الجامعة المستنصرية

كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

الدراسات العليا / الدكتوراه

فسيولوجيا التدريب اللاهوائي (اللاكتات -اختبارات القدرة)

إعداد: أ. د. إخلاص حسين دحام المعموري

المقدمة ✦

آلية العمل الوظيفي في فسيولوجيا التدريب اللاهوائي ترتبط بكيفية إنتاج الطاقة في غياب الأوكسجين، مع التغيرات الوظيفية المصاحبة في الجهاز العضلي، الدوري، والعصبي.

---

1. الأساس الطاقوي

- في الجهد اللاهوائي، يعتمد الجسم على مصدرين أساسيين:

1. النظام الفوسفاجيني (ATP-CP system):

   - يوفّر طاقة فورية خلال الثواني الأولى (5–10 ثوانٍ).
   - الفوسفوكرياتين (CP) يعيد بناء جزيئات ATP بسرعة.

2. النظام اللاكتاتي (Anaerobic glycolysis):

- يتحلل الجلايكوجين/الجلوكوز إلى حمض بيروفيك ثم لاكتات.
- يوفّر طاقة سريعة (30 ثانية – 2 دقيقة).
- ينتج عنه تراكم أيونات الهيدروجين (H^+) التي تسبب الانخفاض في pH العضلة (الحموضة).

إنتاج الطاقة (السعرات الحرارية) في التدريب اللاهوائي محدود مقارنة بالهوائي بسبب غياب الأوكسجين واعتماد الجسم على مسارات سريعة لكن قصيرة المدى:

1. النظام الفوسفاجيني (ATP-CP):
   - كل جزيئة ATP تحرر تقريبًا 7.3 كيلو كالوري عند تحللها.
   - لكن مخزون العضلة من ATP المباشر قليل (يكفي 2–3 ثواني من الجهد الأقصى).
   - الفوسفوكرياتين (CP) يساعد في إعادة بناء ATP → يضيف طاقة إضافية لغاية 6–8 ثوانٍ.
   - بالمجمل: هذا النظام يوفّر حوالي 10–15 كيلو كالوري فقط قبل أن يستنزف.
2. النظام اللاكتاتي (التحلل السكري اللاهوائي):
   - كل جزيئة كلوكوز → 2 ATP + لاكتات.
   - 2 ATP = حوالي 14.6 كيلو كالوري صافية.
   - لو الكلايكوجين العضلي هو المصدر، الناتج يكون 3 21.9 ≈ ATP كيلو كالوري لكل وحدة كلوكوز من الكلايكوجين.
   - لكن تراكم اللاكتات يوقف الاستمرار، لذلك الطاقة الناتجة محدودة زمنياً (30 ثانية – 2 دقيقة)

ثانياً: آلية التفاعلات (المسارات البيوكيميائية)

النظام الفوسفاجيني (ATP-CP system)

- التفاعل الأساسي:
  - ATP → ADP + Pi + طاقة (7.3 kcal/mol).
  - CP + ADP → ATP + Creatine (بمساعدة إنزيم CK).
- هذا يسمح بإعادة تدوير ATP بسرعة فائقة.

.2

النظام اللاكتاتي (Anaerobic glycolysis)

- المرحلة الأولى: تحلل الجلوكوز

  Glucose → (سلسلة تفاعلات إنزيمية) → 2 Pyruvate + 2 ATP.البايروفيك

- المرحلة الثانية (غياب الأوكسجين):

  Pyruvate + NADH → Lactate + NAD⁺.البايروفيك

- اللاكتات يتراكم → انخفاض الـpH → تعب عضلي.

التغيرات الفسيولوجية أثناء التدريب اللاهوائي (Physiological Adaptations to Anaerobic Training)

1- التغيرات العضلية (Muscular Adaptations)

- زيادة مخزون الفوسفوكرياتين (↑ PCr stores):

  .التدريب اللاهوائي يزيد من كمية الكرياتين فوسفات في العضلة، مما يحسن القدرة على إنتاج الطاقة السريعة

(Anaerobic training enhances intramuscular phosphocreatine stores, improving immediate ATP resynthesis.)

- زيادة النشاط الإنزيمي للتحلل السكري (↑ Glycolytic Enzymes):

  مثل إنزيم الفوسفوفروكتوكيناز (PFK) وإنزيم لاكتات ديهيدروجيناز (LDH)، مما يسرّع من إنتاج ATP.

  (Enhanced activity of glycolytic enzymes accelerates ATP production during high-intensity bouts.)

- زيادة حجم الألياف العضلية (↑ Hypertrophy of Fast-Twitch Fibers):

  الألياف السريعة (Type IIa, IIx) تتضخم بشكل ملحوظ وتتحسن قدرتها على إنتاج القوة.

  (Fast-twitch muscle fibers hypertrophy significantly, improving force generation.)

2- التغيرات القلبية الوعائية (Cardiovascular Adaptations)

- زيادة سمك جدار القلب (↑ Myocardial Wall Thickness):

  خاصة البطين الأيسر، مما يسمح بضخ دم بكفاءة أكبر أثناء الجهد العالي.

  (Anaerobic training increases left ventricular wall thickness, enhancing contractile force.)

- تحسن كفاءة ضخ الدم (↑ Stroke Volume in High Intensity):

  رغم أن التحمل الهوائي يطور السعة القلبية، التدريب اللاهوائي يطور قدرة القلب على ضخ الدم تحت الضغط.

  (Stroke volume improves under high-intensity load despite short exercise duration.)

- ارتفاع ضغط الدم اللحظي (Acute Increase in Blood Pressure):

  أثناء التمرين اللاهوائي يرتفع الضغط الانقباضي، مما يحفز الأوعية على التكيف وزيادة قوتها.

  (Acute bouts increase systolic blood pressure, stimulating vascular adaptations.)

3- التغيرات العصبية (Neuromuscular Adaptations)

- زيادة سرعة تجنيد الوحدات الحركية (↑ Motor Unit Recruitment):

  التدريب اللاهوائي يحسن قدرة الجهاز العصبي على تجنيد عدد أكبر من الألياف العضلية بسرعة.

  (Faster and more efficient motor unit recruitment enhances explosive strength.)

- تحسن التوافق العصبي العضلي (↑ Neuromuscular Coordination):

  يقلل من فقدان الطاقة ويحسن الاقتصاد الحركي.

  (Improved neural coordination reduces energy wastage, improving movement economy.)

- زيادة سرعة التوصيل العصبي (↑ Neural Firing Rate):

  مما يزيد من سرعة الانقباض العضلي وقوة الدفع.

  (Increased firing rate of motor neurons boosts contraction speed and force.)

4- التغيرات الهرمونية (Hormonal Adaptations)

- زيادة إفراز التستوستيرون (↑ Testosterone):

  يدعم تضخم العضلات وزيادة القوة.

  (Testosterone secretion rises, supporting hypertrophy and strength gains.)

- زيادة هرمون النمو (↑ Growth Hormone – GH):

  يحفز إعادة البناء العضلي وحرق الدهون.

  (Growth hormone release promotes tissue repair and fat metabolism.)

- زيادة الكاتيكولامينات (↑ Catecholamines – Epinephrine/Norepinephrine):

  تعزز تعبئة الجليكوجين وزيادة معدل ضربات القلب.

  (Catecholamines enhance glycogen mobilization and increase cardiac output.)

5- التغيرات في التمثيل الأيضي (Metabolic Adaptations)

- زيادة تحمل اللاكتات (↑ Lactate Tolerance):

  القدرة على الاستمرار في الأداء رغم تراكم اللاكتات.

  (Improved buffering capacity allows sustained performance despite acidosis.)

- زيادة قدرة التخزين العضلي للجليكوجين (↑ Muscle Glycogen Stores):

  مما يتيح أداءً أقوى وأطول.

  (Higher glycogen storage enhances repeated sprint ability.)

- تحسن أنظمة العوازل (↑ Buffering Systems):

  مثل البيكربونات والفوسفات، التي تقلل من الحموضة العضلية.

  (Enhanced buffering systems reduce muscle acidosis during high-intensity training.)

جدول (3): التغيرات الفسيولوجية الناتجة عن التدريب اللاهوائي

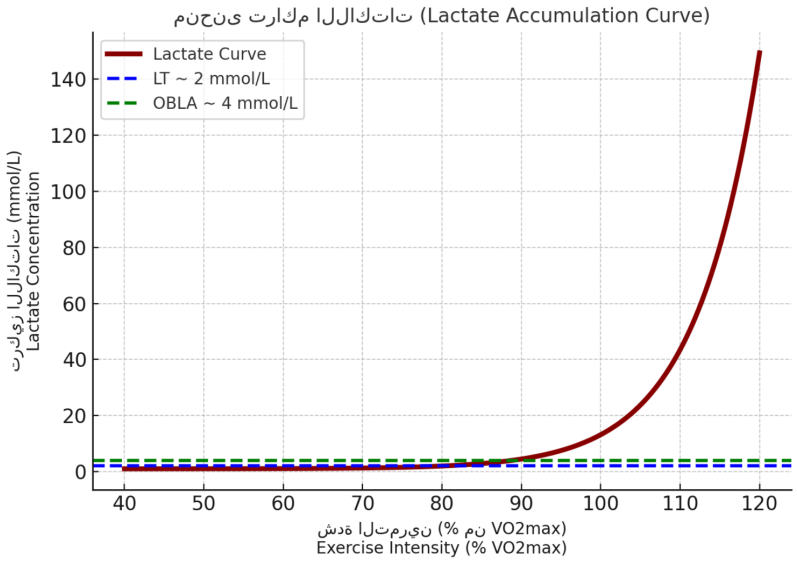
Table (3): Physiological Adaptations to Anaerobic Training

التغير (Adaptation)

Hypertrophy of fast-twitch fibers	زيادة حجم Type II fibers	تضخم الألياف السريعة
Enhanced glycolytic enzyme activity	تسريع إنتاج ATP	↑ إنزيمات التحلل السكري
Increased lactate tolerance	تحسين الأداء رغم الحموضة	↑ تحمل اللاكتات
Elevated anabolic hormones	دعم القوة والنمو العضلي	↑ التستوستيرون و GH
Better neuromuscular coordination	تحسين الاقتصاد الحركي	↑ التوافق العصبي

Figures: Anaerobic Training Physiology

Figure (1): Lactate Accumulation Curve



يوضح هذا الشكل العلاقة بين شدة التمرين (Exercise Intensity) وتركيز اللاكتات في الدم (Lactate Concentration). عند النقطة LT (≈ 2 mmol/L) تبدأ العتبة اللاكتاتية، بينما عند OBLA (≈ 4 mmol/L) يظهر التراكم السريع للاكتات. هذا المؤشر يُستخدم لتحديد شدة التدريب المناسبة وتحسين قدرة اللاعب على تحمل الجهد العالي.

Figure (2): Lactate Shuttle

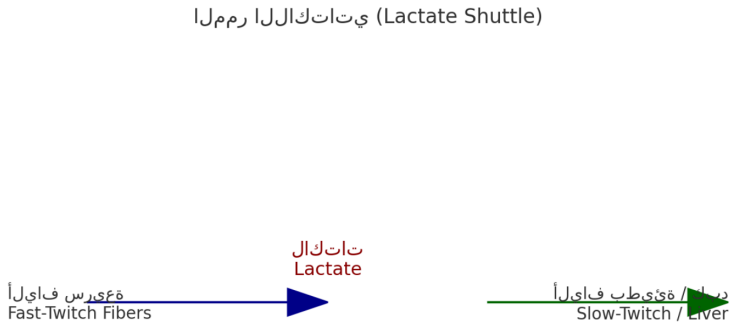


Figure (2): Lactate Shuttle

يبين الشكل انتقال اللاكتات الناتج من الألياف السريعة (Fast-Twitch Fibers) إلى الألياف البطيئة (Slow-Twitch Fibers) أو إلى الكبد لإعادة استخدامه كمصدر للطاقة. هذا يوضح أن اللاكتات ليس منتجًا ضارًا، بل عنصرًا أساسيًا في إعادة توزيع الطاقة داخل الجسم.

Figure (3): Wingate Test Results

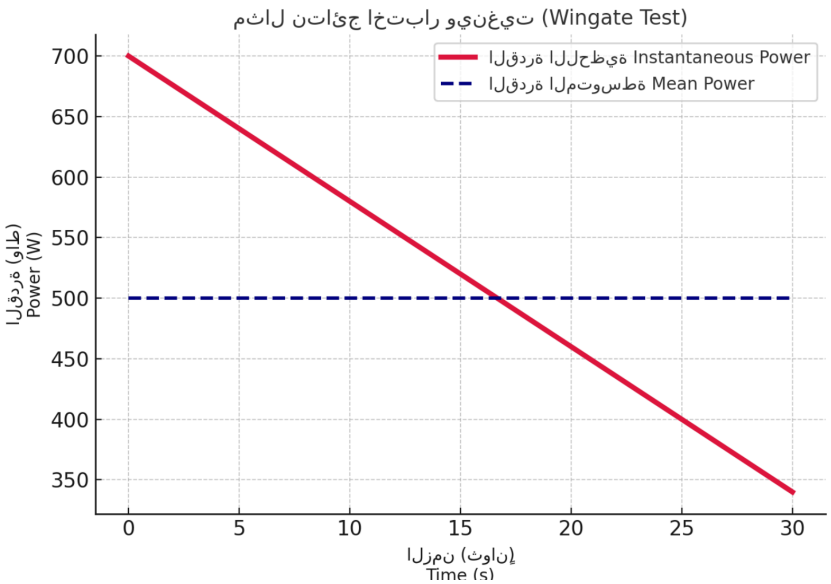


Figure (3): Wingate Test Results

يبين هذا الشكل القدرة اللحظية (Instantaneous Power) التي تبدأ مرتفعة ثم تنخفض مع مرور الزمن بسبب التعب، والقدرة المتوسطة (Mean Power) التي تعكس الأداء العام خلال 30 ثانية. اختبار وينغيت يعد من أهم الاختبارات لتقييم القدرة اللاهوائية القصوى.

Figure (4): RAST Test Results

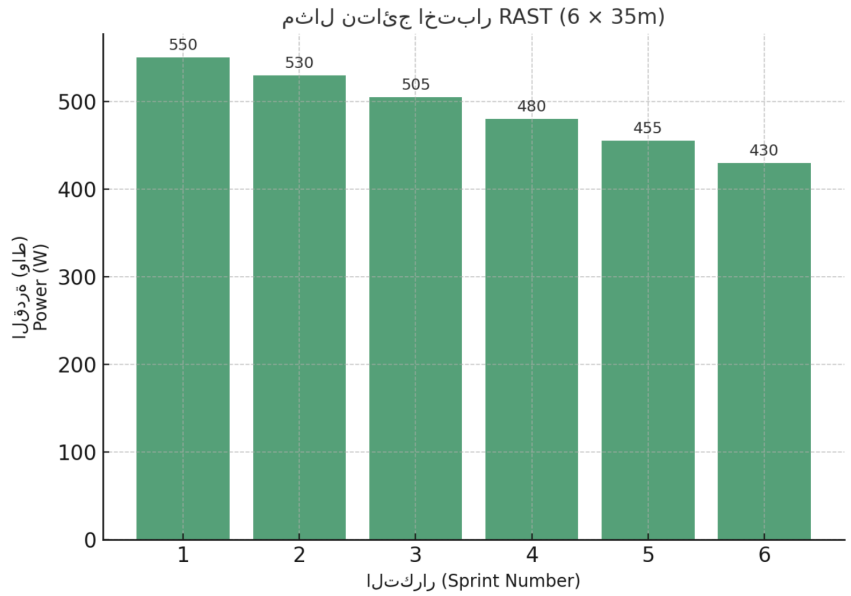


Figure (4): RAST Test Results

يعرض الشكل القدرة الناتجة من كل ركضة (Sprint) في اختبار RAST (6 × 35m). نلاحظ انخفاض القدرة التدريجي مع تكرار الركض نتيجة تراكم اللاكتات والتعب العضلي. الاختبار يُستخدم بكثرة في الألعاب الجماعية لقياس القدرة اللاهوائية والتحمل.