محاضرات طلبة الدكتوراه

كلية التربية البدنية
وعلوم الرياضة

المحاضرة الخامسة

# فسيولوجيا الجهاز العضلي

## الأسس البنيوية والوظيفية والتكيفات الناتجة عن التدريب الرياضي

الجزء الثالث

**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:**

- تفسير دور المستقبلات الحسية العضلية في تنظيم الحركة والتوازن.
- التمييز بين التعب المركزي والطرفي وتحليل العوامل المرتبطة بهما.
- مقارنة الاستجابات الحادة والتكيفات المزمنة لأنواع التدريب المختلفة.
- ربط نوع التدريب بتكيفات عصبية أو بنيوية أو أيضية محددة.
- شرح مفهوم المايوكينات ودور العضلة في التأثير الفسيولوجي الجهازي.

# المستقبلات الحسية في العضلة

| الدور الوظيفي | ما يستشعره أساسًا | المستقبل |
| --- | --- | --- |
| تنظيم الاستجابة للتمدد والتنسيق | طول العضلة وسرعة تغيره | **مغازل العضلات** |
| المساهمة في ضبط القوة والتوتر | التوتر في الوتر | **أعضاء وتر جولجي** |

**تُرسل هذه المعلومات إلى الجهاز العصبي للمساعدة في تنظيم الحركة والاستجابة للحمل.**

# استشعار التمدد :مغازل العضلات

تمدد العضلة

إشارة حسية إلى CNS

تعديل الاستجابة الحركية

- توجد داخل العضلة وتستجيب لطولها وتغيره.
- تسهم في منع التمدد المفرط وفي ضبط الحركات الدقيقة.
- تدعم التحكم العصبي العضلي في التوازن والحركات الديناميكية.

# استشعار التوتر :أعضاء وتر جولجي

ارتفاع التوتر

إشارة حسية إلى CNS

تعديل التنشيط العضلي

- تفعّ عند اتصال الوتر بالعضلة وتستجيب للتوتر الناتج عن الانقباض أو الحمل.
- تسهم في تنظيم القوة والاستجابة الوقائية عند ارتفاع التوتر.
- تعمل بالتكامل مع المغازل، ولا تُفهم وظيفتها بمعزل عن سياق الحركة.

# التعب العضلي ظاهرة متعددة المستويات

**انخفاض عابر في القدرة على إنتاج القوة أو المحافظة عليها، ينشأ من تفاعل عوامل عصبية وطرفية وأيضية وتنظيمية.**

الجهاز العصبي

البيئة الأيضية

الانقباض العضلي

التعب يغير مستوى الأداء وقد يعمل كإشارة تنظيمية تحد من الإجهاد المفرط.

# التعب المركزي والتعب الطرفي

| الخاصية | مركزي | طرفي |
| --- | --- | --- |
| **موقع المنشأ** | الجهاز العصبي المركزي | العضلة والليفة العضلية |
| **مظاهر مرتبطة** | انخفاض التنشيط والإحساس بالجهد | تغيرات أيونية وأيضية واضطراب الانقباض |
| **سياق شائع** | الجهود الطويلة أو المتكررة | الجهود العالية الشدة |

# العوامل الطرفية المرتبطة بالتعب

- ويؤثر في نشاط الإنزيمات وحساسية التروبونين للكالسيوم pHقد يخفض H+تراكم.
- قد يعيق دورة الجسر العرضي وإعادة ضخ الكالسيوم Piارتفاع الفوسفات غير العضوي.
- يؤثر في القوة والاسترخاء SERCAأو إعادة ضخه عبر $Ca^{2+}$اضطراب إطلاق.
- قد يحدان من استمرار الأداء $Na^{+}/K^{+}$واضطراب توازن PCrانخفاض.

# نوع الألياف يغير نمط التعب

**Type I**

أكسدة هوائية وكفاءة عالية ومقاومة مرتفعة للتعب.

**Type IIx**

تحلل سريع وكلفة أعلى لإنتاج القوة وتعب أسرع نسبيًا.

**يختلف النمط بين التحمل والسرعة والقوة والألعاب المتقطعة.**

# الاستجابة الحادة والتكيف المزمن

| الجانب | استجابة حادة | تكيف مزمن |
|---|---|---|
| **الزمن** | أثناء الجهد أو بعده مباشرة | أسابيع أو أشهر من التدريب |
| **طبيعة التغير** | وظيفي ومؤقت | بنيوي ووظيفي أكثر استقرارًا |
| **أمثلة** | زيادة تدفق الدم و $Ca^{2+}$ | زيادة الإنزيمات أو مساحة المقطع العرضي |
| **القيمة** | إشارة أولية للتكيف | تحسن مستمر في الأداء |

# تدريب التحمل الهوائي

- يرفع كثافة الميتوكوندريا ونشاط الإنزيمات المؤكسدة مع التدريب المنتظم.
- يحسن أكسدة الدهون والاقتصاد العضلي ويؤخر الاعتماد على التحلل السكري.
- يدعم أداءً مستمرًا عند كلفة طاقية أقل للشغل نفسه.
- وفعاليات التحمل Type I تظهر هذه التكيفات بوضوح في الألياف.

# تدريب القوة القصوى

**الأسابيع الأولى**

تجنيد الوحدات الحركية عالية العتبة، وتحسن ترميز التردد والتزامن العصبي.

**مع الاستمرار**

تضخم عضلي وزيادة مساحة المقطع العرضي للألياف مع استمرار المساهمة العصبية.

**يفسر التسلسل العصبي ثم البنيوي جانبًا من تطور القوة مع التدريب.**

# تدريب القدرة والجهد المتقطع

- تدريب القدرة يركز على سرعة إنتاج القوة وتوقيت التجنيد العصبي.
- التقصير الأداء الانفجاري–تدعم الانقباضات اللامركزية ودورة المط.
- التدريب اللاهوائي المتقطع يحسن نشاط التحلل السكري وإعادة تخليقPCr.
- في التكيف مع تغير الشدة بين فترات العمل والراحة Type IIaتسهم الألياف.

# التدريب اللامركزي والتكيف البنيوي

- قد يصاحب الجهد الحاد إجهاد أو ضرر عضلي دقيق، خاصة عند التحميل المفاجئ.
- يسهم التدرج التدريبي في زيادة القوة وتحسين تحمل المكونات البنيوية.
- تنتج العضلة قوة مرتفعة بكلفة طاقية أقل نسبيًا من الانقباض المركزي.
- يستخدم في بناء القوة والتحكم في التباطؤ والتأهيل وفق جرعة مناسبة.

# التكيف السائد حسب نوع التدريب

| الألياف والسياق | التكيف الأبرز | نوع التدريب |
|---|---|---|
| الأداء المطول، Type I | ميتوكوندريا وأكسدة دهون | **تحمل هوائي** |
| رفع الأثقال، Type II | تجنيد عصبي وتضخم | **قوة قصوى** |
| القفز والسرعة | سرعة إنتاج القوة | **قدرة** |
| الألعاب الفرقية، Type IIa | PCrمرونة أيضية وإعادة | **متقطع لاهوائي** |
| كبح الحركة والتأهيل | قوة بنيوية وتحكم | **لامركزي** |

# العضلة كغدة صماء

تفرز العضلة النشطة جزيئات إشارية تسمى مايوكينات، وتربط الانقباض العضلي باستجابات أيضية وتنظيمية في أنسجة أخرى.

انقباض عضلي

إشارات خلوية
وإفراز مايوكينات

تأثيرات جهازية

**قد تعمل الإشارات موضعيًا أو مجاورًا أو عبر الدورة الدموية.**

# إشارات الانقباض وإفراز المايوكينات

- مع الانقباض وتزداد متطلبات الطاقة AMP/ATP وتوازن $Ca^{2+}$ يتغير.
- في تنظيم الاستجابة الأيضية والتعبير الجيني AMPK تشارك مسارات مثل.
- نوع الجهد ومدته وشدته ونمط الألياف تؤثر في نمط الإشارات والإفراز.
- ترتبط المايوكينات العضلة بالكبد والنسيج الدهني والدماغ والمناعة.

# مايوكينات مرتبطة باستجابات التدريب

| المايوكين | ارتباط وظيفي كما يعرضه الملف |
| --- | --- |
| **IL-6 العضلي** | تعبئة الغلوكوز وأكسدة الدهون وتنظيم الالتهاب |
| **Irisin** | مرتبط باستجابات التحمل وتنظيم النسيج الدهني |
| **BDNF** | اللدونة العصبية والتعلم والتحكم الحركي |
| **Myostatin وIL-15** | تنظيم نمو العضلة وكتلتها |

تختلف الاستجابات باختلاف نوع التدريب، وبعض الآليات ما زالت قيد البحث.

# التدريب وتأثيراته خارج العضلة




يمثل هذا التواصل أحد التفسيرات لتأثير النشاط البدني في الأيض والوظائف العصبية والصحة العامة.

# خلاصة وأسئلة للمناقشة

- كيف يختلف ما تستشعره مغازل العضلات عما تستشعره أعضاء وتر جولجي؟
- ما الأدلة الفسيولوجية التي تميز التعب المركزي عن الطرفي؟
- كيف يختلف تكيف العضلة مع التحمل عن تكيفها مع القوة والقدرة؟
- كيف ينتقل التدريب من استجابة حادة إلى تكيف عضلي مزمن؟
- ما الذي يضيفه مفهوم المايوكينات إلى فهم دور العضلة في الجسم؟