الجامعة المستنصرية

كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

الدراسات العليا / الدكتوراه

التعب

أ. د اخلاص حسين　　**أ. د غصون فاضل**

2025

المقدمة

يُعدّ التعب من أكثر الظواهر الفسيولوجية تعقيدًا في علم التدريب الرياضي، وهو يمثل الحدّ الذي تتوقف عنده القدرة على الاستمرار في الأداء. تختلف آليات التعب باختلاف :-

1- نوع النشاط البدني

- (هوائي – لاهوائي)
- زمن أداء الجهد
- شدة الحمل

2- العوامل الفردية

- التغذية.
- الوراثة
- مستوى اللياقة البدنية.

تعريف التعب :

هو انخفاض مؤقت في القدرة على إنتاج القوة أو الاستمرار بالأداء نتيجة للعوامل العضلية أو العصبية أو الأيضية أو النفسية، ويُزال عادةً بالراحة.

📘 تعريفات علمية:

- Gandevia (2001)
- التعب هو فشل في توليد القوة المطلوبة نتيجة لضعف العمليات المركزية أو الطرفية.

- Asmussen (1979)
- التعب هو انخفاض في الأداء البدني نتيجة خلل في الجهاز العصبي أو العضلي أو الجهاز الأيضي.

أنواع التعب :

النوع	الموقع	المسبب الأساسي	أمثلة

التعب أثناء الجهد الطويل كالركض الماراثوني	نقص النقل العصبي، تراكم السيروتونين، قلة التحفيز العصبي	الدماغ والجهاز العصبي المركزي	التعب المركزي (Central Fatigue)
تمارين المقاومة العالية أو السرعة	تراكم H^+، نقص ATP، تراكم اللاكتات	العضلات الطرفية	التعب المحيطي (Peripheral Fatigue)
المنافسات الطويلة أو الضغوط الذهنية	الضغط النفسي، قلة الدافع	الجهاز العصبي النفسي	التعب النفسي (Psychological Fatigue)

ثالثًا: المسببات الفسيولوجية للتعب العضلي

1. نقص مخزون الـ CPوالـ ATP في العضلة بنسبة 20–30% أثناء الجهد الشديد

يقل(ATP)

- يعاد تكوينه بواسطة الفوسفوكرياتين أو النظام اللاهوائي

2 -(H^+) تراكم أيونات الهيدروجين

العضلي ← تثبيط إنزيمات الجليكوليكال pH ينتج عن تحلل اللاكتات ← انخفاض.

3- نقص الكلايكوجين العضلي

- الكلايكوجين هو المصدر الرئيسي للطاقة في الجهد الهوائي واللاهوائي.
- يقل بنسبة 50% بعد 90 دقيقة من الجهد المتوسط.

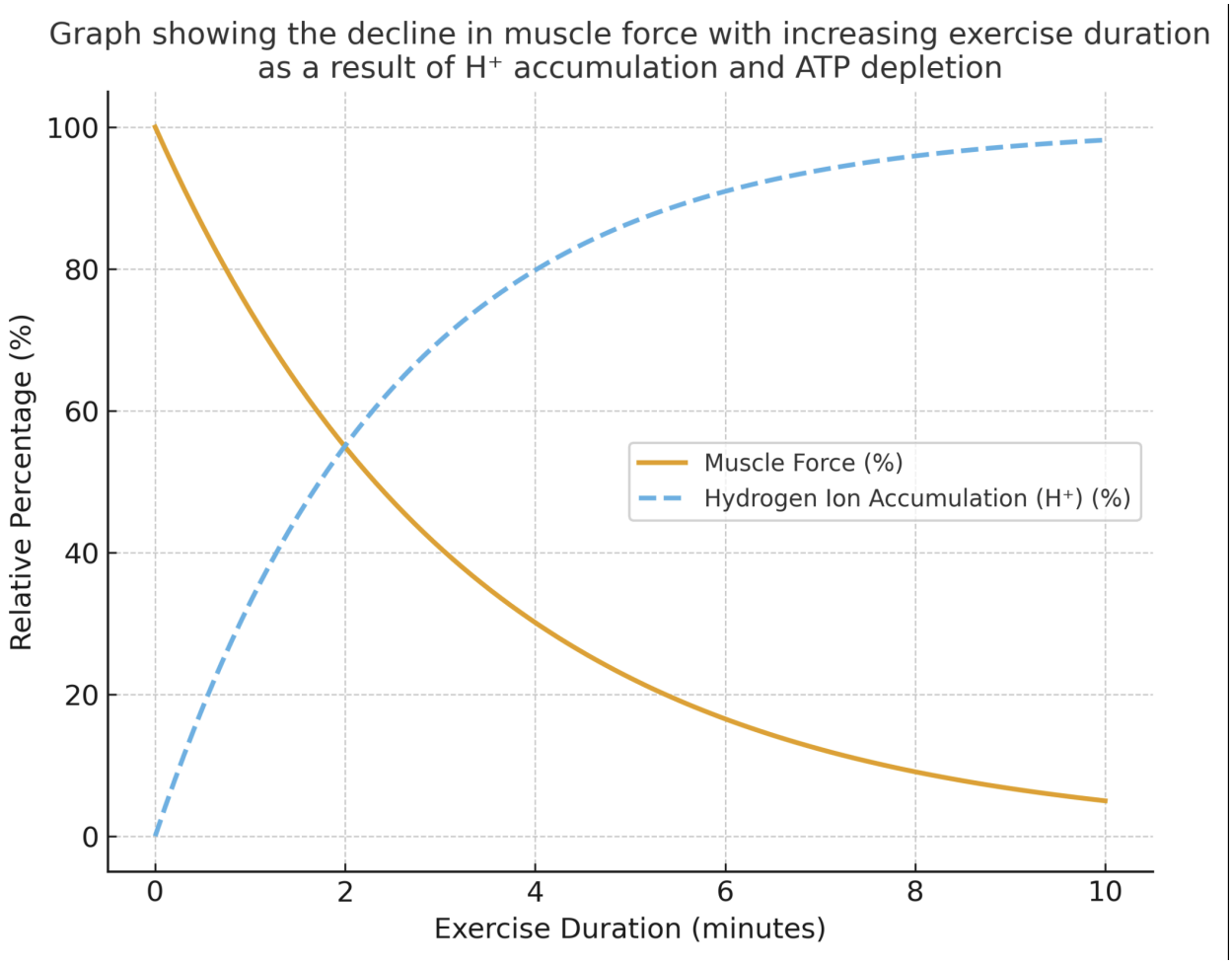
4- اختلال وظيفة الكالسيوم في الساركوبلازم.

- انخفاض عودة Ca^{2+} يؤثر على الانقباض العضلي.

5.- تلف الألياف العضلية الدقيقة (Microtrauma)

- يسبب ألماً وتأخر الاستشفاء بعد الجهد العنيف.

منحنى يوضح انخفاض القوة العضلية مع زيادة مدة التمرين نتيجة تراكم H^+ وانخفاض ATP.



التعب العصبي المركزي :

1- (Neurotransmitters) نقص النواقل العصبية

- انخفاض الدوبامين والنورأدرينالين وزيادة السيروتونين ← انخفاض اليقظة والتركيز

2-.Motor Cortex انخفاض التحفيز من القشرة الحركية

- يؤدي إلى ضعف الإيعاز العصبي للعضلات رغم توفر الطاقة

3-(Cerebral Hypoxia) نقص الأوكسجين الدماغي

- عند الجهد الشديد، يقل تروية الدماغ مما يضعف الأداء العصبي

(Anaerobic Fatigue) التعب في التمارين اللاهوائية :

- سببه الرئيسي تراكم اللاكتات في العضلات
وH^+

- يحدث عند شدة > 80% من.VO_2max

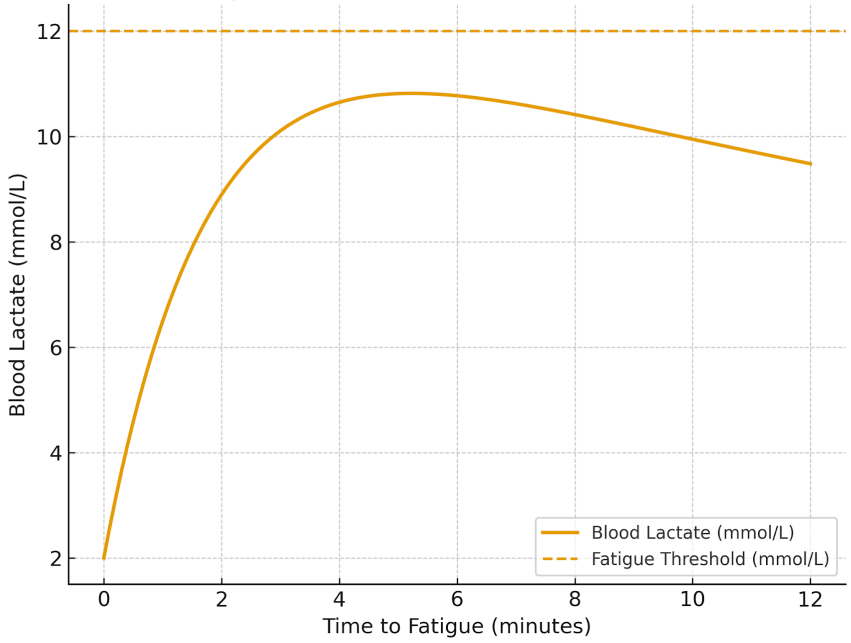
- يرافقه شعور بحرقة عضلية وتباطؤ في السرعة والانقباض

📉 المعادلة الفسيولوجية:

$$Glucose \rightarrow Pyruvate \rightarrow Lactate + H^+ \rightarrow \downarrow pH \rightarrow \downarrow Enzyme\ activity \rightarrow Fatigue$$

(منحنى يظهر العلاقة بين تركيز اللاكتات في الدم وزمن الأداء حتى التعب.)

Proposed Chart: Relationship Between Blood Lactate Concentration and Time to Fatigue



يتضح من المخطط

1. المحور الأفقي (X-axis)

يمثل زمن الأداء (Time to Fatigue) أي المدة الزمنية التي يستمر فيها الرياضي في الجهد البدني، سواء كان جهدًا مستمرًا أو متدرجًا في الشدة (من دقائق قليلة إلى نحو 10–12 دقيقة في الرسم الحالي).

2. المحور العمودي (Y-axis):

يمثل تركيز اللاكتات في الدم (Blood Lactate concentration) ويُقاس عادةً بوحدة مليمول لكل لتر (mmol/L).

3. شكل المنحنى:

- يبدأ المنحنى من قيم منخفضة (حوالي 2 mmol/L) تمثل حالة الراحة أو الجهد المنخفض.
- مع زيادة زمن الأداء وشدته، يبدأ اللاكتات بالارتفاع بشكل متسارع نتيجة اعتماد العضلات على النظام اللاهوائي (Anaerobic Glycolysis).
- وغالبًا ما — يرتفع التركيز تدريجيًا حتى يصل إلى ما يُعرف بـ عتبة التعب (Fatigue Threshold) تكون بين 10 إلى 12 mmol/L في التمارين اللاهوائية المكثفة.

4. النقطة الحرجة (Time to Exhaustion):

- عند هذه النقطة، يصل اللاكتات إلى مستوى مرتفع لا تستطيع العضلات تحمله بسبب تراكم أيونات الهيدروجين (H^+) وانخفاض الـ pH.
- تؤدي هذه الحالة إلى تثبيط الإنزيمات العضلية المسؤولة عن توليد الطاقة، وبالتالي يتوقف الرياضي عن الأداء.
- يُشار إلى هذه النقطة في الرسم بخط رأسي متقطع يمثل الزمن الذي يحدث فيه التعب.

5. الدلالة الفسيولوجية:

- ارتفاع اللاكتات دليل على انتقال الجسم من العمل الهوائي إلى اللاهوائي.
- كلما كانت سرعة تراكم اللاكتات أعلى، كان زمن الوصول إلى التعب أقصر.
- الرياضيون المدربون يمتلكون قدرة أعلى على تحمّل تراكم اللاكتات وتأخير نقطة التعب من خلال تحسين كفاءة إزالة اللاكتات وإعادة استخدامها كمصدر طاقة.

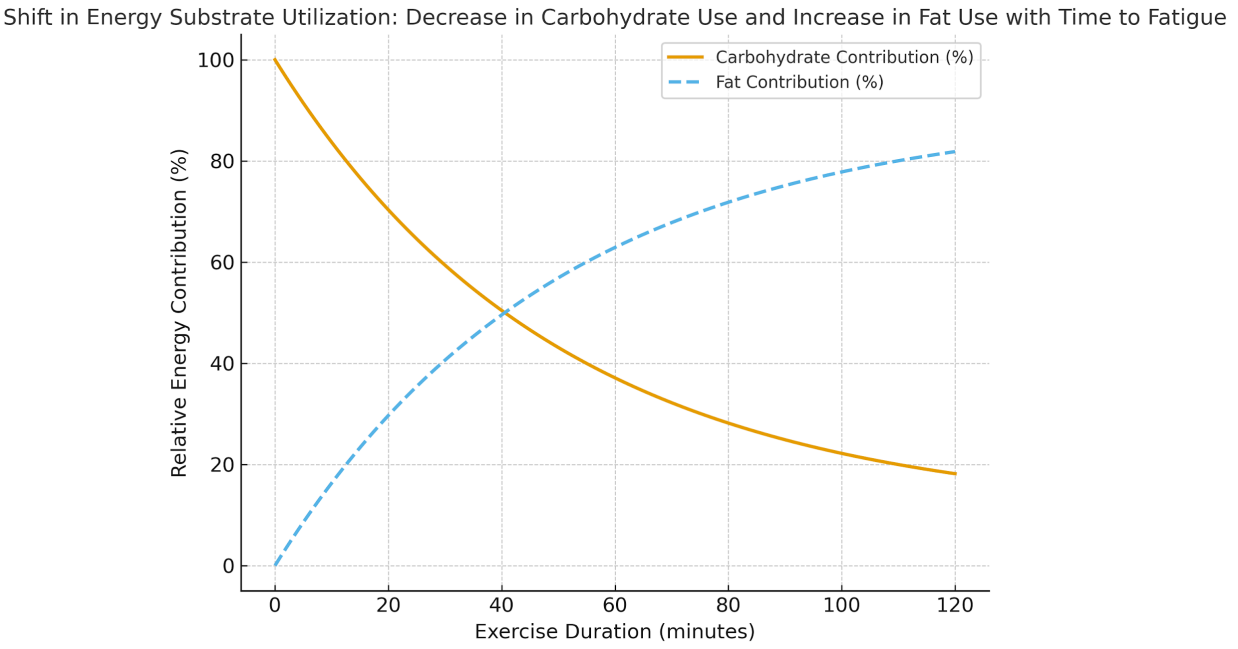
التعب في التمارين الهوائية (Aerobic Fatigue) :

- يحدث بعد مدة طويلة من الجهد (>90 دقيقة).

- المسبب الرئيس هو نقص الكلايكوجين العضلي والكبدي.

- يؤدي إلى انخفاض الأوكسجين في العضلة وزيادة اعتمادها على الدهون (الأبطأ في إنتاج الطاقة).

(مخطط يوضح انخفاض نسبة مساهمة الكربوهيدرات وارتفاع مساهمة الدهون مع الزمن حتى التعب.)



---

1. المحور الأفقي

يمثل زمن التمرين (Exercise Duration) بالدقائق — أي مدة استمرار النشاط الهوائي مثل الجري، السباحة، أو ركوب الدراجة.

2. المحور العمودي

يمثل نسبة المساهمة المئوية لكل مصدر طاقوي في تزويد العضلة بالطاقة أثناء التمرين، سواء كانت الكربوهيدرات (Carbohydrates) أو الدهون (Fats).

---

3. منحنى الكربوهيدرات (Carbohydrate Contribution):

يبدأ من مستوى مرتفع جدًا (حوالي 80–90%) في بداية التمرين.

والغلوكوز الدموي (Muscle Glycogen) ذلك لأن العضلات تعتمد بشكل رئيسي على الجليكوجين العضلي كمصدر سريع للطاقة.

مع مرور الوقت، يبدأ الجليكوجين بالنفاد تدريجيًا، مما يؤدي إلى انخفاض مساهمة الكربوهيدرات في إنتاج الطاقة.

منحنى الدهون (Fat Contribution):

يبدأ من مستوى منخفض (10–20%) في الدقائق الأولى،

.ثم يرتفع تدريجيًا بمرور الوقت، حيث يبدأ الجسم بتحفيز أكسدة الأحماض الدهنية لتعويض النقص في الجليكوجين

.مع زيادة مدة التمرين، تصبح الدهون المصدر الأساسي للطاقة في الجهود الطويلة والمنخفضة إلى المتوسطة الشدة

:في بداية التمرين، يعتمد الجسم على الكربوهيدرات لأن

تحللها أسرع

بسرعة أكبر لكل وحدة زمن ATP تنتج

لكن مع استمرار الجهد الهوائي وانخفاض الجليكوجين

.(Lipolysis & β-oxidation) يزداد نشاط الإنزيمات المؤكسدة للدهون

.يتحول الاعتماد الطاقوي تدريجيًا نحو الدهون

.Metabolic Shift أو التحول الأيضي "Fuel Shift" هذا التحول يُعرف باسم

-.يوضح هذا الرسم أهمية التغذية الكربوهيدراتية قبل وأثناء التمرين لتأخير التعب

كما يبرز دور التدريب الهوائي المنتظم في رفع كفاءة الجسم على أكسدة الدهون وتأخير استنزاف الجليكوجين .العضلي

الرياضيون المدربون يظهر لديهم ارتفاع مبكر في مساهمة الدهون مقارنة بغير المدربين، مما يمنحهم قدرة تحمل .أعلى

تمثل المرحلة التي يصبح فيها الجليكوجين منخفضًا جدًا ولا تستطيع العضلة الاستمرار في الأداء بنفس الكفاءة .رغم توفر الدهون كمصدر طاقة، إلا أن أكسدتها أبطأ، مما يؤدي إلى انخفاض سرعة الأداء وظهور التعب العضلي الوظيفي

العوامل المؤثرة في ظهور التعب :

العامل	التأثير

كلما زادت الشدة، ظهر التعب أسرع	شدة التمرين
كلما طال الجهد الهوائي زاد استنزاف الجليكوجين	مدة الجهد
الحرارة العالية تسرّع الجفاف وتزيد الإجهاد القلبي	درجة الحرارة
نقص الكربوهيدرات يؤدي لتعب مبكر	التغذية
الرياضي المدرب يمتلك مقاومة تعب أعلى	اللياقة البدنية
الإرادة والتحفيز يؤخران الشعور بالتعب	العوامل النفسية

التعب الحراري (Thermal Fatigue) :

- ناتج عن ارتفاع درجة حرارة الجسم > 39 °C.
- يقلل تدفق الدم إلى العضلات ويزيد الجفاف.
- يؤدي لانخفاض حجم الضربة القلبية وارتفاع النبض.

التعب النفسي والعقلي :

-ناتج عن الإجهاد الذهني قبل أو أثناء الأداء الرياضي

-يؤدي إلى انخفاض التحفيز العصبي، وزيادة الشعور بالإجهاد دون وجود سبب فسيولوجي واضح

-.(Perceived Fatigue) "يدخل ضمن مفهوم "التعب الإدراكي

التعب المزمن والإفراط في التدريب : (Chronic Fatigue & Overtraining Syndrome)

بينما يُعد التعب الحاد (Acute Fatigue) استجابة طبيعية ومؤقتة للجهد البدني، فإن التعب المزمن (Chronic Fatigue) يمثل حالة اختلال في التوازن بين التدريب والاستشفاء، وقد يتطور إلى ما يُعرف بـ متلازمة الإفراط في التدريب أو التدريب الزائد (Overtraining Syndrome – OTS)، وهي من أكثر المشكلات خطورة في الأداء الرياضي العالي.

أولاً: المفهوم الفسيولوجي

- التعب المزمن (Chronic Fatigue):

حالة من انخفاض الأداء البدني والعقلي تستمر لأيام أو أسابيع نتيجة تراكم الأحمال التدريبية دون استشفاء كافٍ.

- التدريب الزائد (Overtraining):

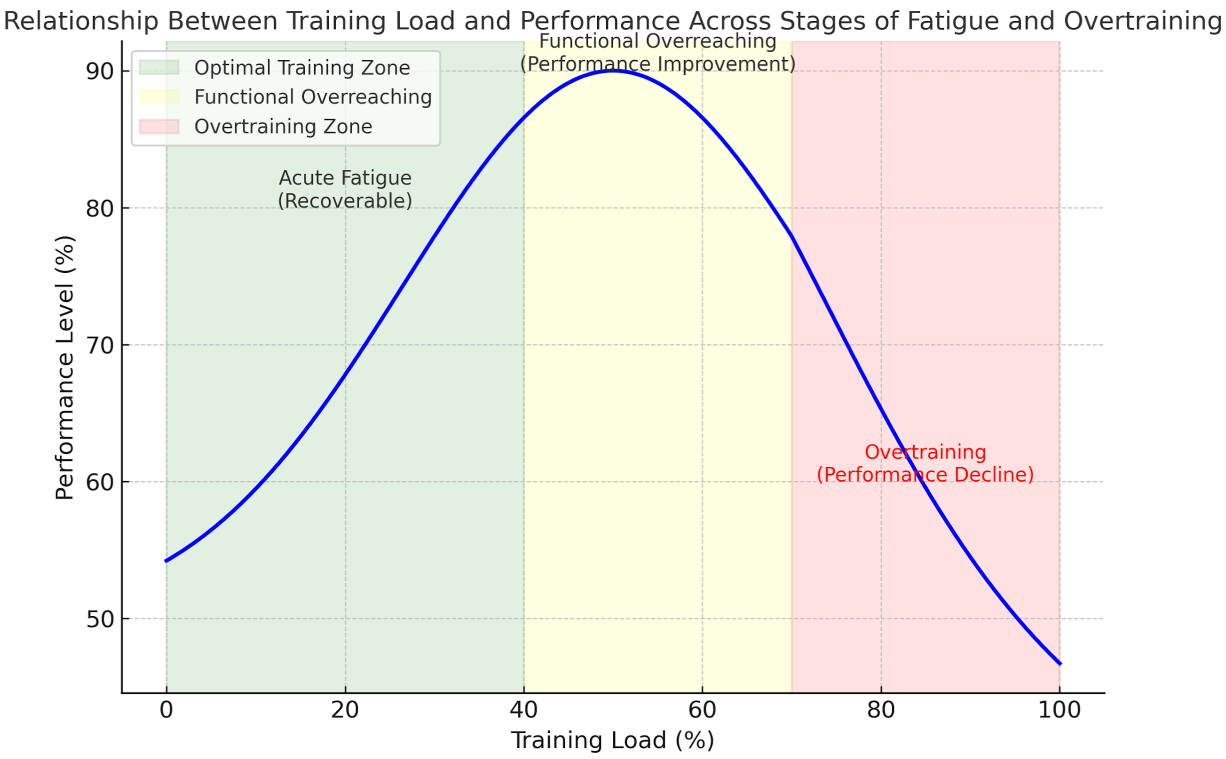
اضطراب فسيولوجي ووظيفي ناتج عن التحميل المفرط طويل الأمد، يؤدي إلى:

- انخفاض الأداء رغم استمرار التدريب.
- اضطرابات هرمونية ومناعية وعصبية.
- تغيرات مزاجية ونفسية حادة

مراحل التعب المزمن:

المرحلة	الوصف	الحالة الفسيولوجية
1. التعب المؤقت (Acute Fatigue)	تعب بعد جلسة تدريبية	طبيعي – يعوض خلال 24–48 ساعة
2. الإجهاد المفرط (Overreaching)	تراكم التعب لأيام قليلة مع انخفاض الأداء	قابل للعكس بالراحة القصيرة
3. الإفراط في التدريب (Overtraining)	انخفاض مزمن بالأداء يستمر > 2 أسبوع	غير قابل للعكس بسرعة، يحتاج أسابيع أو أشهر

(منحنى يوضح العلاقة بين الحمل التدريبي (Training Load) ومستوى الأداء (Performance) عبر المراحل الثلاث السابقة.)



يوضح هذا الرسم العلاقة بين الحمل التدريبي (Training Load) ومستوى الأداء (Performance) عبر ثلاث مراحل رئيسية:

1. المنطقة الخضراء – التعب الحاد (Acute Fatigue):

عند الأحمال المنخفضة إلى المتوسطة (0–40%)، يحدث تعب مؤقت وقابل للاستشفاء، وبعد الراحة يحدث تعويض فائق (Supercompensation) وتحسن في الأداء.

2. المنطقة الصفراء – الإجهاد الوظيفي (Functional Overreaching):

عند زيادة الحمل (40–70%)، يزداد الضغط البدني مؤقتًا، ويتراجع الأداء قليلاً ثم يرتفع بعد الاستشفاء الكافي، وهي المنطقة المثالية للتكيف والتطور.

3. المنطقة الحمراء – الإفراط في التدريب (Overtraining):

عند تجاوز الحمل الأمثل (>70%) دون راحة كافية، يبدأ الأداء بالانخفاض تدريجيًا بسبب الإجهاد المزمن، اختلال الهرمونات، وضعف الجهاز العصبي والمناعي.

4. الآليات الفسيولوجية المسببة للإفراط في التدريب :

1. اختلال التوازن العصبي الهرموني (Neuroendocrine Imbalance):
   - انخفاض في التستوستيرون/كورتيزول ratio (مؤشر الإجهاد المزمن).
   - زيادة نشاط الجهاز العصبي الودي (Sympathetic Overactivation).
   - اضطراب إفراز الكاتيكولامينات (الأدرينالين والنورأدرينالين).
2. اضطرابات في الجهاز المناعي:
   - انخفاض في عدد خلايا NK (Natural Killer Cells).

- زيادة احتمالية العدوى التنفسية.

- ارتفاع في السيتوكينات الالتهابية (IL-6, TNF-α).

3. اضطراب في الاستقلاب الطاقوي:

- نقص الجليكوجين العضلي المزمن.

- ارتفاع الكورتيزول ← تحلل البروتين العضلي.

- انخفاض معدلات استعادة الـ ATP أثناء الراحة.

4. اختلال التنظيم المركزي (Central Dysregulation):

- انخفاض الدوبامين وزيادة السيروتونين ← شعور بالكسل والاكتئاب.

- ضعف في التحفيز من القشرة الحركية.

المؤشرات الفسيولوجية والوظيفية للإفراط في التدريب :

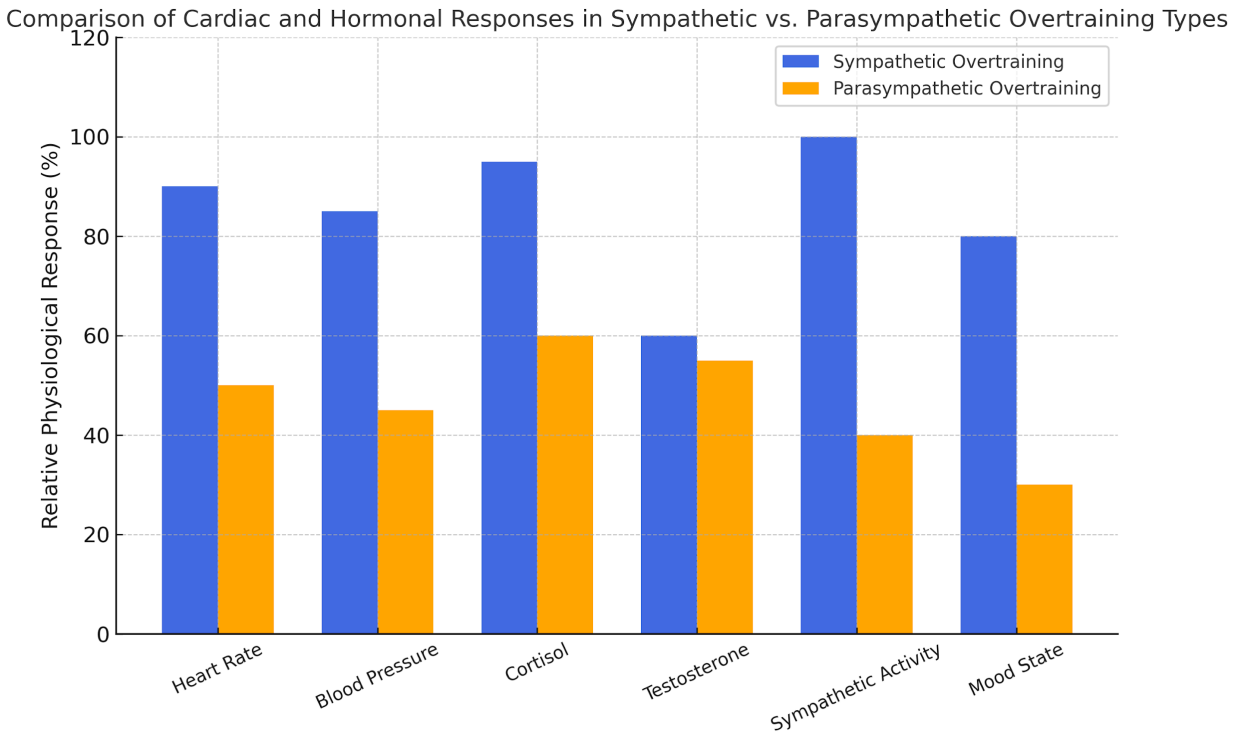
المؤشر	التغير الفسيولوجي	التفسير العلمي
معدل النبض القاعدي	↑ زيادة	دلالة على نشاط ودي مفرط
ضغط الدم الانقباضي	↑ أو ↓	حسب نوع الإفراط (ودي أو نظير ودي)

نتيجة تلف الميتوكوندريا ونقص الأوكسدة	↓ انخفاض	VO_2max
استجابة للإجهاد المزمن	↑ مرتفع	تركيز الكورتيزول
دليل على انهيار التوازن البنائي/الهدمي	↓ منخفضة	نسبة التستوستيرون/كورتيزول
ضعف قدرة الجليكوليك اللاهوائي	↓ منخفض	حمض اللاكتيك بعد الجهد
اضطراب عصبي هرموني	↓ سيئ	معدل النوم وجودته

الأنماط العصبية للإفراط في التدريب :

الأعراض السريرية	الجهاز المتأثر	النوع
تسارع نبض، أرق، قلق، فقدان شهية	زيادة نشاط الجهاز الودي	الإفراط الودي (Sympathetic Type)
بطء نبض، خمول، اكتئاب، ضعف تركيز	سيطرة الجهاز نظير الودي	الإفراط نظير الودي (Parasympathetic Type)

مخطط يوضح الفرق بين النمطين في استجابات القلب والهرمونات.



يوضح هذا المخطط الفرق بين نمطَي الإفراط في التدريب (Overtraining Types) من حيث استجابات القلب والهرمونات:

🔹

1. النمط الودي (Sympathetic Overtraining Type):

- معدل نبض القلب (Heart Rate): مرتفع بشكل ملحوظ حتى في الراحة.
- ضغط الدم: يزداد نتيجة النشاط الزائد للجهاز العصبي الودي.
- الكورتيزول: مرتفع جدًا بسبب الإجهاد المستمر ومحفزات الغدة الكظرية.
- التستوستيرون: منخفض لأن العمليات البنائية تتراجع أمام نشاط الهدم.
- النشاط العصبي الودي: في ذروته، ما يؤدي إلى الأرق، القلق، ضعف النوم.
- الحالة النفسية: توتر وقلق دائم، صعوبة في الاسترخاء.

🔹

2. النمط نظير الودي (Parasympathetic Overtraining Type):

- معدل نبض القلب: منخفض حتى أثناء الجهد، نتيجة زيادة السيطرة نظير الودية.
- ضغط الدم: يميل للانخفاض.
- الكورتيزول: طبيعي أو منخفض، بسبب كبح النشاط الودي المزمن.
- التستوستيرون: منخفض كذلك نتيجة التعب المزمن.
- النشاط العصبي الودي: ضعيف، مع بطء في الاستجابات العصبية.
- الحالة النفسية: خمول، اكتئاب، فقدان الدافع والاهتمام بالأداء الرياضي.

العلامات النفسية والسلوكية :

- انخفاض الدافع نحو التدريب والمنافسة.
- تهيّج، قلق، اكتئاب، ومزاج متقلب.
- فقدان المتعة بالأداء الرياضي.
- الشعور بالإنهاك حتى في الأنشطة اليومية.
- اضطرابات في النوم أو الشهية.

طرق الوقاية والمعالجة :

1.

الوقاية

. -(التخطيط العلمي للأحمال التدريبية (التحميل الدوري

-.(التعويض الفائق) Supercompensation الالتزام بمبدأ

- .التغذية الغنية بالكربوهيدرات والبروتين

- .استخدام الراحة النشطة والتقنيات الاستشفائية

2.

المعالجة

-.التوقف الكامل أو الجزئي عن التدريب من 2 إلى 6 أسابيع

-.دعم نفسي وتدريبات استرخاء

- .برامج نوم منتظمة

- .فحوصات طبية لتقييم الكورتيزول والتستوستيرون

المراجع والمصادر

1. Meeusen, R. et al. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome. European Journal of Sport Science, 13(1),

1–24.

2. Budgett, R. (1998). Fatigue and underperformance in athletes: The overtraining syndrome. British Journal of Sports Medicine, 32(2), 107–110.

3. Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. Sports Medicine, 44(2), 139–147.
4. Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. Physiological Reviews, 81(4), 1725–1789.

5. Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. Medicine & Science in Sports & Exercise, 48(11), 2228–2238.

6. Noakes, T. D. (2012). Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior. Frontiers in Physiology, 3, 82.

7. Powers, S. K., & Howley, E. T. (2023). Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance. 11th Ed. McGraw-Hill.