محاضرات طلبة الدكتوراه

كلية التربية البدنية
وعلوم الرياضة

الطاقة الحيوية في فسيولوجيا الجهد البدني

نظم إنتاج الطاقة، تنظيمها، وتكيفاتها التدريبية

الجزء الأول

الدكتور محمد توفيق عثمان أغوان
أستاذ فسجة التدريب الرياضي

العام الدراسي2025–2026

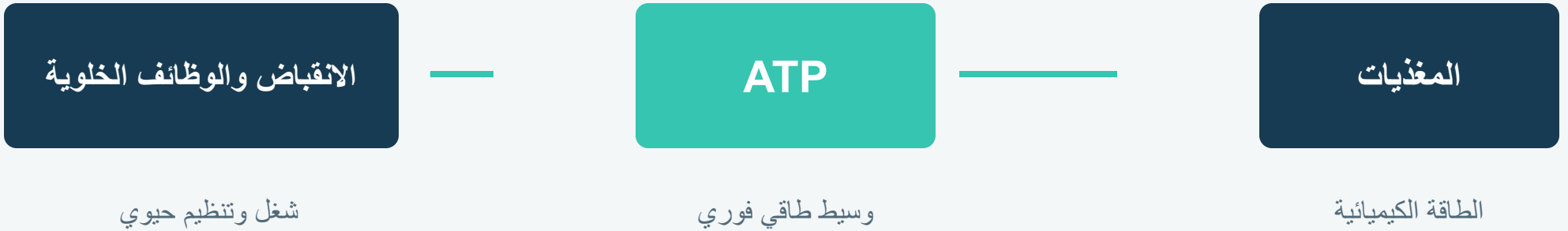
مخرجات التعلم

بنهاية هذه المحاضرة، يُتوقع من طالب الدكتوراه أن يكون قادرًا على:

- تفسير الطاقة بوصفها تدفقًا وتحولًا داخل نظام حيوي مفتوح.
- تطبيق القانونين الأول والثاني للديناميكا الحرارية على الجهد البدني.
- التمييز بين الطاقة الكلية والطاقة الحرة القابلة لإنجاز الشغل.
- شرح دور ATP في نقل الطاقة ومعدل إعادة تخليقه أثناء الأداء.
- ربط تكامل نظم الطاقة بالتعب والتكيفات الناتجة عن التدريب.

تدفق وتحول :الطاقة في النظام الحيوي

.الطاقة هي القدرة على إنجاز الشغل أو إحداث تغير، لكن فهمها في الجسم يتطلب تتبع مسارها لا مقدارها وحده



.الجسم لا يحتفظ بالطاقة كما هي، بل يحولها ويوجهها باستمرار وفق متطلبات الوظيفة

الجسم نظام مفتوح ومنظّم

- يتبادل الجسم المادة والطاقة مع البيئة عبر الغذاء والأكسجين والحرارة والعمل.
- إنتاج الطاقة واستخدامها يخضعان لتنظيم عصبي وهرموني وإنزيمي.
- الاستقرار الداخلي يعني الحفاظ على الوظيفة ضمن نطاق ملائم، لا ثبات جميع القيم.
- أثناء الجهد تتغير المتطلبات، فتتغير الاستجابات الفسيولوجية بما يحافظ على الاستمرار.

الديناميكا الحرارية الحيوية

تدرس تحولات الطاقة وانتقالها، والعلاقة بين الطاقة والشغل والحرارة، والقيود التي تحكم توظيفها.

القانون الأول
حفظ الطاقة

القانون الثاني
اتجاه التحول وتشتت الطاقة

كيف تتحول الطاقة؟ وكم منها يبقى قابلًا للاستخدام؟ :في فسيولوجيا الجهد

الطاقة تتحول ولا تُستحدث :القانون الأول

.الطاقة لا تُخلق من العدم ولا تفنى، بل تنتقل بين صور مختلفة



.بوصفه وسيطًا تستخدمه الخلية ATPتبدأ سلسلة التحولات من الطاقة الكيميائية في المغذيات، وتصل إلى

التحول يصاحبه تشتت :القانون الثاني

- في كل تحول، لا تبقى الطاقة كلها قابلة لإنجاز شغل منظم.
- يتبدد جزء من الطاقة غالبًا على هيئة حرارة، وترتفع الإنتروبيا.
- حتى الأداء الرياضي المتقدم لا يحول الطاقة الكيميائية إلى شغل عضلي بكفاءة كاملة.
- ارتفاع شدة الجهد يسرّع الأيض وإعادة تخليقATP، ويزيد إنتاج الحرارة.

الجزء القابل للتوظيف :الطاقة الحرة

.الطاقة الحرة لغيبس تقدّر الجزء القابل للاستثمار في ظروف النظام .الطاقة الكلية لا تساوي الطاقة المتاحة لإنجاز شغل

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

ΔG: الطاقة الحرة| ΔH: المحتوى الحراري| TΔS: أثر الإنتروبيا ودرجة الحرارة

.في الجهد البدني، تتحدد قيمة الطاقة بقدرة العضلة على اقتران التفاعلات الأيضية بالشغل المنظم

التفاعلات الطاردة والماصة للطاقة

وجه المقارنة	طارد للطاقة	ماص للطاقة
اتجاه الطاقة الحرة	تنخفض	ترتفع
الأثر	تحرير طاقة	يتطلب إدخال طاقة
مثال وظيفي	تحللATP	إعادة تكوينATP

يحتاج إلى اقتران تفاعل ماص للطاقة بمصدر طاقة مناسب تكوينATP.

وسيط فوري لنقل الطاقة: ATP

- يربط ATP بين المسارات الأيضية والعمليات التي تحتاج إلى طاقة داخل الخلية.
- يوفر الطاقة لانفصال جسور الأكتين والميوسين وإعادة تهيئتها لدورة انقباض جديدة.
- البوتاسيوم–يسهم في تشغيل مضخات الكالسيوم والصوديوم.
- مخزونه العضلي محدود جدًا، ويكفي بضع ثوانٍ من العمل الأقصى بحسب الملف.

واقترانه بالعمل العضلي ATPتحلل

$$ATP + H_2O \rightarrow ADP + Pi + \text{طاقة حرة}$$

تتحرر طاقة كيميائية عند التحلل، ثم تقترن بعمليات خلوية تحتاج إلى طاقة.

- دورة الجسور العرضية
- ضخ الأيونات والكالسيوم
- استعادة الاتزان الخلوي

أهم من مخزونه اللحظي ATPمعدل دوران

معدل الدوران هو سرعة تحلل ATPأثناء النشاط على تركيزه للمحافظة على تخليقه وإعادة.



اتزان مستمر بين الاستهلاك والإمداد

إذا تجاوز الاستهلاك قدرة إعادة التخليق على المواكبة، تتراجع القدرة على استمرار الأداء.

نظم الطاقة تعمل بالتداخل والتكامل

.تسهم النظم الفوسفاجينية واللاهوائية والهوائية معًا، وتتغير درجة مساهمة كل منها حسب متطلبات الجهد

النظام الفوسفاتي
أسرع إمداد

النظام اللاهوائي
إسهام سريع

النظام الهوائي
دعم الاستمرار

تداخل وظيفي مستمر، لا تعاقب منفصل بين الأنظمة

تتغير مساهمة نظم الطاقة مع طبيعة الجهد

جهد أطول وأقل شدة	جهد متواصل عالي الشدة	جهد قصير جدًا وعالي الشدة
تزداد أهمية الإمداد الهوائي	تزداد مساهمة التحلل اللاهوائي	سيادة نسبية للمسار الفوسفاتي

هذه أوصاف للسيادة النسبية، بينما يستمر تداخل نظم الطاقة في جميع مراحل الجهد.

ATPحدود إعادة تخليق :الجهد والتعب

- ضمن مجال ضيق، لأن الانخفاض الشديد يهدد وظيفة الخلية ATPيحافظ الجسم على تركيز.
- ، بل قد يرتبط بتراكم نواتج الأيض واضطراب البيئة الخلويةATPالتعب لا يعني بالضرورة نفاد.
- تؤثر الأيونات والحموضة والحرارة في كفاءة الاقتران بين إنتاج الطاقة والشغل.
- تتأثر استمرارية الأداء بقدرة نظم إعادة التخليق على مواكبة سرعة الاستهلاك.

تحسين الإمداد والاستخدام :التكيف التدريبي

- يرفع التدريب نشاط الإنزيمات التي تشارك في تحلل ATP وإعادة تخليقه.
- يحسن قدرة الميتوكوندريا على إنتاج ATP وفق نوع التدريب وحجمه.
- يعزز سرعة نقل الفوسفات عالي الطاقة والتنسيق بين نظم الطاقة.
- يحسن توجيه الطاقة نحو الحركة المطلوبة ويحد من الحركات غير الضرورية.

الكفاءة الطاقية والاقتصاد الحركي

كفاءة الأداء ترتبط بما يتحول إلى شغل مفيد، وبمقدار الطاقة اللازمة لإنجاز الحركة.

تنظيم عصبي وتوقيت القوة

حركة اقتصادية أقل كلفة

أداء وظيفي أكثر كفاءة

تحسن التنسيق والاقتصاد الحركي يرفع الاستفادة من الطاقة المتاحة، ولا يلغي فقدها الحراري.

نموذج تكاملي لفهم الطاقة في الجهد



تفسير الأداء يتطلب ربط مصدر الطاقة بتحولها واستخدامها ومعدل تجديدها وتكيف الجسم معها.

خلاصة المفاهيم الأساسية

- الطاقة في الجسم تدفق متجدد، وليست مخزونًا ساكنًا.
- التحولات تخضع لقوانين الديناميكا الحرارية ويصاحبها تشتت للطاقة.
- يفسران كيف تقترن التفاعلات بالشغل العضلي ATPالطاقة الحرة و.
- وتكامل نظم الطاقة ATPاستمرارية الجهد تعتمد على معدل إعادة تخليق.
- التدريب يحسن تنظيم الإمداد الطاقي واستخدامه وفق متطلبات الأداء.

أسئلة للمناقشة العلمية

- كيف يفسر القانون الثاني للديناميكا الحرارية إنتاج الحرارة أثناء الجهد؟
- ما الذي يضيفه مفهوم الطاقة الحرة إلى قياس الطاقة الكلية؟
- وحده قدرة اللاعب على الاستمرار في الأداء؟ ATPلماذا لا يمثل تركيز
- دون زيادة مخزونه بصورة كبيرة؟ ATPكيف يمكن للتدريب أن يحسن معدل دوران