الأقصى للقدرة الهوائية (PMA) دون مشاركة كبيرة للنظام اللاهوائي اللبني، في حين أنه عند نفس هذه القدرة (412 واط) لم يتمكن الأشخاص من أداء تمارين مستمرة لأكثر من 4 دقائق (Astrand et al, 1960).

عند هذه الشدة، يجب أن يعاني الشخص من أقصى عجز تراكمي في الأكسجين (MOAD) (Medbo et al., 1988; Scott et al., 1991)، والذي يتوافق مع كمية الطاقة المستعارة من آليات الطاقة غير المؤكسدة؛ يساعد مخزون الأكسجين المرتبط بالميوغلوبين على الحد من نقص الأكسجين (Astrand et al., 1978).

الميوقلوبين

في تمرين متقطع **(10–20 ثانية جهد)**:
يستطيع الرياضي العمل بشدة **أعلى من القدرة الهوائية القصوى (PMA) دون تراكم كبير للاكتات**

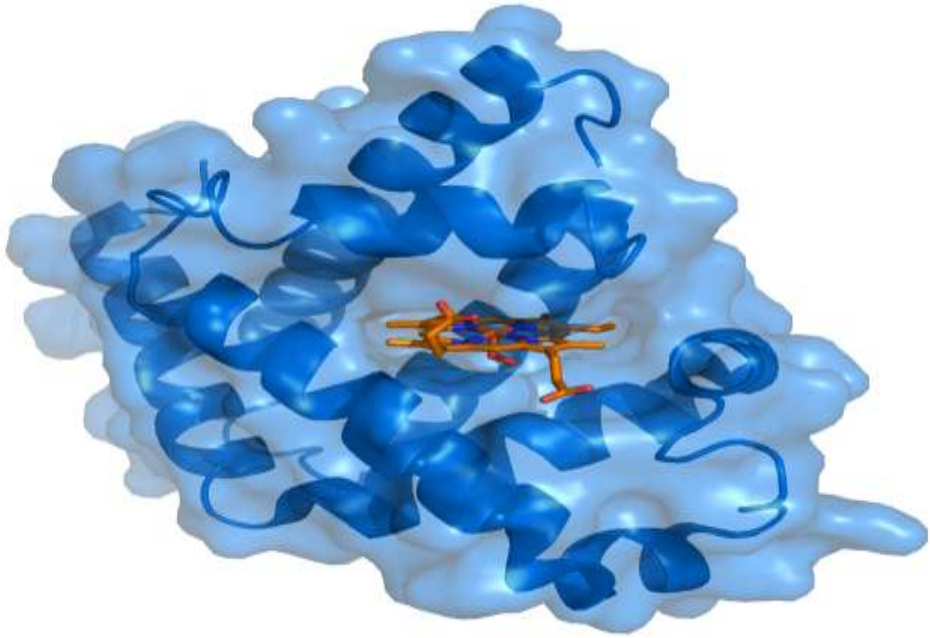
في تمرين مستمر بنفس الشدة **(412 واط)**:لا يمكن الاستمرار أكثر من **4 دقائق**

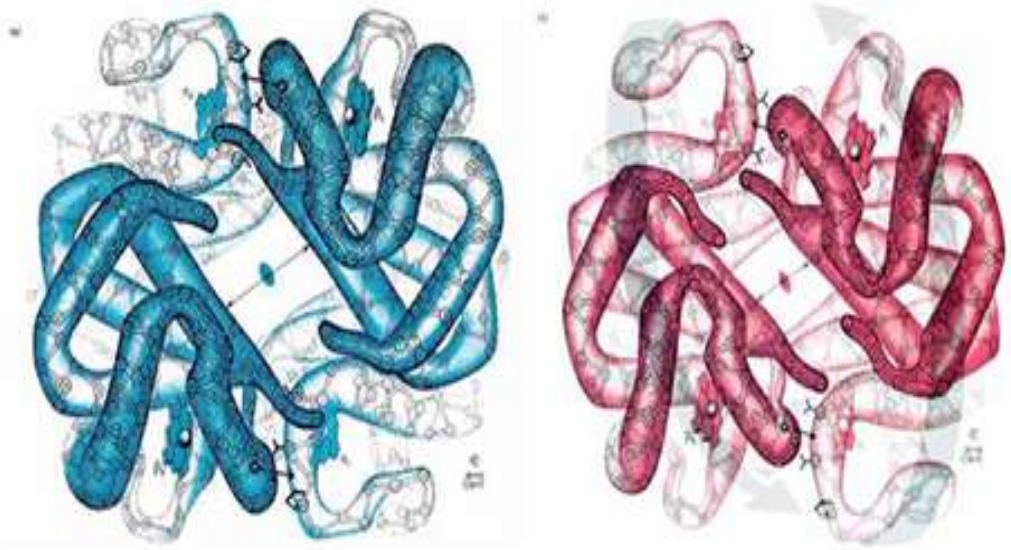
عند شدة أعلى من PMA يواجه الجسم **عجزا في الأكسجين** يسمى **العجز الأقصى المتراكم للأكسجين (DMOA)** هذا العجز يعني الاعتماد على **مصادر طاقة غير هوائية** (غير تأكسدية)

دور الميوغلوبين هو **بروتين داخل العضلة** يخزن الأكسجين.
أثناء الجهد العالي: يحرر الأكسجين المخزن مما: يقلل من العجز في الأكسجين ويحدّ من الاعتماد على النظام اللاهوائي اللاكتيكي، لذلك، يسمح بالاستمرار في الجهد المتقطع عالي الشدة.

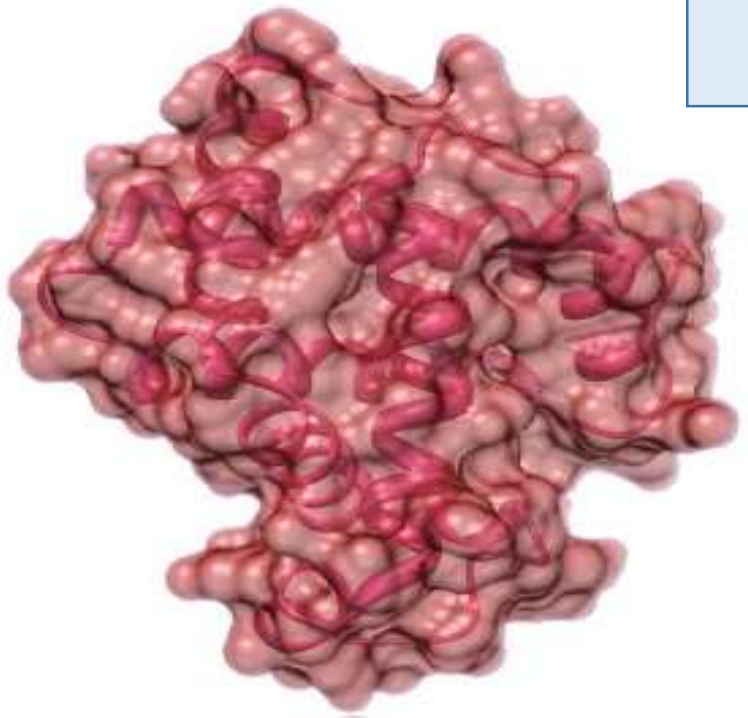
الميوغلوبين يعمل كـ **مخزون محلي للأكسجين**
✓ يساعد على:
تأخير التعب
تقليل تراكم اللاكتات
تحسين تحمل الجهود المتقطعة الشديدة

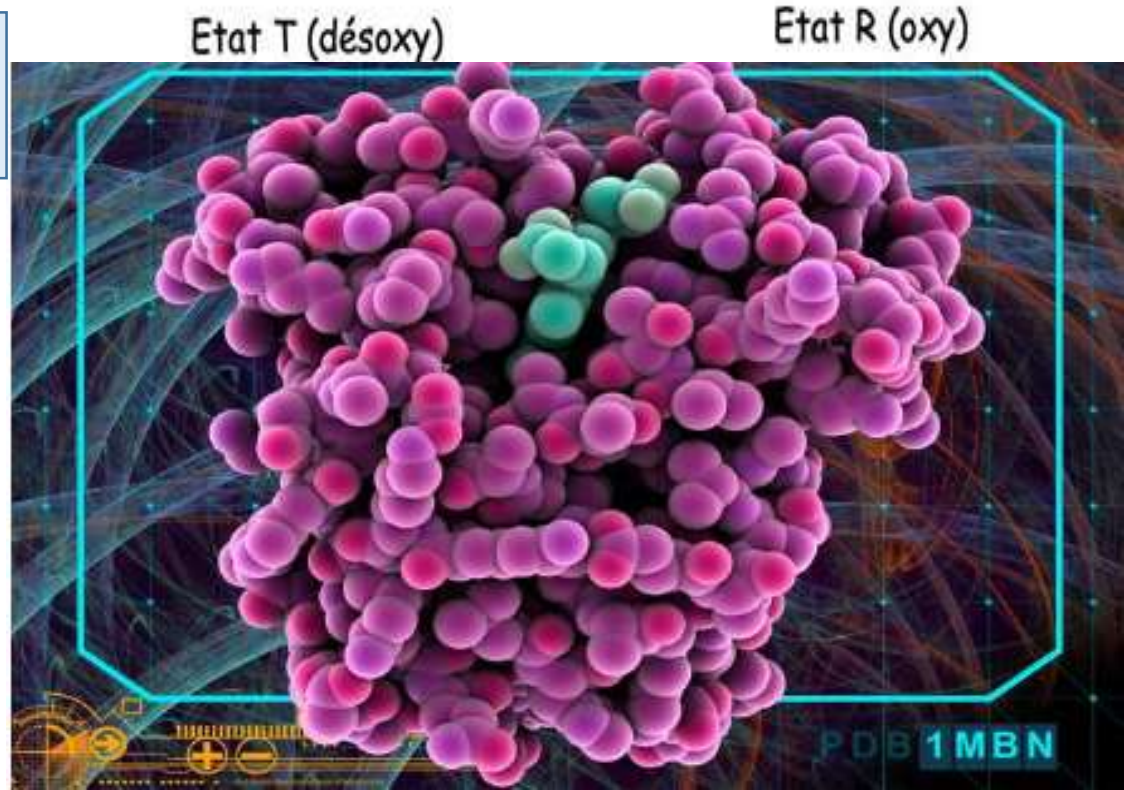
سمح الأكسجين المخزن في الميوغلوبين بأداء تمرين متقطع بشدة تفوق القدرة الهوائية القصوى دون اعتماد كبير على النظام اللاهوائي اللاكتيكي، رغم عدم القدرة على تحمل نفس الشدة في تمرين مستمر. ويعود ذلك إلى دور الميوغلوبين في تقليل العجز المتراكم في الأكسجين والحد من اللجوء إلى الآليات غير التأكسدية.





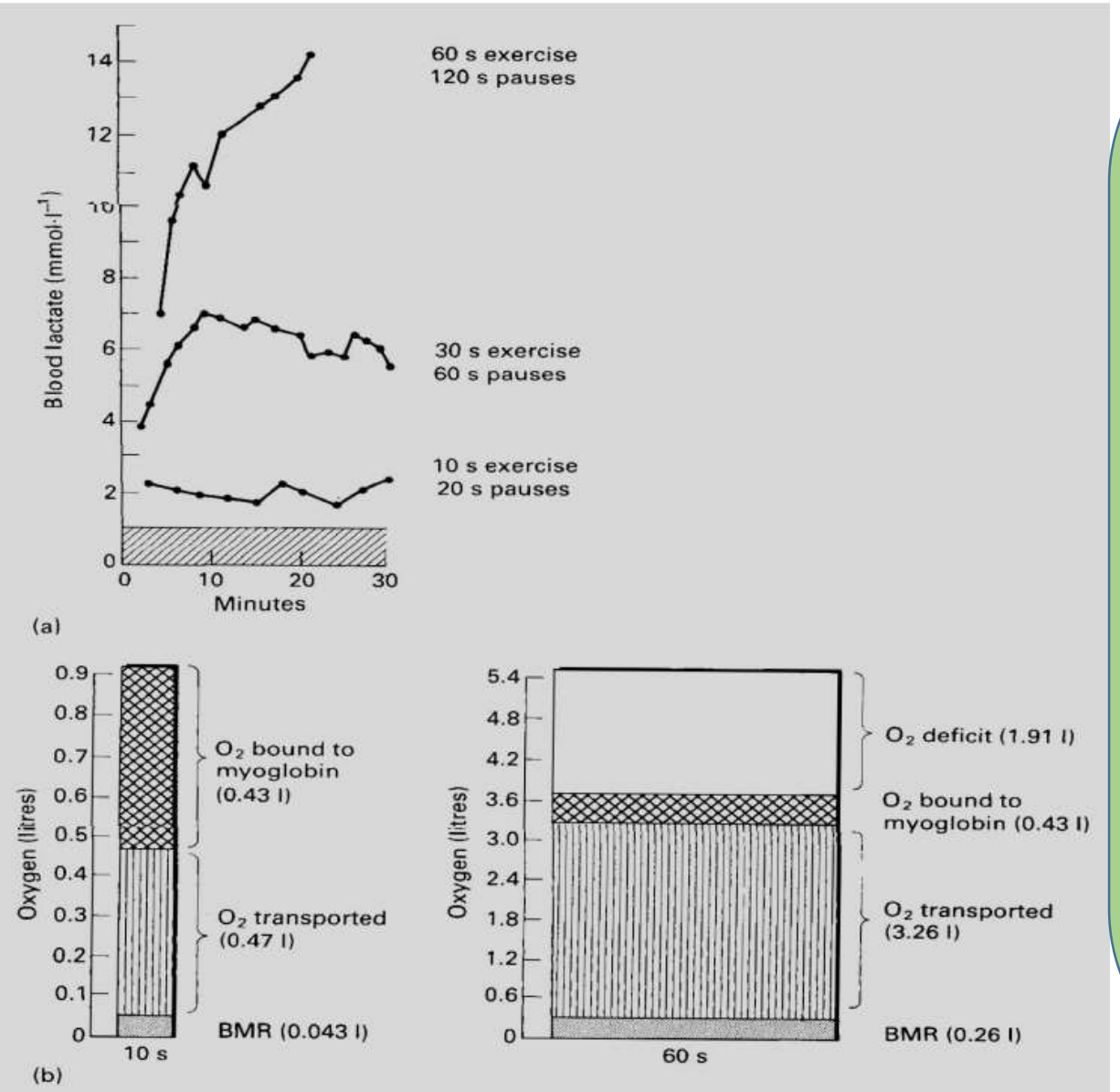
الميوقلوبين
myoglobine





يمكن تحقيق تسلسل الجهد البدني لأن مخزون الأكسجين الموضعي، والأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، والفوسفوكرياتين (PCr) يستعاد خلال فترات الراحة (Astrand, 1992) ، وخلال فترة الراحة، يستعاد مخزون MbO2 بعد 20 ثانية من انتهاء الجهد(Richarson et coll, 1995). وقد أظهرت مقارنة التمارين المتقطعة من النوع 10-20 ثانية، و30-60 ثانية، و60-120 ثانية، أنه حتى خلال الفترة 60-120 ثانية، وبعد أول 5 دقائق من التمرين، يمكن تحقيق توازن بين إنتاج اللاكتات والتخلص منه (Saltin et Karlsson, 1971a).

يمكن للتدريب أن يرفع من محتوى الميوغلوبين في العضلات بنسبة تتراوح بين 75% و80% من احتياطي العضلات الأولي (De Pattengale et Holloszy, 1967 ; Wilmore et Costill, 1994 ; Goodman et coll, 1997) في العضلات النشطة. لذا، من الممكن افتراض أنه قد تم تكوين احتياطي أكسجين موضعي أكبر، مما أدى إلى زيادة مدة الجهد المبذول خلال التمارين المتقطعة من النوع الذي يتراوح بين 60 و120 ثانية، وذلك عن طريق الحد من تحلل الجلوكوز.



تطور تركيز اللاكتات في الدم (Lactatémie) يوضح هذا الجزء **تطور تركيز اللاكتات في الدم** أثناء ثلاثة بروتوكولات للتمارين المتقطعة عند **412 واط لمدة 30 دقيقة**:10 ثا – 20 ثا، 30 ثا– 60 ثا، 60 ثا– 120 ثا

المنطقة الرمادية تمثل **تركيز اللاكتات في حالة الراحة** (المستوى الأساسي قبل التمرين).

الملاحظات الأساسية: في الجهد القصير جدا (10-20 ثا) يكون ارتفاع اللاكتات قليلا.في الجهد الأطول (60-120 ثا) يزداد تركيز اللاكتات بشكل كبير، ما يدل على **مساهمة أكبر لعملية الأيض اللاهوائي اللبني (Anaerobic Lactate Metabolism)**.

الشكل (b5): حساب نسب الأكسجين المستخدمة. يوضح هذا الجزء **توزيع الأكسجين المستهلك أثناء التمرين:**

الأيض الأساسي :(Basal metabolism) الأكسجين المستهلك للحفاظ على الوظائف الحيوية أثناء الراحة.

الأكسجين المرتبط بالميوغلوبين (Myoglobin): الأكسجين المخزن في العضلات للاستخدام السريع.

الأكسجين القادم عبر الدم: الأكسجين المنقول عن طريق الدورة الدموية لتلبية احتياجات العضلات.

كما يظهر **عجز الأكسجين (Oxygen deficit)**: أي كمية الأكسجين التي كان الجسم يحتاجها إذا كان التمرين يعتمد بالكامل على الأيض الهوائي.

مقارنة بين فترتين: 10-20 ثا و 60-120 ثا

10-20 ثا: العجز في الأكسجين قليل، والمساهمة اللاهوائية محدودة.

60-120 ثا: العجز في الأكسجين كبير، مما يعكس حاجة طاقة أكبر تفوق قدرة الأكسجين المتاح مباشرة.

Evolution de la lactatémie au cours de trois exercices intermittents réalisés à la puissance de 412 W pendant 30 minutes: 10s-20s ; 30s-60s ; 60s-120s. La zone grisée correspond à la concentration de lactate au repos. (b) Calcul des fractions d'oxygène utilisées (par le métabolisme basal, lié à la myoglobine et transporté par le sang) et du déficit en oxygène au cours du 10s-20s et du 60s-120s (Astrand et coll, 1978)

- **الجهود القصيرة (10-20 ثانية)** ← ارتفاع قليل في اللاكتات، عجز الأكسجين محدود ← الجهد يعتمد أساسًا على الطاقة الفورية والهوائية السريعة.
- **الجهود الطويلة (60-120 ثانية)** ← ارتفاع كبير في اللاكتات، عجز الأكسجين عالي ← الجهد يعتمد على الأيض اللاهوائي اللبني والهوائي معا.

باختصار، خلال التمارين المتقطعة، يمكن للأكسجين المرتبط بالميوغلوبين أن يغطي ما يصل إلى 50% من احتياجات الخلية من الأكسجين. ويتم تجديد مخزون الأكسجين خلال فترة التعافي. تسمح هذه الآلية بزيادة إجمالية في تحلل الجلوكوز بواسطة النظام الهوائي، مما يؤدي إلى إنتاج كمية أكبر من الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) لكل وحدة جلوكوز مقارنة بالإنتاج الناتج أساسا عن تحلل الجلوكوز، والذي يؤدي إلى إنتاج اللاكتات. (Billat, 2001a).

حركية استهلاك الأكسجين من الراحة إلى التمرين ومن التمرين إلى الراحة

تغير استهلاك الأكسجين ($\dot{V}O_2$) عند الانتقال من الراحة إلى تمرين مستمر عند الانتقال من **الراحة إلى تمرين ثابت الشدة**، يتغير استهلاك الأكسجين $\dot{V}O_2$ بطريقة أسية (Exponentielle) حتى يصل إلى **حالة شبه مستقرة**. تم تحديد **ثلاث مراحل**:**(Barstow, 1994)**:

المرحلة: المرحلة القلبية-الرئوية
المدة: 15–20 ثانية بعد بدء التمرين.
الوصف: تغير أولي في استهلاك الأكسجين يعكس التكيف القلبي والتنفس.

المرحلة 02: المكون السريع لـ $\dot{V}O_2$
الوصف: زيادة أُسيّة في $\dot{V}O_2$ للوصول إلى حالة شبه مستقرة بعد 3–4 دقائق من التمرين.
المتغير الرئيسي: ثابت الزمن (Time constant) يعكس قدرة العضلات على استخدام الأكسجين محليا وإزالة تشبع الدم الشرياني بالأكسجين. تسمى أيضًا المكون السريع لـ $\dot{V}O_2$.

المرحلة 03: المكون البطيء لـ $\dot{V}O_2$
الجهد تحت العتبة اللبنية: $\dot{V}O_2$يصل إلى حالة مستقرة.
الجهد فوق العتبة اللبنية: $\dot{V}O_2$يستمر في الارتفاع، لكن ببطء مقارنة بالمرحلة II، وقد: يصل إلى حالة مستقرة جديدة خلال 6–12 دقيقة، أو يستمر في الارتفاع حتى الوصول إلى **$\dot{V}O_2max$**.
المكون البطيء يعتمد على:
شدة العمل العضلي
مستوى فوسفات الكرياتين (PC) في العضلات

تغير استهلاك الأكسجين ($\dot{V}O_2$) بعد التوقف عن التمرين: بعد **توقف التمرين** وقبل العودة إلى **مستويات الراحة**، يتغير استهلاك الأكسجين **$\dot{V}O_2$** أيضًا بطريقة **ثنائية المرحلة:**

المرحلة السريعة (Fast Phase):
تبدأ مباشرة بعد التوقف عن التمرين.
الوصف: انخفاض سريع في $\dot{V}O_2$.
نصف العمر ($t_{1/2}$): حوالي **30 ثانية**.
الوظائف المرتبطة:
إعادة تكوين مخازن **ATP**
إعادة تكوين **فوسفات الكرياتين (PCr)**
إعادة تشبع **الميوغلوبين ($MHbO_2$)**
و**الهيموغلوبين (HbO_2)**

المرحلة البطيئة (Slow Phase):
تلي المرحلة السريعة.
الوصف: انخفاض تدريجي وبطيء في $\dot{V}O_2$.
نصف العمر ($t_{1/2}$): حوالي **15–18 دقيقة**.
الوظيفة المحتملة:
إزالة اللاكتات المتراكم أثناء التمرين.

المرحلة البطيئة بعد التمرين (Slow Phase) واستهلاك الأكسجين الزائد: لا تقتصر على **إزالة اللاكتات** فقط، بل تتضمن **تكاليف طاقوية إضافية** تشمل:

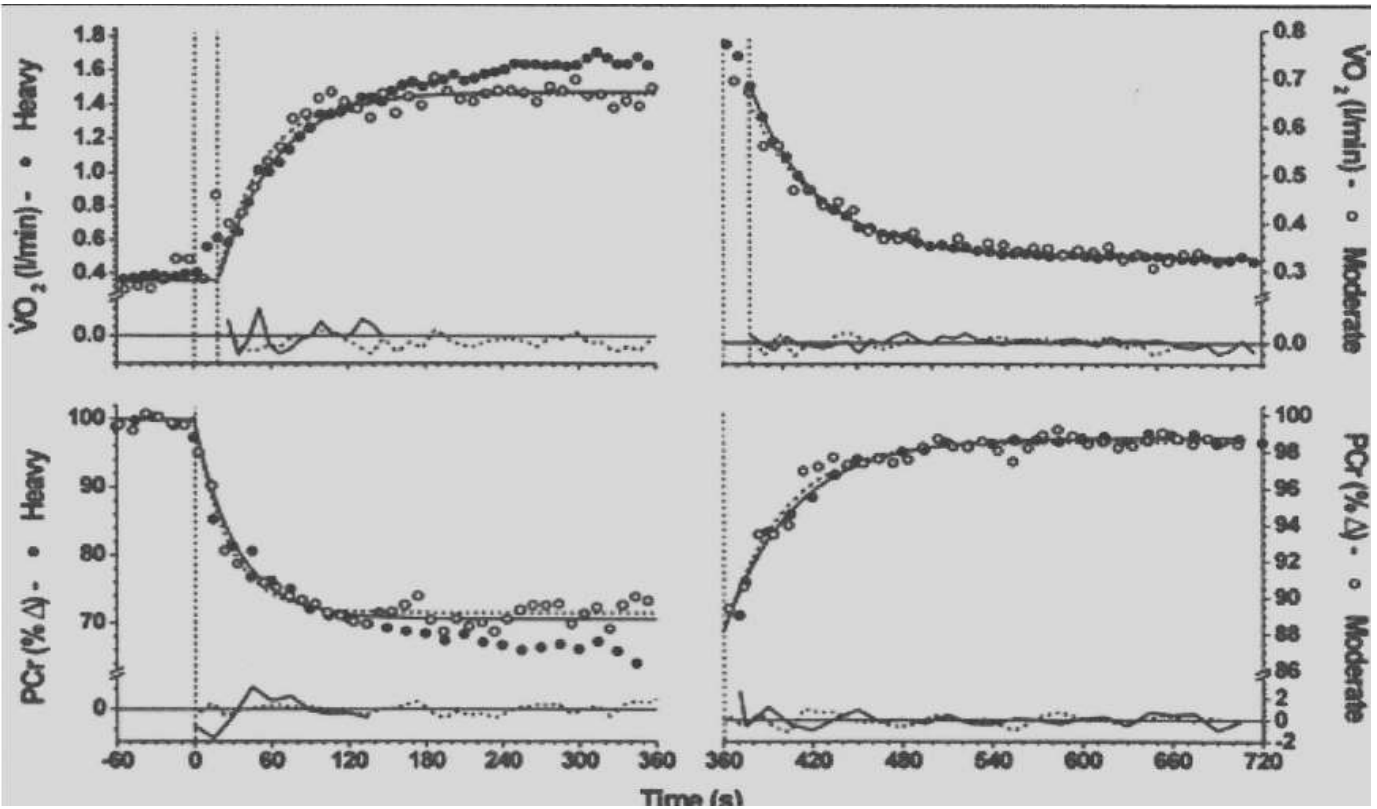
إعادة تصنيع الجليكوجين من اللاكتات.

إزالة اللاكتات وأيونات الهيدروجين (H^+) من العضلات والدم.

مكافحة ارتفاع درجة الحرارة الناتجة عن التمرين.

تعويض زيادة استهلاك الطاقة للتنفس والعمل القلبي بعد الجهد.

مواجهة ارتفاع تركيز الكاتيكولامينات (هرمونات التوتر مثل الأدرينالين) (Gaesser et Brooks, 1984 ; Sahlin, 1992 ; Poortmans, 2009).



- **Cinétiques de VO2 et de Phosphocréatine (PC) avant et après un exercice modéré (cercles vides) ou intense (cercles pleins)**

العوامل المؤثرة على ديناميكية استهلاك الأكسجين ($\dot{V}O_2$):

1- تفاعل عوامل متعددة: تتحدد **سرعة وتطور** $\dot{V}O_2$ خلال التمرين بتفاعل عدة عوامل، سواء على مستوى الخلية أو الجسم ككل.

2- العوامل الخلوية الأساسية في بداية التمرين:

- ❑ **تفعيل الإشارات الأيضية والإنزيمات**: يحتاج الجسم وقتا لتشغيل مسارات الطاقة عند بدء التمرين.
- ❑ **توفر الأكسجين محليا** في العضلة: كمية الأكسجين المتاحة في الخلية تحدد مدى سرعة التنفس الخلوي.

3- العوامل المحلية المؤثرة على التنفس الخلوي:

- ❑ **القدرة على الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation potential)**: قدرة الميتوكوندريا على إنتاج ATP باستخدام الأكسجين.
- ❑ **القدرة على التفاعلات الأكسدة-اختزال (Redox potential):** قدرة الخلية على نقل الإلكترونات في عمليات الطاقة.
- ❑ **ضغط الأكسجين الميتوكوندري ($PmitoO_2$)**: تركيز الأكسجين داخل الميتوكوندريا، وهو مهم لفعالية إنتاج الطاقة.

4 تأثير التمارين المتقطعة:

- ❑ تزيد **تركيزات أيونات الكالسيوم** [$[Ca^{2+}$] **داخل العضلة**.
- ❑ تتغير **نسبة ATP/ADP** لتلبية الطلب المفاجئ والمتكرر على الطاقة أثناء تقلص العضلات.
- ❑ هذه التغيرات تتناسب مع **شدة التمرين** وتساهم في **تسريع أو تعديل ديناميكية استهلاك الأكسجين**.

تأثير التدريب المتقطع على حركية VO2

أظهرت دراسة Billatوآخرون (2002) أن سرعة انخفاض استهلاك الأكسجين (VO_2) أثناء مرحلة الاسترجاع (الراحة بعد الجهد) تصبح أسرع بعد برنامج تدريب متقطع (Intermittent Training)، كما بيّنت نفس الدراسة أن المرحلة البطيئة من استجابة VO_2 (Phase III / composante lente) أصبحت أيضا أسرع بعد التدريب، أي أن الجسم يتكيف في استهلاك الأكسجين بشكل أفضل خلال الجهد المطول.

(الوقت المقضي عند شدة تفوق 90٪ من الاستهلاك الأقصى للأكسجين)
LE TEMPS PASSE A PLUS DE 90% DE V O2max (T90%VO2max)

أصبح قياس الوقت المقضي عند 100٪ من VO_2max أو عند أكثر من 90٪ و95٪ منها معيارا أساسيا لتقييم تأثير التدريب المتقطع على الجهاز الهوائي. وقد أظهرت الأبحاث أن تحسّن القدرة الهوائية يرتبط مباشرة بالزمن المتراكم بين 90٪ و100٪ من VO_2max أثناء التدريب. ومع ذلك بينت بعض الدرايات تحسنا كبيرا في اللياقة الهوائية يمكن أن يحدث أيضا لدى غير المدربين من خلال تمارين متقطعة قصيرة وعالية الشدة، حتى وإن كان الزمن المقضي بين 90٪ و100٪ من VO_2max قليلا (Burgomaster et coll, 2005 ; Gibala et coll, 2009) .

تأثير سرعة الجري على T90%VO2max

في دراسة أجريت على عدّائين شباب لمسافات متوسطة، قام الرياضيون بحصتين من التدريب المتقطع 30 ثانية عمل – 30 ثانية استرجاع، وكان الاسترجاع في الحصتين عند 50٪ من السرعة الهوائية القصوى (VMA) اختلفت شدة العمل بين الحصتين:

حصة عند 100٪ من VMA.

حصة عند 110٪ من VMA.

أظهرت نتائج Thévenet وزملاؤه (2007) أنه لا يوجد فرق معنوي في الزمن المقضي فوق 90٪ من VO_2max على ($T90\%VO_2max$) بين الشدتين.

لكن في المقابل، كان زمن الاستمرار في التمرين (الوقت إلى حد التعب) أطول بشكل معنوي عند 100٪ من VMA مقارنة بـ 110٪ من VMA، مما يعني أن الرياضيين استطاعوا الحفاظ على الجهد لفترة أطول عند 100٪.

خلاصة:

- رفع الشدة إلى 110٪ من VMA لا يزيد الزمن المقضي فوق 90٪ من VO_2max .
- التدريب عند100 ٪ من VMA يسمح بمدة عمل أطول ويُعد شدة مناسبة وآمنة لتطوير القدرة الهوائية.

من جهة أخرى، عند مقارنة أربعة أشكال من التمارين المتقطعة 15 ثانية عمل – 15 ثانية راحة بشدات:110٪، 120٪، 130٪، 140٪ من السرعة المرتبطة بـ VO_2max، تبين أن الشدتين 110٪ و120٪ هما اللتان تحققان أكبر زمن مقضي فوق 90٪ من VO_2max، في حين أن الشدات الأعلى لم تكن أكثر فاعلية.

الخلاصة:

لدى الرياضيين المدربين، رفع الشدة قليلا فوق 100٪ من VMA قد يكون مفيدا لزيادة التحفيز الهوائي.

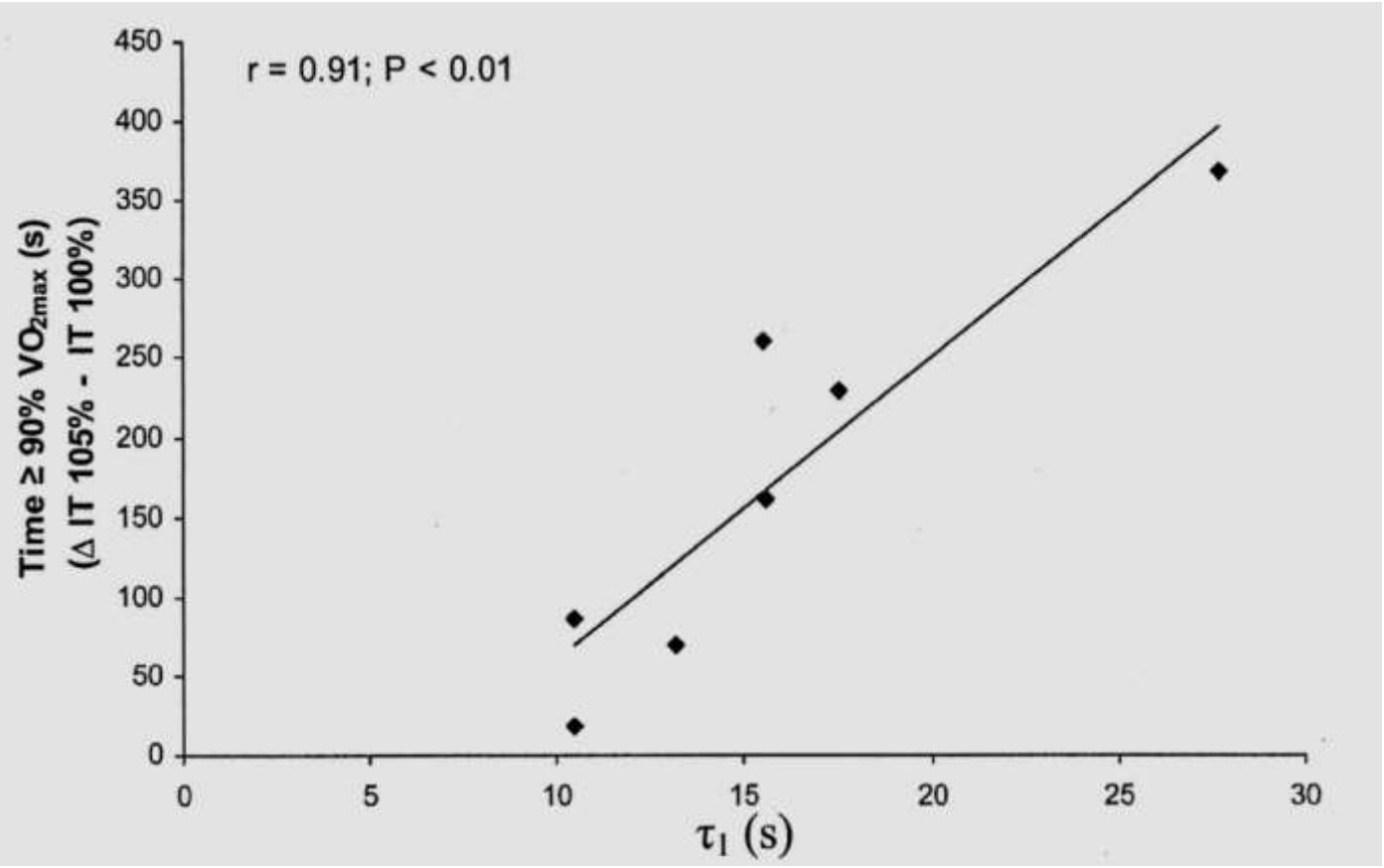
الشدات المعتدلة فوق القصوى 110–120٪ (vVO_2max) تبدو أكثر فاعلية من الشدات العالية جدا.

الاستجابة الفردية سرعة أو بطء حركية VO_2 تلعب دورا مهما في الاستفادة من زيادة الشدة.

أظهرت دراسة (Wakefield et Glaister 2009)، أنه لا توجد فروق معنوية في الزمن المقضي فوق 95٪ من VO_2max على (T95%VO_2max)بين عدة أشكال من التمارين المتقطعة (20ث–20ث، 25ث–20ث، 30ث–20ث) عندما نفذت بشدتين 105٪ و115٪ من VMA أي أن زيادة الشدة من 105٪ إلى 115٪ من VMA لم تحسن الزمن المقضي عند الشدة الهوائية العالية جدا.

من جهة أخرى، أوضحت دراسة (Zafeiridis et coll, 2010) أن السرعة العالية وحدها لا تكفي دائما لتعظيم الزمن المقضي فوق 90٪ من VO_2max (T90%VO_2max).

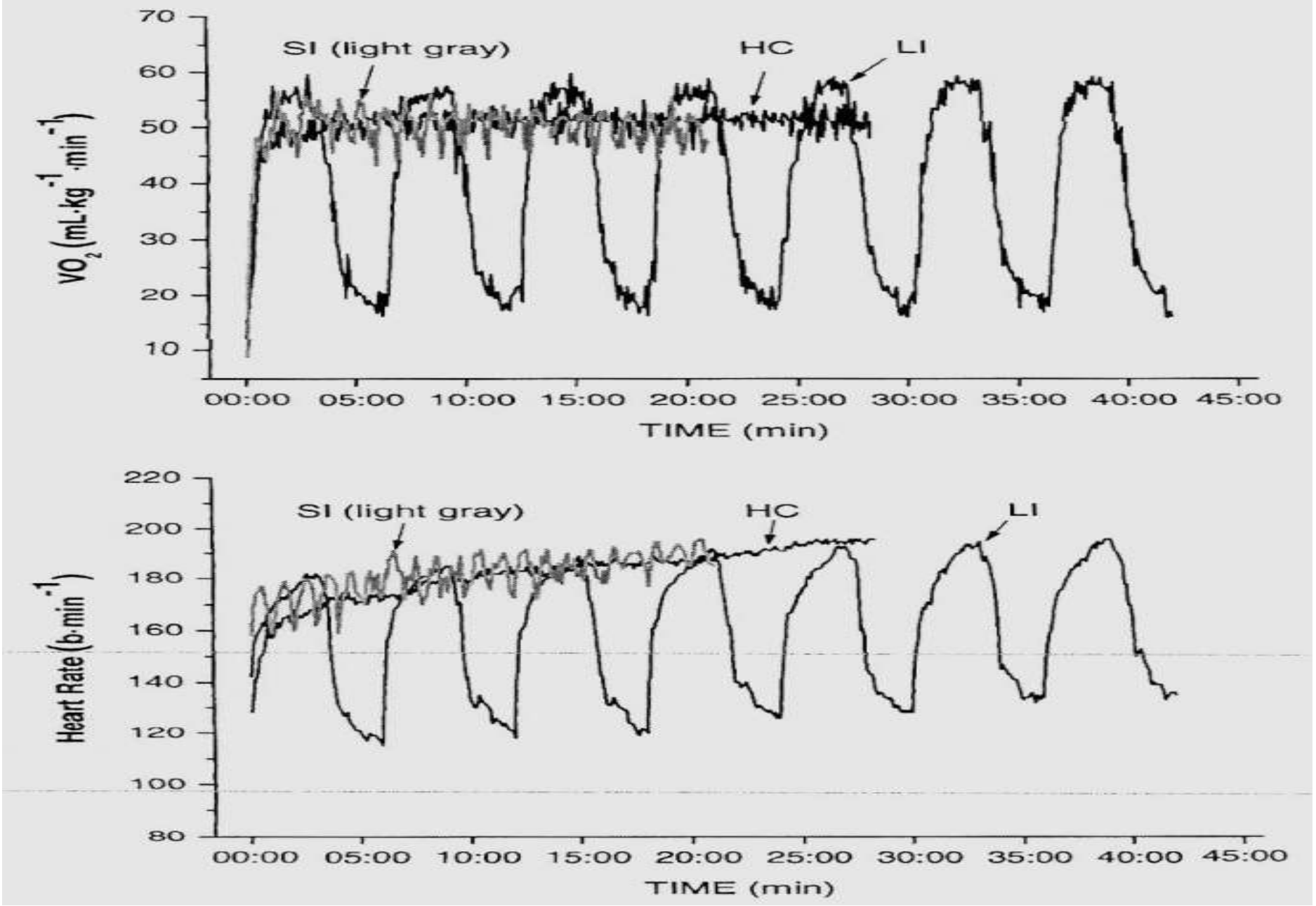
فقد كان (T90%VO_2max) أكبر عند أداء تمرين متقطع 3 دقائق عمل – 3 دقائق راحة بشدة 95٪ من VMA، مقارنة بتمرين متقطع قصير 30ث–30ث بشدة أعلى 110٪ من VMA.



- فترات الجهد الطويلة (2–4 دقائق) تؤدي إلى استهلاك طاقة أكبر مقارنة بفترات الجهد القصيرة (15 ثانية).
- التمارين المتقطعة الطويلة (4/2 دقائق) تحسن من نسبة VO2max أكثر (+6% مقابل +3.6%) وترفع من زمن الجهد عند 90% من VO2max (T90%) أكثر (392 ثا مقابل 149 ثا).
- زيادة مدة الجهد من 30 ثانية إلى 60 ثانية عند VMA تطيل (T%90 VO2max) بشكل كبير عند الكبار المتدربين (149±33 مقابل 531±187 ثانية) (Millet et coll, 2003a) .
- نفس التأثير يلاحظ عند الأطفال الغير مدربين مع التمارين المتقطعة الطويلة بزيادة مدة الجهد عند (T%90 VO2max) وذلك بإستخدام (30 ثا عند 110% من VMA إلى 3 د عند 95% من VMA)، حيث أن الزيادة تظهر كالتالي (392ثا مقابل 192ثا) (Zafeiridis et coll, 2010).

- الفترات الطويلة (> 2د) ترفع من التحفيز الهوائي وزمن المحافظة على الجهد عند ≥ 90% من VO2max.
- الفترات القصيرة (<1 دقيقة) تستخدم لتطوير القدرة اللاهوائية والسرعة، لكنها أقل تأثيرا على VO_2max إذا لم تتكرر بشكل كافي.

شدة الجهد	مدة الجهد الشائع	نوع الرياضة/الدراسة
90–105% من VO_2max أو سرعة قصوى قريبة من السرعة القصوى القصيرة ($vV•O_2max$)	30–120 ثانية	كرة القدم (لاعبون شباب/ناشئين)
95–105% VO_2max أو على شكل سباقات قصيرة متكررة بسرعة عالية	2–4 دقائق	كرة القدم (محترفون)
85–100% من شدة قصوى للقفز أو الجري القصير	20–60 ثانية	كرة السلة
85–100% من القدرة القصوى المتاحة في النشاط	15–90 ثانية	الرياضات الجماعية الأخرى (كرة اليد، الرقبي)



Evolution, chez un sujet, de la VO2 et de la FC en fonction du temps, au cours d'un exercice continu intense (HC), d'un exercice intermittent long (LI), et d'un exercice intermittent court (SI), (Zafeiridis et coll, 2010).

نوع التدريب المتقطع	مدة/فاصل	النتائج على VO_2max	المصدر
HIITطويل (2–4 دقائق جهد / 1–2 دقائق استراحة)	4–8 أسابيع	زيادة ملحوظة في (VO_2max عادة +5–10%)	Vuorimi 2000؛ Wakefield 2009؛ Meta-analysis 2023-2024
HIITقصير (30–60 ثانية جهد / 30–60 ثانية استراحة)	4–8 أسابيع	تحسن معتدل (+3–6%)، يعتمد على الوقت عند ≥90% VO_2max	Meta-analysis 2023

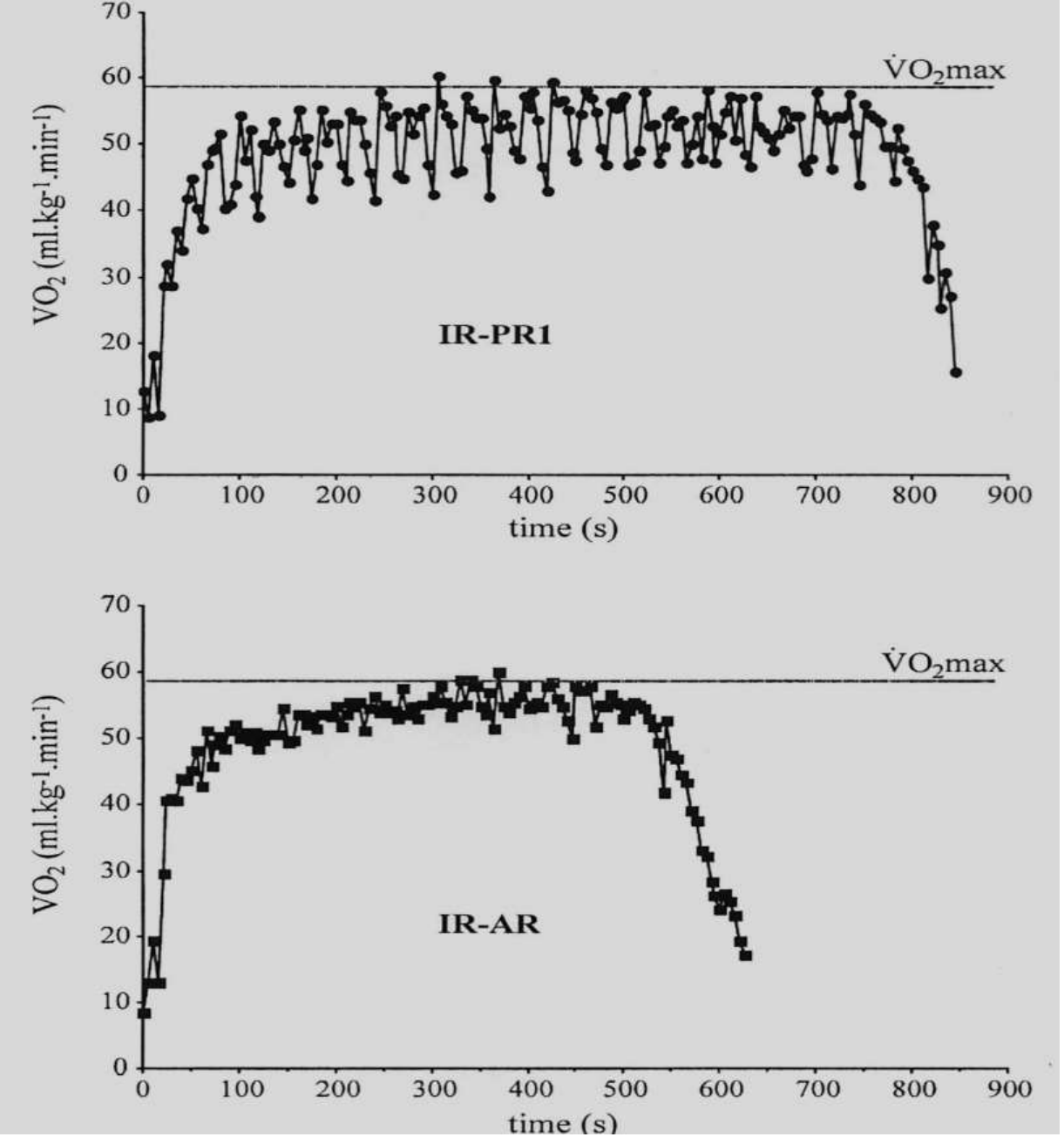
تأثير نوعية الراحة (نشطة، سلبية) على المدة الزمنية التي يقضيها الرياضي عند أو فوق 90% من استهلاك الأكسجين الأقصى (T90% VO_2max)

تبين الدراسات أن تقليص زمن الاسترجاع في التمارين المتقطعة يؤدي إلى زيادة الشدة الإجمالية للجهد. كما أظهرت أبحاث لاحقة أن التكيفات الإنزيمية الهوائية مثل (citrate synthase) واللاهوائية الجليكوليكية (lactate déshydrogénase) ترتبط ارتباطا مباشرا بانخفاض زمن الاستشفاء بين فترات الجهد (Gairanos et coll, 1993 ; Rodas et coll, 2000).

أوضحت دراسات (Dupont et coll 2003) وزملائه أن زمن التحمل الأقصى (Tlim) في تمرين متقطع من نوع 15ث–15ث عند 120% من vVO_2max يتأثر بنمط الراحة (نشط أو سلبي)، حيث كان Tlim أقصر مع الراحة النشطة مقارنة بالراحة السلبية (445ث±79ثا راحة نشطة عند 50 من VO2max) و (745ث±171ثا) مع الراحة السلبية. ويعزى ذلك إلى أن جزءا من الأكسجين المستهلك أثناء الراحة النشطة يستخدم للحفاظ على شدة الراحة، مما يحد من إعادة تشبع الميوغلوبين والهيموغلوبين بالأكسجين، ويؤخر إعادة تركيب الفوسفوكرياتين (PCr). في مقارنة بين التمارين المتقطعة (30 ثانية من الجري بنسبة 105% من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين) مع الراحة النشطة (50% من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين) أو الراحة السلبية، تبين أن (tlim) خلال فترة الراحة النشطة (30 ثانية) كان أقصر منه خلال فترة الراحة السلبية (30 ثانية)؛ حيث بلغ 1072±388 ثا مقابل 2145±829 ثا على التوالي (Thevenet et al., 2007).

أشار Dupont et coll (2004)، أيضا إلى أن الراحة السلبية تحسن إعادة أكسجة الميوغلوبين، ويسرع إعادة تركيب الفوسفوكرياتين. مع ذلك، لم تقاس نسبة (T90% VO_2max) في هذه الدراسات، واعتمدت مقارنة تأثير طرق الراحة على Tlim. رغم أن الراحة السلبية تسمح بإعادة أكسجة أفضل للميوغلوبين وتسريع إعادة تركيب PCr، فإن القيم القصوى لـ VO_2maxالمحققة خلال نمطي الراحة لم تكن مختلفة إحصائيا.

ومع ذلك، أكدت دراسة Dupont et Berthoin (2004) أن T90%VO_2max لم يظهر اختلافا معنويا بين نمطي الراحة في نفس نوع التمرين المتقطع، ما يشير إلى أن تأثير نمط الراحة يظهر بوضوح على Tlim أكثر من تأثيره على الزمن المقضي عند (T90% VO_2max)



◆الشكل العلوي: (IR-PR1) استرجاع سلبي – (Passive Recovery)

نلاحظ: ارتفاعا سريعا لـ VO_2 في بداية التمرين

تغيرات واضحة في VO_2 بين: نهاية فترات الجهد ونهاية فترات الاسترجاع هذه التغيرات الكبيرة تعكس:

الانخفاض الواضح في VO_2أثناء الاسترجاع السلبي ثم إعادة ارتفاع قوية مع كل جهد جديد

النتيجة:

إعادة أكسجة أفضل للميوغلوبين

إعادة تركيب أسرع للفوسفوكرياتين (PCr)

←زمن تحمّل (tlim) أطول

◆الشكل السفلي: (IR-AR) استرجاع نشط – (Active Recovery)

نلاحظ:

ارتفاع VO_2أيضا إلى قيم قريبة من VO_2max

لكن التغيرات أقل وضوحا حيث يبقى VO_2 مرتفعا حتى أثناء الاسترجاع

التفسير: جزء من الأكسجين يُستهلك للحفاظ على شدة الاسترجاع (≈%50 vVO_2max).

مما يحد من: إعادة تشبع الميوغلوبين، وإعادة تركيب PCr

النتيجة:

tlim أقصر

تعب أسرع

Relation entre la VO2 et le temps au cours d'un exercice intermittent 15s-15s avec récupération passive (IR-PR1) ou active (IR-AR) (Dupont et coll, 2003)

أظهرت نتائج دراسة Tardieu-Bergerوآخرين (2004)أن إدراج فترات استرجاع طويلة ومنظمة داخل التمرين المتقطع Intermittent Exercise with Series (IEs) يسمح بزيادة زمن التحمل الأقصى (tlim)مقارنة بإنجاز تمرين متقطع واحد متواصل حتى الإرهاق (IE).

إذا كان الهدف: زيادة زمن التحمل (tlim):

→الاختيار الأنسب: IEs تمرين متقطع على شكل سلاسل):

يسمح بالاستمرار لفترة أطول

يحافظ على مستوى مرتفع من التحفيز الهوائي

مناسب للرياضيين في:

التحمل طويل المدى

الفترات التحضيرية العامة

مثال:

2–3 سلاسل

كل سلسلة: 6 × (30ث عند 110% VMA + 30ث عند 50% VMA)

استرجاع بين السلاسل: 4 دقائق (منها نشط)

إذا كان الهدف: تعظيم VO_2max و $T90\%VO_2max$نسبيا

→ الاختيار الأنسب: IE سلسلة واحدة حتى الإرهاق)

يسمح بقضاء نسبة أكبر من زمن الجهد قرب VO_2max).

تحفيز مركزي قوي (قلب – رئتين)

مناسب للرياضيين المتقدمين

مثال:

30ث–30ث عند 110% VMA

الاستمرار حتى الوصول إلى الإرهاق