المحاضرة السابعة: التكيفات الفيزيولوجية والتدريب الرياضي

التكيف الفيزيولوجي (Physiological Adaptation) هو قدرة الكائن الحي على تعديل وظائفه الداخلية استجابة للعبء التدريبي المتكرر، بهدف تحقيق الاستتباب (Homeostasis) تحت ظروف الإجهاد ومن ثم رفع عتبة الأداء.

مبدأ أساسي :التكيفات نوعية (Specific) بمعنى أن جسم الرياضي يتكيف بنفس طريقة الضغط الذي يتعرض له. العداء لا يتكيف مثل الرباع، والسباح لا يتكيف مثل لاعب كرة السلة.

أهداف المحاضرة

1. **تصنيف التكيفات الفيزيولوجية حسب أجهزة الجسم.**
2. **شرح الفرق بين التكيفات الحادة (أثناء الجهد) والمزمنة (بعد أسابيع/شهور.(**
3. **ربط نوع التدريب بنمط التكيف.**
4. **استخلاص تطبيقات عملية لتصميم البرامج التدريبية.**

المحور الأول: تصنيف التكيفات الفيزيولوجية

.1حسب الزمن

أمثلة	التعريف	النوع
ارتفاع معدل القلب، زيادة التنفس، ارتفاع الأدرينالين.	تغيرات فورية أثناء التمرين أو بعده مباشرة، تعود إلى المستوى الأساسي بعد الراحة.	تكيف حاد (Acute)
تضخم القلب الرياضي، زيادة كثافة الشعيرات الدموية، تضخم العضلات.	تغيرات هيكلية ووظيفية دائمة أو شبه دائمة تحدث بعد أسابيع/شهور من التدريب المنتظم.	تكيف مزمن (Chronic)

.2حسب الجهاز أو النظام الفيزيولوجي

- **التكيفات القلبية التنفسية.**
- **التكيفات العضلية الهيكلية.**
- **التكيفات العصبية (سبق تناولها في المحاضرة الخامسة).**
- **التكيفات الهرمونية (المحاضرة السادسة).**
- **التكيفات الاستقلابية (الطاقية)**

- **التكيفات الحرارية والسوائل.**

المحور الثاني: التكيفات القلبية التنفسية للتدريب (أهم التكيفات في رياضات التحمل(

1.التكيفات القلبية

التغير	الرياضي المدرب (تحمل)	الرياضي غير المدرب	المتغير
↑ 15-20%	متضخم (تضخم غريب الأطوار Eccentric hypertrophy)	طبيعي	حجم القلب (البطين الأيسر)
↑	يزداد قليلاً (خاصة في رياضات القوة والتحمل معاً)	طبيعي	سمك جدار البطين
↑↑	100-120مل (قد تصل 200 مل لدى النخبة)	60-80مل	حجم النفضة (Stroke Volume)
↓↓	40-60نبضة/دقيقة (بطء القلب الرياضي)	70-80 نبضة/دقيقة	معدل القلب في الراحة
ثابت	لا يتغير بالتدريب (يتحدد وراثياً)	يتناقص مع العمر	معدل القلب القصوي
ثابت	طبيعي (بفضل انخفاض معدل القلب وزيادة حجم النفضة)	طبيعي	الناتج القلبي في الراحة 5~) لتر/دقيقة)
↑↑↑	35-40لتر/دقيقة (قد تصل 45 لدى النخبة)	20-25 لتر/دقيقة	الناتج القلبي القصوي

آليات التكيف القلبي:

- **زيادة** التجويف البطيني :(Eccentric hypertrophy) نتيجة الحمل الحجمي المزمن (زيادة عودة الدم الوريدي أثناء التمرين.(
- زيادة الامتثال (Compliance) للبطين الأيسر :يمتلئ بسهولة أكبر في المرحلة الانبساطية.
- تحسين الدورة التاجية (القلبية الذاتية :(زيادة عدد وتوسع الشرايين التاجية.

.2التكيفات التنفسية

الملاحظات	التغير مع التدريب	المتغير
بسبب زيادة عمق التنفس أكثر من التردد.	↑↑(زيادة كبيرة)	التهوية الرئوية القصوى(VE max)
كفاءة تنفسية أفضل.	↓(انخفاض لنفس العبء المطلق)	التهوية في الجهد دون القصوي
أهم مؤشر لقدرة التحمل.	15-30% ↑(قابل للتحسين)	الاستهلاك الأقصى للأكسجين (VO2max)
تأخير تراكم اللاكتات.	↑(تحدث عند شدة أعلى)	عتبة التهوية (Ventilatory Threshold)
تحمل أفضل للإعياء التنفسي.	↑(زيادة)	قوة عضلات التنفس (الحجاب الحاجز)
نتيجة زيادة تدفق الدم الرئوي وتجنيد شعيرات دموية إضافية.	↑طفيف	الانتشار الرئوي (Diffusion capacity)

ملاحظة هامة :على عكس القلب، لا يتضخم حجم الرئتين بالتدريب (حجم الرئتين يحدد وراثياً). لكن كفاءة استخدامها تتحسن بشكل كبير.

.3التكيفات الدموية والدورة الدموية الطرفية

- **زيادة حجم** البلازما) بمقدار 10-20%): تحسين الري، خفض اللزوجة، زيادة عودة الدم الوريدي.
- زيادة عدد كريات الدم الحمراء (RBCs) بشكل طفيف (أو ثابت مع تخفيف الدم النسبي.(
- زيادة كثافة الشعيرات الدموية حول الألياف العضلية من النوع I والثاني:a
  - يزيد وقت تبادل الأكسجين والمواد المغذية.
  - يخفض مسافة الانتشار.

- **تحسين توزيع تدفق الدم :زيادة التروية للعضلات العاملة، انخفاض التروية للأعضاء غير الأساسية (الجهاز الهضمي، الكلى).**

المحور الثالث: التكيفات العضلية الهيكلية

.1تكيفات العضلات الهيكلية

تدريب السرعة/الانفجار	تدريب القوة (المقاومة)	تدريب التحمل	المتغير
) ↑↑تضخم متوسط(	↑↑↑(تضخم كبير(	↑طفيف / ثابت	حجم العضلة (Cross-sectional area)
تحول من IIx ⟶ IIa	تحول من IIx ⟶ IIa	تحول جزئي من IIx ⟶ IIa ⟶ I	نوع الألياف(Type I / II)
ثابت / ↑ طفيف	↓قليلاً (أو ثابت)	↑↑↑(زيادة كبيرة جداً)	كثافة الميتوكوندريا
↑طفيف	) ↑خاصة في المراحل الأولى)	↑↑	كثافة الشعيرات الدموية

↑	↑↑	↑↑	مخازن الغليكوجين
ثابت	↓طفيف / ثابت	↑↑↑ (CS, SDH, MDH)	نشاط الإنزيمات التأكسدية
↑↑	↑↑	↓طفيف / ثابت	نشاط الإنزيمات المحللة للسكر (glycolytic – PFK, LDH)
↑↑	↑↑	ثابت	انزيمات ناقلة الفوسفات (CK, ATPase)

2.التضخم العضلي (Hypertrophy) مقابل التضخم المرضي

- التضخم الفسيولوجي :زيادة حجم الألياف (خاصة من النوع II) مع زيادة كثافة البروتينات المقلصة (الأكتين والميوسين)
- لا يحدث زيادة في عدد الألياف (Hyperplasia) لدى الإنسان البالغ الطبيعي (خلافاً لبعض الثدييات التجريبية).
- التضخم نوعان في الرياضة:
  - تضخم غريب الأطوار :(Eccentric) تطاول البطين الأيسر (رياضات التحمل).
  - تضخم مركز الأطوار :(Concentric) زيادة سمك الجدار (رياضات القوة، رفع الأثقال)

3.تكيفات العظام والأوتار والأربطة

- العظام :زيادة كثافة المعادن (BMD) في المناطق المحملة ميكانيكياً (قانون وولف Wolff's Law).
- الأوتار والأربطة :زيادة محتوى الكولاجين من النوع الأول، زيادة المقطع العرضي، قوة شد أكبر (عملية أبطأ من العضلات).

المحور الرابع: التكيفات الاستقلابية (الطاقية)

1.تكيفات التحمل (نظام هوائي)

التغير	المتغير
↑(زيادة قدرة نقل واستخدام الأكسجين)	VO2max
↑(يحدث عند شدة أعلى))	عتبة اللاكتات(Lactate Threshold - LT)
↑↑(اقتصاد الجليكوجين)	استخدام الدهون كوقود أثناء الراحة والجهد دون القصوي
↑(ضعف المخزون لدى غير المدرب)	مخازن الجليكوجين العضلي
مدرب التحمل: ثابت / مدرب السرعة↑↑ :	نشاط إنزيمATP-PC

2.تكيفات القوة والسرعة (أنظمة لاهوائية)

التغير	المتغير
↑(زيادة طفيفة) 20-50%	ATP-PCrالمخزون
↑↑	نشاط إنزيم الكرياتين كيناز(CK)
↑↑	نشاط إنزيم فوسفوفروكتوكيناز(PFK)
↑	قدرة/قوة اللاكتات
↑(زيادة البروتينات العازلة مثل الكارنوزين، بيكربونات)	تحمل الحماض(Buffering capacity)

3.الاقتصادية الحركية(Movement Economy)

- الرياضي المدرب يستخدم أكسجين أقل لنفس سرعة الجري أو ركوب الدراجة.
- ترجع إلى تحسين: التنسيق العصبي، تقنية الحركة، تخزين واسترجاع الطاقة المرنة (في الأوتار)

المحور الخامس: مبدأ الخصوصية – أي تدريب يعطي أي تكيف؟

التكيفات المهيمنة	نوع الرياضة
قلب متضخم (حجمي)، كثافة ميتوكوندريا عالية، تحول للألياف البطيئة، حساسية أنسولين عالية.	الماراثون، ركوب الدراجات الطويل
تضخم عضلي كبير (ألياف(II ، سمك جدار القلب يزداد، نظام فوسفاتي قوي، تحمل حماض عالٍ.	رفع الأثقال، كمال الأجسام
تكيفات مختلطة: قدرة هوائية جيدة + قوة لا هوائية عالية + تكيفات عصبية للسرعة والتغير المفاجئ.	كرة القدم، كرة السلة (رياضات متقطعة)
تكيفات قلبية تنفسية قوية جداً + تكيفات خاصة بالبيئة المائية (منعكس الغوص معدل) + عضلات كتف وأعلى ظهر متطورة.	السباحة
تكيفات عصبية عضلية دقيقة (تحكم حركي) + عضلات مثبتة قوية + زيادة كثافة العظام في الأطراف العلوية.	الجمباز، التسلق

المحور السادس: متلازمة الإفراط في التدريب(Overtraining Syndrome – OTS)

هبوط مزمن في الأداء 4-2 <) أسابيع) بالرغم من استمرار أو زيادة التدريب، مع أعراض فيزيولوجية ونفسية.

العلامات الفيزيولوجية:

- زيادة معدل القلب في الراحة (3-5 نبضة/دقيقة أو أكثر).
- انخفاض VO2max وعتبة اللاكتات.
- زيادة في تراكم اللاكتات لنفس الجهد دون القصوي.
- ضعف التعافي، أرجل ثقيلة.
- اضطراب النوم (انخفاض مرحلة النوم العميق()
- انخفاض نسبة التستوستيرون/الكورتيزول.(T/C)
- ضعف المناعة (كثرة نزلات البرد)

العلامات النفسية:

- انخفاض الدافعية، الاكتئاب، التهيج.
- انخفاض الثقة، "الخوف من المنافسة."

العلاج:

- راحة (نشطة أو سلبية) لمدة 2–4 أسابيع.
- إعادة برمجة تدريجية مع تقليل الحجم والشدة.
- تحسين التغذية (كربوهيدرات، بروتين، فيتامينات، معادن).
- تحسين النوم وإدارة الضغوط.

الجدول الختامي: ملخص التكيفات الفيزيولوجية حسب نوع التدريب

تدريب القوة(Strength)	تدريب التحمل(Endurance)	التكيف
تضخم مركز الأطوار (CC) أو مختلط	تضخم غريب الأطوار(EC)	القلب
↓انخفاض طفيف	↓↓انخفاض كبير	معدل قلب الراحة
ثابت/↑ طفيف	↑↑زيادة كبيرة	حجم البلازما
↓قليلاً (أو ثابت)	↑↑↑	كثافة الميتوكوندريا
+++	+	تضخم العضلات
) ↑خاصة عند المبتدئين)	↑↑↑	VO2max
) ↑ارتفاع طفيف)	↑↑(ارتفاع ملحوظ)	العتبة اللاهوائية
توظيف عالي، تزامن	كفاءة حركية	العصب العضلي

أسئلة للمناقشة والتطبيق

1. لماذا يكون حجم القلب لدى عداء الماراثون أكبر منه لدى رافع الأثقال، رغم أن رافع الأثقال يمتلك كتلة عضلية أكبر؟
2. إذا توقف رياضي عن التدريب لمدة 4 أسابيع، أي التكيفات تختفي أولاً (قلبية، عصبية، عضلية) وأيها تستمر لفترة أطول؟
3. كيف يمكن التوفيق بين تدريب القوة والتحمل في الرياضات الجماعية (مثل كرة القدم) دون حدوث تضارب في التكيفات؟
4. هل يمكن الوصول إلى VO2max عالٍ بدون تدريب تحمل طويل؟ (تلميح: انظر إلى لاعبي كرة اليد أو كرة السلة(

المراجع

- McArdle, W.D., Katch, F.I., & Katch, V.L. (2015). *Exercise Physiology* (الإصدار الثامن).
- Powers, S.K., & Howley, E.T. (2018). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*.
- Mujika, I., & Padilla, S. (2001). *Muscular characteristics of detraining in humans*. Sports Medicine.
- دراسة حديثة: Concurrent training and molecular interference (Journal of Applied Physiology, 2022).