محاضرات طلبة الدكتوراه

كلية التربية البدنية
وعلوم الرياضة

المحاضرة الرابعة

فسيولوجيا الجهاز العضلي

الأسس البنيوية والوظيفية والتكيفات الناتجة عن التدريب الرياضي

الجزء الثاني

أ.د .محمد توفيق عثمان أغوان

أستاذ فسلجة التدريب الرياضي

العام الدراسي2025–2026

مخرجات التعلم

بنهاية هذا الجزء، يُتوقع من طالب الدكتوراه أن يكون قادرًا على:

- مقارنة خصائص الألياف العضلية وتخصصها الوظيفي وقابليتها للتكيف.
- تفسير تجنيد الألياف وفق شدة الجهد ومبدأ الحجم.
- التمييز بين أنماط العمل العضلي وربطها بالتطبيقات الرياضية.
- ونظم إعادة تخليقه داخل الليفة العضلية ATPشرح دور.
- تحليل تكامل المسارات الأيضية والتنظيم والتكيفات الناتجة عن التدريب.

أسس تصنيف الألياف العضلية

يعتمد التصنيف على نوع الميوسين، وسرعة دورة الجسر العرضي، والخصائص الأيضية ومقاومة التعب.

Type I
بطيئة مؤكسدة

Type IIa
تحللية–سريعة مؤكسدة

Type IIx
سريعة تحللية

تختلف الأنواع في سرعة الانقباض والقوة والقدرة ومقاومة التعب.

Type I الألياف البطيئة

- سرعة انقباض منخفضة ومقاومة عالية للتعب.
- كثافة مرتفعة للميتوكوندريا والميوغلوبين والشعيرات الدموية.
- تعتمد أساسًا على الأيض الهوائي، مع كلفة طاقية أقل نسبيًا.
- تلائم الجهود الطويلة مثل الجري والتحمل والدراجات والسباحة الطويلة.

Type IIaالألياف السريعة

- تجمع بين سرعة الانقباض والقدرة على استخدام المسارات الهوائية واللاهوائية.
- مقاومتها للتعب متوسطة، وتخدم طيفًا واسعًا من الشدات.
- تستجيب للتدريب الهوائي بتحسن الأكسدة، ولتدريب القوة بتحسن الخصائص اللاهوائية.
- تلائم الألعاب الفرقية والجهود المتقطعة التي تتناوب فيها الشدة.

Type IIxالألياف السريعة

- أسرع الألياف انقباضًا والأعلى قدرة على توليد القوة خلال زمن قصير.
- نشاط تحللي مرتفع مع محتوى أقل من الميتوكوندريا والشعيرات الدموية.
- مرتفع ومقاومة التعب منخفضة ATPمعدل استهلاك.
- تسهم بوضوح في العدو السريع والقفز والرمي ورفع الأثقال.

مقارنة التخصص الوظيفي للألياف

الخاصية	Type I	Type IIa	Type IIx
سرعة الانقباض	بطيئة	سريعة متوسطة	سريعة جدًا
النظام السائد	هوائي	هوائي ولاهوائي	تحللي لاهوائي
مقاومة التعب	مرتفعة	متوسطة	منخفضة
التخصص الشائع	تحمل طويل	جهود متقطعة	قوة وقدرة قصوى

تجنيد الألياف والتحول الوظيفي

شدة منخفضة Type I	شدة أعلى Type IIa	جهد أقصى Type IIx

يُجنّد الجسم الألياف تدريجيًا وفق مبدأ الحجم، مع زيادة متطلبات القوة.

- الألياف تعمل بالتداخل، وتتغير نسبة مساهمتها بحسب شدة الأداء.
- التحول الوظيفي الأكثر شيوعًا مع التدريب يكون بين Type IIa وType IIx.
- التحول الكامل بين Type I وType II لدى الإنسان محدود.

أنواع العمل العضلي

سلبي	متساوي السرعة	لامركزي	مركزي	ثابت
Passive	Isokinetic	Eccentric	Concentric	Isometric

يحدد نمط الانقباض طبيعة القوة والحركة والكلفة الفسيولوجية والتطبيق التدريبي.

Isometricالانقباض الثابت

- تنتج العضلة توترًا دون تغير ملحوظ في طولها أو زاوية المفصل.
- رغم غياب الحركة الظاهرة ATPتستمر دورة الجسور العرضية واستهلاك.
- قد يحد الانقباض العالي الشدة من تدفق الدم ويعجّل تراكم نواتج الأيض.
- يستخدم لتطوير الثبات الموضعي والتحكم القوامي وإعادة التأهيل.

Concentricالانقباض المركزي

المقاومة <القوة العضلية

قصر العضلة
وحركة المفصل

يحدث عندما تتغلب القوة العضلية على المقاومة، كما في رفع الوزن أو الدفع أثناء الجري والقفز.

يرتبط بتطوير القوة الديناميكية والقدرة الانفجارية، مع استهلاك طاقي مرتفع نسبيًا.

Eccentricالانقباض اللامركزي

- تنتج العضلة قوة وهي نشطة، لكن الحمل الخارجي يطيلها.
- يمكنها توليد قوة أعلى من المركزي عند مستوى تنشيط مماثل، بكلفة أقل نسبيًا ATP.
- يسهم التيتين في امتصاص الشد وتخزين جزء من الطاقة المرنة.
- التحميل المفاجئ أو غير المتدرج قد يزيد الإجهاد البنيوي والألم العضلي المتأخر.

الانقباض متساوي السرعة والسلبي

متساوي السرعة

تستخدم أجهزة الديناموميتر للقياس .سرعة زاوية ثابتة ومقاومة متكيفة مع القوة والتأهيل.

سلبي

يستخدم .تتغير وضعية العضلة بفعل قوة خارجية دون تنشيط إرادي فعّال للإطالة والمحافظة على المدى الحركي.

اختيار نمط الانقباض حسب الغرض التدريبي

تطبيق شائع	الحركة	طول العضلة	النمط
ثبات وتأهيل	لا توجد	ثابت	**ثابت**
دفع ورفع	مع القوة	يقصر	**مركزي**
هبوط وتباطؤ	كبح وامتصاص	يطول مع النشاط	**لامركزي**
قياس وتأهيل	سرعة ثابتة	يتغير	**متساوي السرعة**
إطالة وتعافٍ	مفروضة	يتغير خارجيًا	**سلبي**

مصدر مباشر للطاقة العضلية :ATP

- في دورة الجسر العرضي وتوليد القوة ATPيستخدم.
- لإعادة الكالسيوم أثناء الاسترخاء ATPإلى SERCAتحتاج مضخات.
- للمحافظة على الاستثارة الغشائية ATPتستخدم مضخات الصوديوم والبوتاسيوم.
- داخل الليفة محدود، لذلك تبدأ مسارات إعادة التخليق بالتزامن مع الجهد ATPمخزون.

ATP–PCrالنظام الفوسفاجيني

$$PCr + ADP \rightleftharpoons ATP + Cr$$

- ويخدم الجهود القصوى القصيرةATPأعلى سرعة لإعادة تخليق.،
- يتوافق مع الانطلاق والقفز ورفع الأثقال.
- يتوافر الأكسجين، وتكتمل تدريجيًا خلال الاستشفاء PCrتتأثر استعادة.

التحلل السكري اللاهوائي

- يعيد تخليق ATP بسرعة عند استمرار الجهد أو ارتفاع شدته.
- العائد الصافي التقريبي: 2 ATP من الغلوكوز و 3 ATP من الغليكوجين.
- يرتبط بجهود تمتد عشرات الثواني إلى نحو دقيقتين بحسب الحمل.
- واضطراب البيئة العضلية في التعب، ولا يفسر اللاكتات التعب وحده H+ يسهم تراكم.

الاستدامة والكفاءة :النظام الهوائي

كربوهيدرات

الميتوكوندريا
وأكسدة الركائز

لفترات طويلة ATP

- ATPيعتمد على أكسدة الكربوهيدرات والدهون لإنتاج.
- استجابته أبطأ نسبيًا، لكنه ذو سعة عالية ويدعم الجهود المستمرة.
- والقدرة التأكسدية والاقتصاد الحركي Type I يرتبط بالألياف.

نظم الطاقة تتكامل منذ بداية الجهد

الأكسدة الهوائية	التحلل السكري	الفوسفاجيني
استمرار وإمداد	دعم الجهد العالي	الأسرع استجابة

تتغير نسب المساهمة بحسب الشدة والمدة ونوع الألياف والحالة التدريبية.

التنظيم الأيضي والتكيف مع التدريب

- في ربط الاستثارة بالأيض Ca^{2+}يشيران إلى الطلب الطاقي، ويسهم AMPو ADP.
- في توازن الأيض والبناء mTORو AMPKينقلان الإلكترونات، وتشارك $FADH_2$و NADH.
- تدريب التحمل يدعم الميتوكوندريا والإنزيمات المؤكسدة واستخدام الدهون.
- وسرعة إعادة التخليق ونشاط التحلل السكري PCrتدريب القوة والقدرة يدعم.
- Type IIaالتدريب المختلط يدعم المرونة الأيضية للألياف.

خلاصة وأسئلة للمناقشة

- كيف يفسر مبدأ الحجم تجنيد الألياف مع تغير شدة الجهد؟
- ما الفرق الوظيفي بين الانقباض المركزي واللامركزي؟
- كيف تتكامل نظم الطاقة في جهد يستمر نحو دقيقة؟
- ما التكيفات المتوقعة من تدريب التحمل مقارنة بتدريب القوة؟
- كيف يفسر نوع الليف العضلي اختلاف الاستجابة للحمل التدريبي؟