

الجامعة المستنصرية

كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

الدراسات العليا / الدكتوراه

فسيولوجيا التدريب الهوائي (vo2max و العتبة اللاهوائية)

إعداد: أ. د. إخلص حسين دحام المعموري

أولاً: الأساس الطاقوي

في التدريب الهوائي يعتمد الجسم على الأوكسجين لإنتاج الطاقة بشكل مستمر وفعال.

المصادر الأساسية:

1. الكربوهيدرات (Glucose/Glycogen):

○ $\text{Glucose} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 36\text{--}38 \text{ ATP} \approx 266\text{--}277$ كيلو كالوري لكل مول

2. الدهون (Fatty acids):

○ حوالي 129 (Palmitic acid) أكثر كفاءة في إنتاج الطاقة، حيث ينتج جزيء حمض دهني طويل السلسلة (مثل) كيلو كالوري $\text{ATP} \approx 940$

3. الأحماض الأمينية (في الحالات الطويلة جدًا): مساهمة أقل.

ثانياً: التفاعلات الحيوية

1.

تحلل الكلوكوز الهوائي (Aerobic glycolysis)

- Glucose → Pyruvate (في السيتوبلازم).
- Acetyl-CoA يدخل الميتوكوندريا → يتحول إلى Pyruvate.

2.

دورة كريبس (Krebs Cycle)

- Acetyl-CoA + Oxaloacetate → Citrate.
 - خلال الدورة ينتج:
 - مباشرة 2 ATP.
 - حاملات إلكترونات (NADH و FADH₂).

3.

سلسلة نقل الإلكترون (Electron Transport Chain – ETC)

- ينقلان الإلكترونات عبر الميتوكوندريا FADH₂ و NADH.
- ATP بوجود الأوكسجين (المستقبل الأخير للإلكترونات) → إنتاج كمية ضخمة من

- لكل جلوكوز ATP الناتج الكلي: 36-38
-

التغيرات الفسيولوجية أثناء التدريب الهوائي

(Physiological Adaptations to Aerobic Training)

1- التغيرات القلبية الوعائية (Cardiovascular Adaptations)

- زيادة حجم البطين الأيسر (↑ Left Ventricular Volume):

مما يسمح بضخ كميات دم أكبر (eccentric hypertrophy) التدريب الهوائي يزيد من قطر البطين الأيسر.

(Aerobic training induces eccentric hypertrophy, enhancing stroke volume and cardiac output).

- ارتفاع الحجم القلبي الضربي (↑ Stroke Volume):

يزداد الدم الخارج مع كل انقباض، ما يؤدي إلى كفاءة أعلى.

(Increased stroke volume improves cardiac efficiency at rest and during exercise).

- انخفاض معدل ضربات القلب في الراحة (↓ Resting Heart Rate):

نتيجة تحسن كفاءة القلب وزيادة النغمة الباراسمبثوية.

(Resting bradycardia due to enhanced vagal tone and cardiac efficiency).

2- التغيرات التنفسية (Respiratory Adaptations)

- زيادة السعة الحيوية للرئة (↑ Vital Capacity):

تتحسن التهوية الرئوية وقدرة الرئة على تبادل الغازات.

(Improved pulmonary ventilation and oxygen diffusion capacity).

- زيادة كفاءة العضلات التنفسية (↑ Respiratory Muscle Strength):

مثل الحجاب الحاجز وعضلات الورب.

(Stronger diaphragm and intercostals improve breathing efficiency).

- انخفاض التهوية عند نفس الشدة (↓ Ventilation at Submaximal Load):

ما يعكس الاقتصاد في استهلاك الأوكسجين.

(Lower ventilation at given workload reflects improved efficiency).

3- التغيرات الدموية (Hematological Adaptations)

- زيادة حجم الدم (↑ Blood Volume):

بسبب زيادة البلازما وخلايا الدم الحمراء.

(Increased plasma and red cell volume enhances oxygen transport).

- زيادة تركيز الهيموغلوبين (↑ Hemoglobin Content):

مما يحسن قدرة الدم على حمل الأوكسجين.

(Higher Hb concentration improves O₂ transport capacity).

- زيادة الشعيرات الدموية (↑ Capillary Density):

تزداد التروية الدموية للعضلات النشطة.

(Enhanced capillary-to-fiber ratio improves oxygen delivery).

4- التغيرات العضلية (Muscular Adaptations)

- زيادة عدد الميتوكوندريا (↑ Mitochondrial Density):

مما يحسن أكسدة الدهون والكاربوهيدرات

(More mitochondria improve aerobic metabolism).

- زيادة إنزيمات الأكسدة (↑ Oxidative Enzymes):

(SDH) وسكسينات ديهيدروجيناز (Cytochrome Oxidase) مثل سيتوكروم أوكسيديز

(Enhanced oxidative enzymes accelerate aerobic ATP production).

- تحول في نوع الألياف (Fiber Type Shift):

تصبح أكثر مقاومة للإرهاق Type IIa بعض الألياف السريعة

(Shift towards more fatigue-resistant Type IIa fibers).

5- التغيرات الأيضية (Metabolic Adaptations)

- زيادة $VO_2\max$ (↑ Maximal Oxygen Uptake):

أهم مؤشر للياقة الهوائية، ويزداد نتيجة تحسن القلب والرئة والعضلات

($VO_2\max$ rises due to central and peripheral adaptations).

- زيادة أكسدة الدهون (↑ Fat Oxidation):

مما يقلل الاعتماد على الجليكوجين

(Enhanced fat utilization spares glycogen stores).

- انخفاض إنتاج اللاكتات عند نفس الشدة (↓ Lactate Production):

مما يؤخر الوصول إلى العتبة اللاكتاتية.

(Lower lactate accumulation at given intensity delays fatigue).

6- التغيرات العصبية والهرمونية (Neural & Hormonal Adaptations)

- زيادة الكفاءة العصبية (↑ Neural Efficiency):

تنسيق أفضل بين العضلات العاملة والمثبتة.

(Improved motor coordination enhances economy of movement).

- تنظيم أفضل للهرمونات (Hormonal Regulation):

- في الراحة (Cortisol) هرمون الكورتيزول ↓

- حساسية الأنسولين ↑ (Insulin Sensitivity).

(Improved hormonal balance enhances recovery and metabolism).

جدول (4): التغيرات الفسيولوجية للتدريب الهوائي

Table (4): Physiological Adaptations to Aerobic Training

التغير (Adaptation)

الشرح بالعربية

English Explanation

↑ حجم البطين الأيسر	زيادة قدرة الضخ	Increased left ventricular volume
↓ معدل القلب	بطء قلبي تدريبي	Resting bradycardia
↑ الشعيرات الدموية	زيادة التروية	Increased capillary density
↑ الميتوكوندريا	تحسن الأيض الهوائي	Higher mitochondrial density
↑ VO ₂ max	أهم مؤشر للياقة الهوائية	Improved maximal oxygen uptake
↑ أكسدة الدهون	تقليل استهلاك الجليكوجين	Enhanced fat utilization

(الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين) VO₂max: أولاً

- هو أقصى كمية من الأوكسجين يمكن للجسم أن يستهلكها ويستخدمها أثناء التمرين الهوائي الشديد.
- يقاس بوحدة: مل/كغ/دقيقة (ml/kg/min).

✓ الآلية الوظيفية

- يعكس كفاءة الأجهزة التالية:
1. وتبادل الغازات O₂ الرئة: إدخال

2. القلب والأوعية: ضخ الدم وزيادة التروية العضلية.
3. ATP من الدم واستخدامه في الميتوكوندريا لإنتاج O_2 العضلات: استخراج.

✓ في التدريب الهوائي

- كل أجهزة الجسم تشتغل بأقصى طاقتها، VO_2max عند اقتراب الرياضي من:
 - القلب يصل للحد الأقصى للنتاج القلبي.
 - التنفس يكون سريع وعميق (Hyperventilation).
 - العضلات تستفيد من كل جزيئات الأوكسجين المتاحة.

✓ التكيف مع التدريب

- (Endurance) مع التدريب المنتظم = \uparrow قدرة التحمل VO_2max \uparrow .
- يرتبط بزيادة الشعيرات الدموية، الميتوكوندريا، وحجم الضربة القلبية.

ثانياً: العتبة اللاهوائية (Anaerobic / Lactate Threshold)

- هي النقطة التي يبدأ عندها تراكم اللاكتات في الدم بشكل أسرع من قدرة الجسم على التخلص منه.
- للرياضي العادي، وترتفع إلى 80–90% عند الرياضيين المحترفين VO_2max عادة تقع عند 50–70% من

✓ الآلية الوظيفية

● أثناء التدريب الهوائي:

- الجسم يعتمد على الأوكسجين لتحويل الجلوكوز والدهون إلى طاقة.
- عند زيادة الشدة: يبدأ جزء من الطاقة ينتج عبر التحلل اللاهوائي → ↑ لاكتات

● إذا تجاوزنا العتبة:

- العضلة → تعب عضلي سريع pH ↓ → يتراكم اللاكتات
- يصبح الأداء غير مستدام لفترة طويلة

✓ في التدريب الهوائي

- الوصول للعتبة اللاهوائية يحدد الحد الأقصى لشدة التمرين الهوائي المستمر بدون تعب مبكر.
- كلما ارتفعت العتبة → الرياضي يقدر يجري بسرعة أكبر قبل ما يتراكم اللاكتات

✓ التكيف مع التدريب

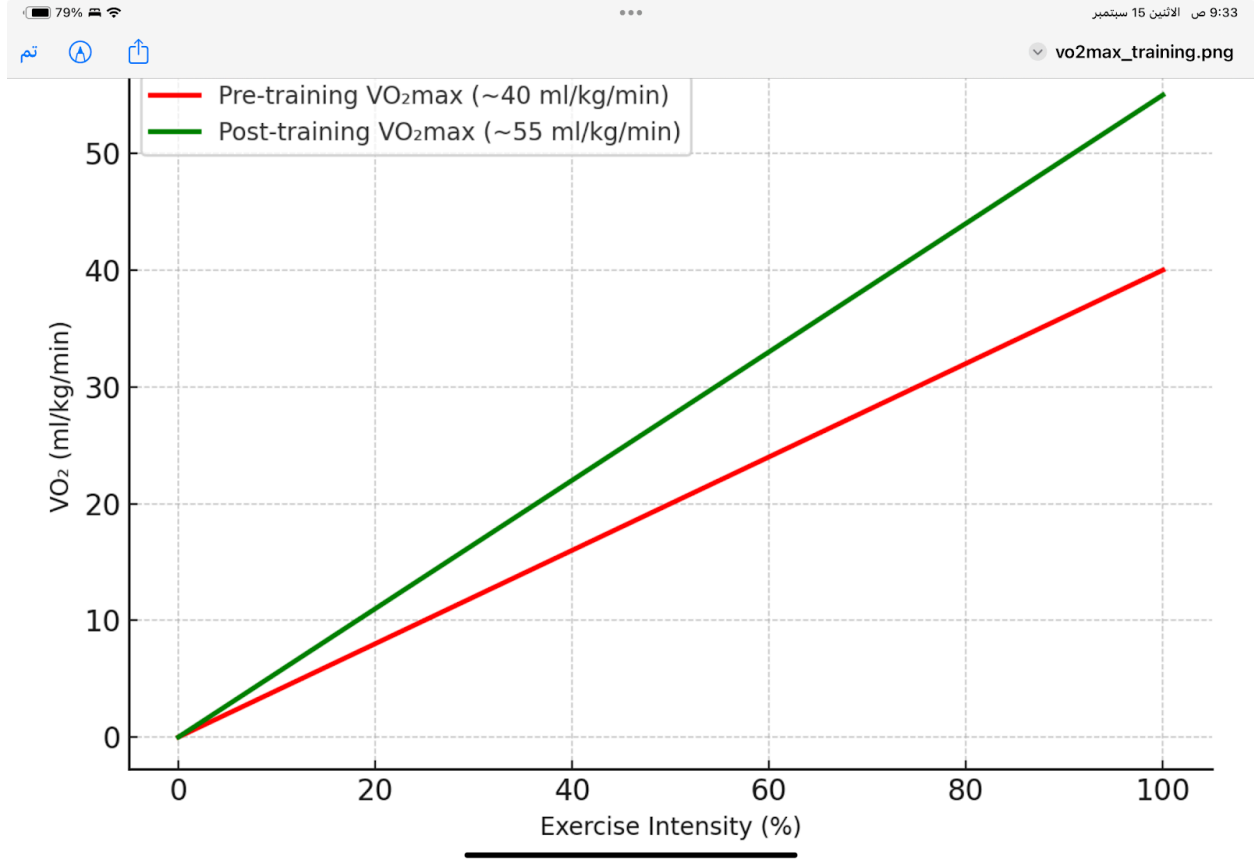
- التدريب الهوائي المنتظم يرفع العتبة اللاهوائية عن طريق
 - كفاءة إزالة اللاكتات (Lactate clearance) ↑
 - نشاط الإنزيمات الهوائية ↑
- قدرة العضلة على استخدام الدهون بدل الكربوهيدرات → تقليل إنتاج اللاكتات ↑

ثالثاً: العلاقة بين VO_2max و العتبة اللاهوائية

المؤشر	VO ₂ max	العتبة اللاهوائية
الوظيفة	أقصى قدرة على استهلاك الأوكسجين	النقطة التي يبدأ عندها تراكم اللاكتات
الاستخدام العملي	قياس اللياقة الهوائية القصوى	قياس القدرة على الاستمرار بأداء قوي بدون تعب
الزمن المستمر عنده	دقائق معدودة فقط	يمكن الاستمرار لفترة أطول (30-60 دقيقة)
التأثر بالتدريب	يزداد تدريجيًا مع التدريب	يرتفع بشكل أوضح مع التدريب الهوائي المنتظم

الخلاصة

- سقف استهلاك الأوكسجين → مؤشر على أقصى قدرة هوائية = VO₂max
- العتبة اللاهوائية = خط التحمل العملي → تحدد سرعة أو شدة يمكن الاستمرار فيها لفترة طويلة بدون تراكم تعب
- إزاحة العتبة اللاهوائية إلى الأعلى → تحسين الأداء الرياضي + VO₂max التدريب الهوائي الذكي يهدف إلى: رفع



1- منحنى VO₂max قبل وبعد التدريب

• الوصف:

المحور الأفقي = الزمن أو شدة الجهد (Time / Intensity)،

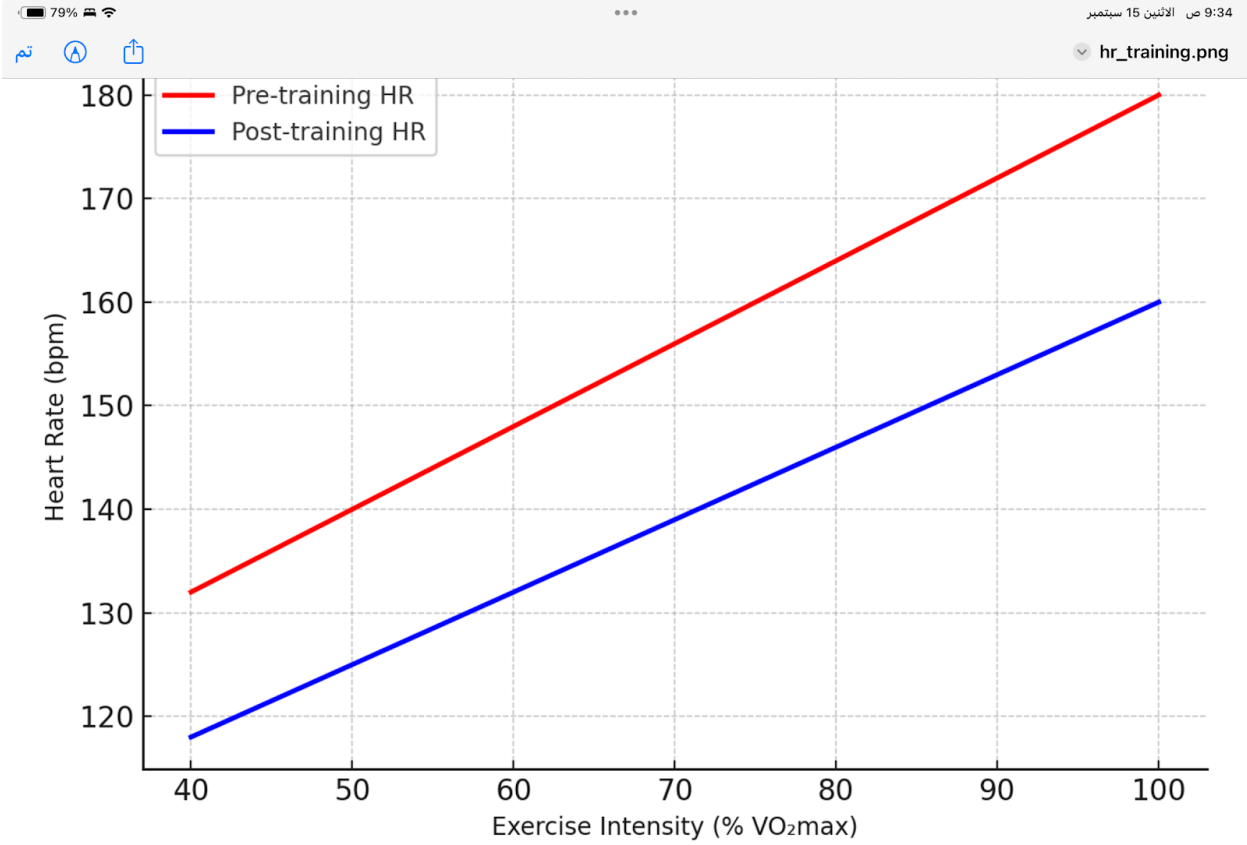
المحور العمودي = استهلاك الأوكسجين (VO₂, ml/kg/min).

• قبل التدريب: المنحنى يصل إلى قيمة قصوى أقل (مثلاً 40 ml/kg/min).

• بعد التدريب: المنحنى يرتفع ليصل إلى قيمة أعلى (مثلاً 55 ml/kg/min).

• المغزى: هذا يوضح أن التدريب الهوائي يزيد VO₂max، وهو المقياس الذهبي للياقة الهوائية.

-
-
-
-



2- رسم انخفاض معدل ضربات القلب عند نفس الشدة

• الوصف:

المحور الأفقي = الزمن أو شدة التمرين (Exercise Intensity)،

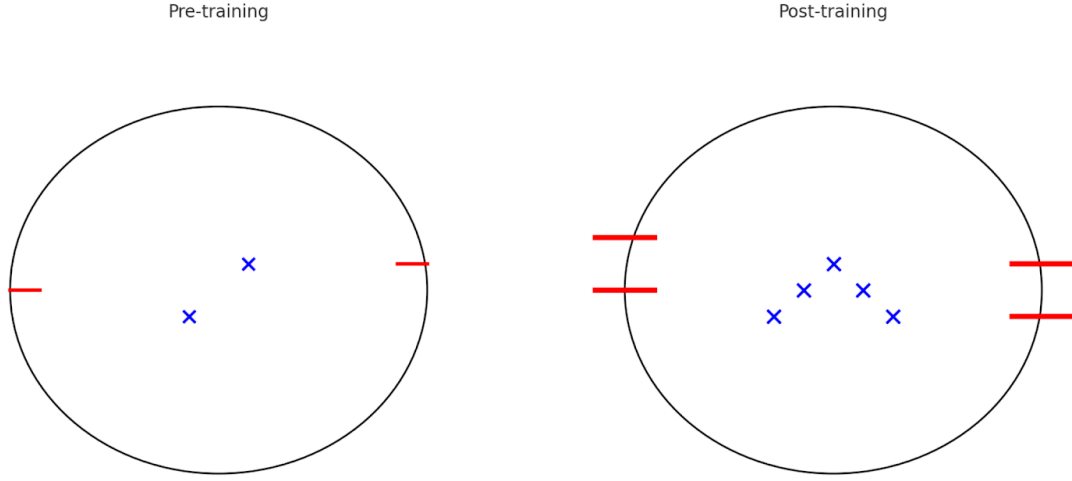
المحور العمودي = معدل ضربات القلب (HR, bpm).

• قبل التدريب: عند شدة معينة (مثلاً 70% من VO₂max) يكون معدل القلب 160 نبضة/دقيقة.

• بعد التدريب: عند نفس الشدة ينخفض المعدل مثلاً إلى 145 نبضة/دقيقة.

• المغزى: التدريب الهوائي يجعل القلب أكثر كفاءة، يضخ دمًا أكثر بكل ضربة، وبالتالي يحتاج لعدد ضربات أقل لنفس الجهد.

Figure (3): Muscle Adaptations (Capillaries & Mitochondria)



3- مخطط زيادة الشعيرات الدموية والميتوكوندريا في العضلة

- الوصف:
 - صورة أو رسم تخطيطي لعضلة قبل وبعد التدريب.
 - قبل التدريب: عدد الشعيرات الدموية (Capillaries) والميتوكوندريا قليل.
 - بعد التدريب: كثافة الشعيرات حول الألياف أعلى، وعدد الميتوكوندريا مضاعف.
- المغزى: هذه التغيرات تزيد من كفاءة وصول الأوكسجين للعضلة واستعماله، ما يعزز التحمل ويؤخر التعب.

