# العضلات الهيكلية (التشريح والوظيفة)

**تُعد العضلات الهيكلية من أهم مكونات الجهاز الحركي في جسم الإنسان، إذ تمثل الوسيلة الأساسية لإنتاج الحركة وتحقيق الأداء الرياضي. ولا تعمل العضلة بصورة مستقلة، بل تخضع لتنظيم دقيق من قبل الجهاز العصبي، حيث يتم نقل الإشارات العصبية إلى الألياف العضلية لتحفيزها على الانقباض.**

**وعليه، فإن فهم العلاقة بين الجهاز العصبي والعضلي وآلية الانقباض يُعد أساساً مهماً لدراسة الأداء الحركي والتكيفات الناتجة عن التدريب الرياضي.**

* **تشريح العضلة الهيكلية:** يمتاز تركيب العضلة الهيكلية بتنظيم بنيوي هرمي يبدأ من العضلة الكاملة وينتهي بالمكونات الدقيقة داخل الخلية العضلية، سوف نوضح كما هو ظاهر في الشكل (٣) ما هي اهم التراكيب الداخلة في تكوين العضلة الهيكلية كما يلي:

١. **العضلة الكاملة (Whole Muscle):** العضلة الكاملة هي العضو العضلي الذي يمكن رؤيته بالعين المجردة، وتتكون من عدد كبير من الحزم العضلية وترتبط العضلة بالعظام بواسطة الأوتار (Tendons) التي تعمل على نقل القوة الناتجة من الانقباض العضلي إلى العظام، مما يؤدي إلى حدوث الحركة في المفاصل.

❖ **الأهمية الوظيفية لها في الرياضة:** تعتمد القوة العضلية بدرجة كبيرة على المساحة المقطعية للعضلة؛ فكلما زادت مساحة المقطع العرضي للعضلة زادت قدرتها على إنتاج القوة، وهو ما يحدث لدى الرياضيين نتيجة التدريب البدني المنتظم.

٢. **الحزم العضلية:** تتكون العضلة من عدة حزم عضلية، وكل حزمة تضم عدداً كبيراً من الألياف العضلية.

❖ **الأهمية الوظيفية:**

أ. تنظيم الألياف العضلية داخل العضلة.

ب. توزيع القوة الناتجة عن الانقباض.

ت. السماح بمرور الأوعية الدموية والأعصاب.

٣. **الألياف العضلية:** الليفة العضلية تمثل الخلية العضلية وهي الوحدة الأساسية المكونة للعضلة.

❖ **خصائص الألياف العضلية:**

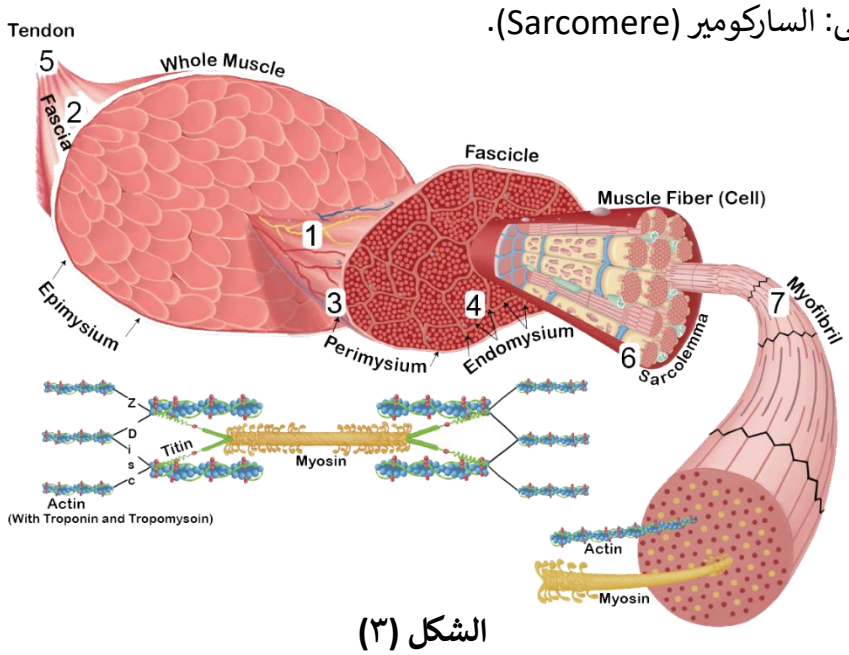
أ. طويلة اسطوانية الشكل.

ب. متعددة الأنوية.

ت. تحتوي على كمية كبيرة من الميتوكوندريا.

ث. تحتوي على الليفات العضلية المسؤولة عن الانقباض.

٤. **الليفات العضلية:** تحتوي كل ليفة عضلية على عدد كبير من الليفات العضلية، وهي تراكيب دقيقة تمتد بطول الليفة العضلية وتتكون الليفات العضلية من وحدات متكررة تسمى: الساركومير (Sarcomere).



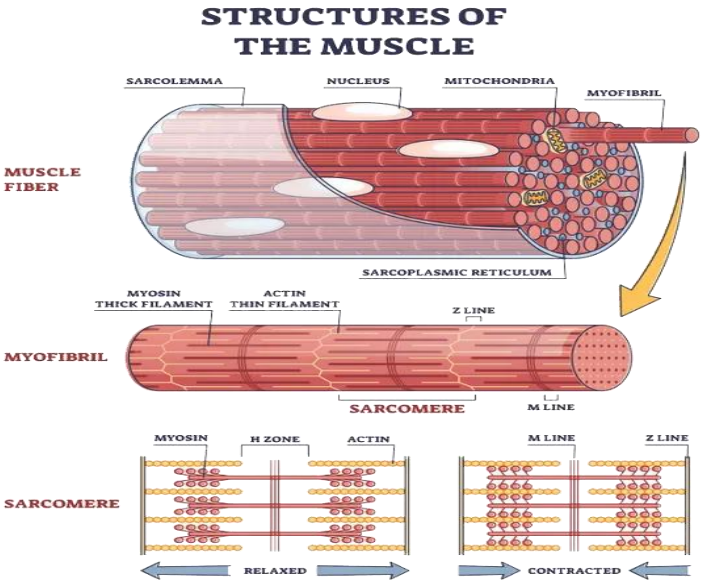

**الشكل (٣)**

٥. **الساركومير (Sarcomere):** الساركومير هو الوحدة الوظيفية المسؤولة عن الانقباض العضلي ويتكون من التراكيب الانقباضية المتمثلة بخيوط بروتينية دقيقة كما موضح بالشكل (٤) وهي:

**أ. الأكتين (Actin).**

**ب. المايوسين (Myosin).**

**ويؤدي تفاعل هذه الخيوط إلى تقصّر الساركومير أثناء الانقباض مما يؤدي إلى تقصّر العضلة وإنتاج القوة العضلية.**




**الشكل (٤)**

* **التراكيب الانقباضية:** التراكيب الانقباضية هي البروتينات والخيوط الدقيقة الموجودة داخل الليفات العضلية والمسؤولة عن إحداث عملية الانقباض العضلي من خلال تفاعلها وانزلاقها فوق بعضها البعض داخل الساركومير، كما موضح بالشكل (٥).
* **أنواع التراكيب الانقباضية:**

أ. **الأكتين (Actin):** اهو بروتين انقباضي دقيق يشكل الخيوط الرفيعة داخل الساركومير في الليفات العضلية، ويعمل مع بروتين المايوسين لإحداث عملية الانقباض العضلي من خلال انزلاق خيوطه فوق خيوط المايوسين أثناء تقلص العضلة.

❖ **خصائص الاكتين:**

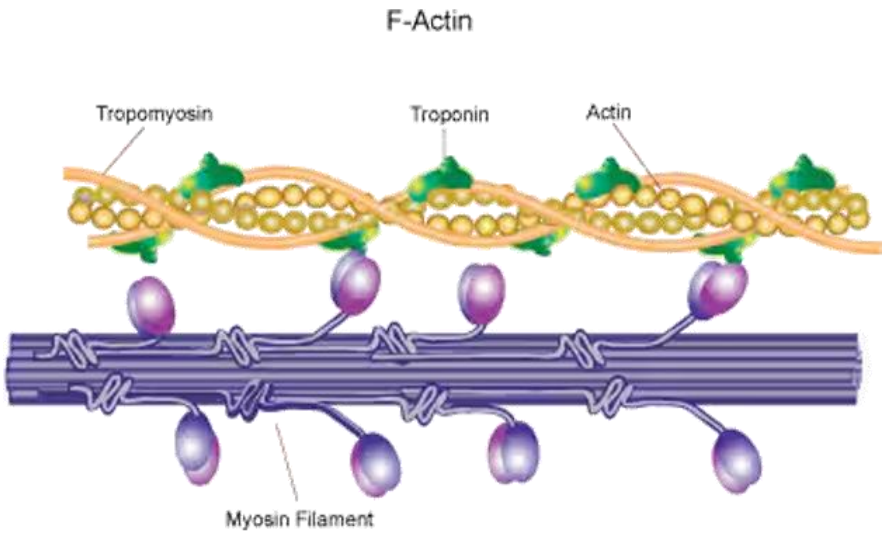
١. يمثل الخيوط الرفيعة (Thin Filaments) في الساركومير.
٢. يرتبط بخط Z في الساركومير كما هو موضح في الشكل (٤).
٣. يتفاعل مع رؤوس المايوسين أثناء الانقباض العضلي.
٤. يشارك في تكوين التخطيط المميز للعضلة الهيكلية.

**ب. المايوسين (Myosin):** هو بروتين انقباضي يشكل الخيوط السميكة داخل الساركومير في الليفات العضلية، ويتميز بوجود رؤوس بروتينية قادرة على الارتباط بخيوط الأكتين وإنتاج القوة اللازمة للانقباض العضلي.

❖ **خصائص المايوسين:**

١. يمثل الخيوط السميكة (Thick Filaments) في الساركومير.
٢. يمتلك رؤوساً بروتينية متحركة تسمى Cross Bridges كما هو موضح في الشكل (٥).
٣. يحتوي على نشاط إنزيمي يساعد في تحليل ATP لإنتاج الطاقة.
٤. يتفاعل مع خيوط الأكتين أثناء الانقباض العضلي.

الأكتين يمثل الخيوط الرفيعة، والمايوسين يمثل الخيوط السميكة، وتفاعل هذين البروتينين هو الأساس الذي يفسر عملية الانقباض العضلي، كما هو موضح بالشكل (٥)




**الشكل (٥)**

* **أنواع الالياف العضلية:**

**تُصنَّف الألياف العضلية الهيكلية وفقًا لسرعة الانقباض والخصائص الأيضية (البيوكيميائية) إلى ثلاثة أنواع رئيسية:**

**أ. الألياف بطيئة الانقباض (Slow Twitch - Type I):**

❖ **الخصائص:**

١. سرعة انقباضها بطيئة نسبيًا.
٢. تعتمد على النظام الهوائي (Aerobic System) لإنتاج الطاقة.
٣. غنية جدًا بالميتوكوندريا والأوعية الدموية والمايوغلوبين (Myoglobin)، ما يعطيها اللون الأحمر الداكن.
٤. تحتوي على إنزيمات هوائية بشكل كبير.
٥. قدرتها عالية على مقاومة التعب العضلي.

❖ **الوظيفة:**

مثالية للأنشطة التي تستغرق وقتًا طويلاً أو المتوسطة الشدة، مثل الركض الطويل، ركوب الدراجة لفترات طويلة.

**ب. الألياف سريعة الانقباض الغلايكوليتية (Fast Twitch Glycolytic - Type IIb)**

❖ **الخصائص:**

١. سرعة وقوة انقباضها عالية جدًا.
٢. تعتمد على النظام اللاهوائي (Anaerobic Glycolysis) في توفير الطاقة.
٣. تحتوي على كمية أقل من الميتوكوندريا والمايوغلوبين (لذا يكون لونها فاتحًا أو أبيض).
٤. غنية بالإنزيمات الغلايكوليتية (Glycolytic Enzymes).
٥. قدرة منخفضة على مقاومة التعب (تتعب بسرعة).

❖ **الوظيفة:**

مناسبة للأنشطة القصيرة والقوية والسريعة مثل الركض السريع (١٠٠م)، والقفز، ورفع الأثقال بأوزان ثقيلة.

**ت. الألياف سريعة الانقباض التأكسدية (Fast Twitch Oxidative - Type IIa):**

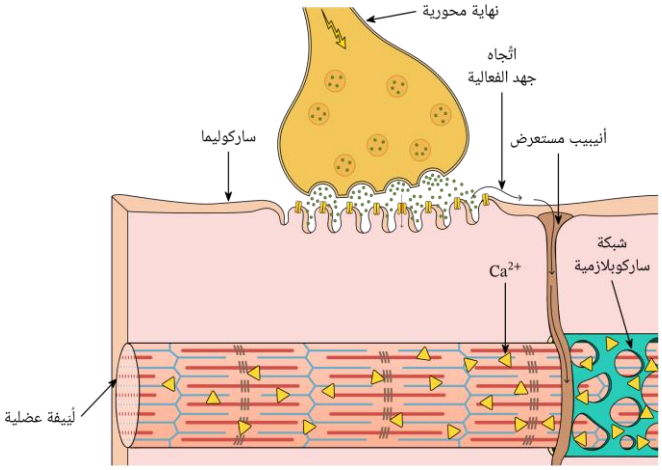
❖ **الخصائص:**

١. سرعة انقباضها عالية.
٢. تتميز بقدرتها على استخدام مصادر الطاقة الهوائية واللاهوائية، لذا تسمى "متوسطة".
٣. تحتوي على كمية جيدة من الميتوكوندريا والمايوغلوبين (لون وردي متوسط).
٤. تتمتع بقدرة جيدة على مقاومة التعب مقارنة بالألياف من النوع Type IIb .

❖ **الوظيفة:**

تناسب الأنشطة المتوسطة المدة والكثافة، مثل الركض لمسافات متوسطة (٤٠٠-٨٠٠ متر)، وتمارين القوة المتوسطة.

* **منطقة الاتصال العصبي العضلي (Neuromuscular Junction):** هو المكان الذي تلتقي فيه نهاية العصب الحركي (Motor neuron) مع الألياف العضلية الهيكلية، يُعتبر نقطة أساسية لنقل الإشارة العصبية التي تؤدي إلى حدوث الانقباض العضلي.
* **العمل الوظيفي داخل منطقة الاتصال العصبي العضلي**: ان عملية اكمال نقل الايعاز العصبي الوارد من الجهاز العصبي الى العضلة الهيكيلة العاملة يتم في منطقة الشق التشابكي عبر عملية إفراز ناقل كيميائي يُعرف بـ"الأستيل كولين"، والذي يؤدي إلى إزالة الاستقطاب في غشاء الليفة العضلية، مما يسمح بدخول أيونات الكالسيوم ($Ca^{2+}$) إلى داخل الخلية العضلية، وهو ما يُعد شرطاً أساسياً لبدء عملية الانقباض ويؤدي أي خلل في هذا الاتصال إلى ضعف الاستجابة العضلية، وهو ما يُلاحظ في حالات التعب أو الإجهاد العصبي، كما موضح في الشكل (٥).




**الشكل (٥)**

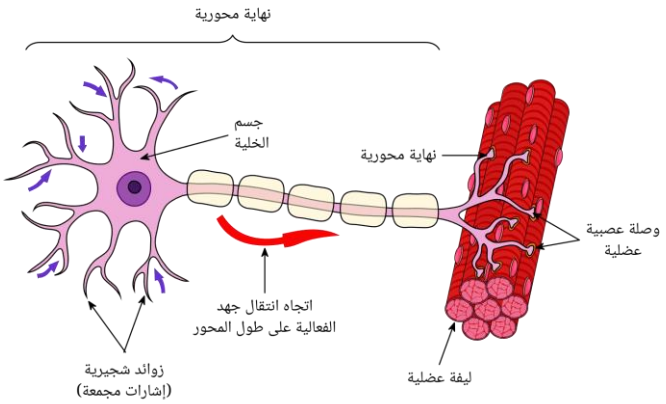
* **الوحدة الحركية (Motor Unit):** الوحدة الوظيفية الأساسية للجهاز العصبي العضلي، تتكون من عصبون حركي واحد (Motor neuron) وجميع الألياف العضلية ( Muscle fibers) التي يُغذيها أو يتحكم بها، تُعتبر الوحدة الحركية أصغر وحدة عضلية يمكن تحفيزها لانقباض العضلة.

وتختلف الوحدات الحركية من حيث الحجم والوظيفة، إذ تكون صغيرة في العضلات التي تتطلب دقة عالية في الأداء مثل عضلات العين، بينما تكون كبيرة في العضلات التي تتطلب إنتاج قوة كبيرة مثل عضلات الفخذ **وتزداد القوة العضلية بزيادة عدد الوحدات الحركية المشاركة في الانقباض، وهو ما يُعرف بعملية "تجنيد الوحدات الحركية".**

**تركيب الوحدة الحركية:**

١. **العصبون الحركي (Motor Neuron):** خلية عصبية وظيفتها إيصال الإشارات العصبية من الجهاز العصبي المركزي (الدماغ والنخاع الشوكي) إلى العضلة، يتميز محور العصبون (Axon) بأنه طويل ويمتد نحو العضلات.
٢. **الألياف العضلية (Muscle Fibers):** كل عصبون حركي يغذي عدداً معيناً من الألياف العضلية.

- **قد يكون العدد قليلاً (مثل ١٠-٢٠ ليفاً) في العضلات المسؤولة عن الحركات الدقيقة (مثل عضلات العين أو الأصابع).**
- **قد يكون العدد كبيراً جداً (مثل مئات الألياف) في العضلات المسؤولة عن حركات قوية وعامة (مثل عضلات الساقين).**




الشكل (٦)

* **النظرية الانزلاقية (Sliding Filament Theory):**

تُعد النظرية الانزلاقية الأساس العلمي الذي يفسر آلية الانقباض العضلي في العضلات الهيكلية، إذ توضح كيفية توليد القوة من خلال التفاعل المنظم بين الخيوط البروتينية داخل الساركومير، الانقباض العضلي لا يحدث نتيجة تقصير الخيوط البروتينية، بل نتيجة انزلاق خيوط الأكتين فوق خيوط المايوسين، مما يؤدي إلى تقصير الساركومير.

**تمر عملية الانقباض العضلي كما موضح بالشكل (٧) بعدة مراحل متتابعة يمكن تلخيصها كما يأتي:**

١. **مرحلة التنبيه (Excitation):**

تبدأ العملية بوصول السيال العصبي إلى الليفة العضلية، مما يؤدي إلى إفراز الأستيل كولين وحدوث إزالة الاستقطاب في غشاء الخلية العضلية.

**٢. مرحلة اقتران التنبيه بالانقباض (Excitation–Contraction Coupling):**

يؤدي التنبيه إلى إطلاق أيونات الكالسيوم ($Ca^{+2}$) من الشبكة الساركوبلازمية، حيث ترتبط هذه الأيونات ببروتين التروبونين، مما يؤدي إلى إزاحة التروبوميوسين وكشف مواقع الارتباط على خيوط الأكتين.

**٣. تكوين الجسور العرضية (Cross-Bridge Formation):**

ترتبط رؤوس المايوسين بمواقعها على الأكتين، مكوّنة جسوراً عرضية بين الخيوط.

**٤. ضربة القوة (Power Stroke):**

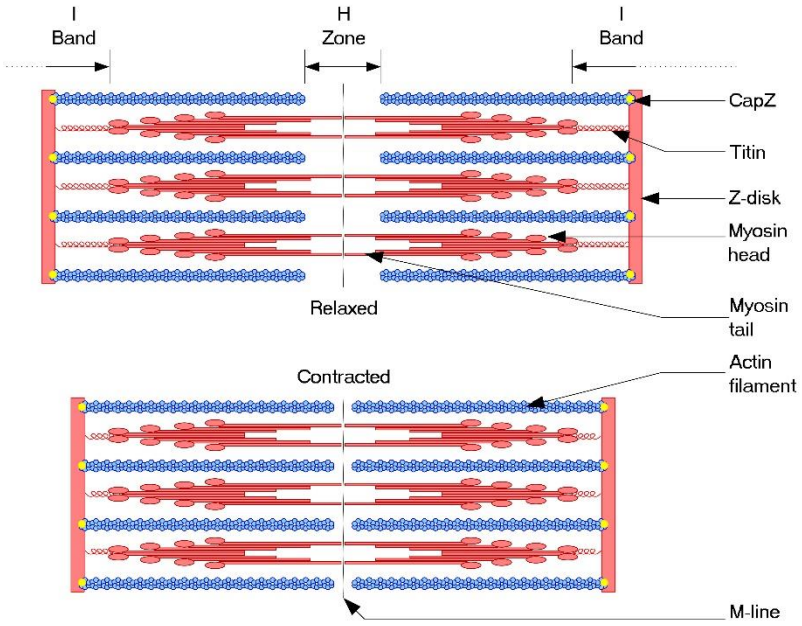
تقوم رؤوس المايوسين بسحب خيوط الأكتين نحو مركز الساركومير، مما يؤدي إلى تقصير المسافة بين خطوط Z، وهو ما يمثل الانقباض الفعلي.

**٥. الانفصال وإعادة الشحن (Detachment & Reactivation)**

ترتبط جزيئات ATP برؤوس المايوسين، مما يؤدي إلى انفصالها عن الأكتين، ثم يتم تحليل ATP لإعادة تنشيط الرأس واستعداده لدورة جديدة.

**٦. الاسترخاء (Relaxation)**

عند توقف الإشارة العصبية، يتم ضخ الكالسيوم مرة أخرى إلى داخل الشبكة الساركوبلازمية، مما يؤدي إلى إخفاء مواقع الارتباط على الأكتين وعودة العضلة إلى وضعها الطبيعي.




**شكل (٧)**

* **أنواع الانقباض العضلي:**

**تنقسم الانقباضات العضلية إلى عدة أنواع رئيسية، وهي:**

١. **الانقباض المتحرك (Isotonic Contraction)**

**ويحدث عندما يتغير طول العضلة أثناء الانقباض، وينقسم إلى:**

أ. **الانقباض المركزي (Concentric): حيث تقصر العضلة أثناء إنتاج القوة، كما في رفع الأوزان.**

ب. **الانقباض اللامركزي (Eccentric): حيث تطول العضلة تحت تأثير مقاومة خارجية، كما في إنزال الوزن.**

٢. **الانقباض الثابت (Isometric Contraction)**

ويحدث عندما تتولد قوة عضلية دون تغير في طول العضلة، كما في حالات تثبيت الأوضاع.

ويُعد الانقباض اللامركزي من أكثر الأنواع ارتباطاً بحدوث الإصابات العضلية نتيجة الشد العالي الواقع على الألياف العضلية.

* **تأثير التدريب الرياضي على العضلات:**

يؤدي التدريب الرياضي إلى مجموعة من التغيرات الفسيولوجية المهمة في العضلات، تختلف باختلاف نوع التدريب، ومن أبرزها:

١. **التدريب الهوائي (Aerobic Training):**

يُحسن من قدرة العضلات على استخدام الأوكسجين، ويزيد من عدد الميتوكوندريا وكفاءة الجهاز الدوري التنفسي، مما يساهم في تحسين التحمل.

٢. **تدريب المقاومة (Resistance Training)**

يؤدي إلى زيادة حجم الألياف العضلية (التضخم العضلي)، وزيادة القوة من خلال تحسين كفاءة الخيوط البروتينية داخل العضلة.

٣. **التدريب اللاهوائي (Anaerobic Training):**

يُسهم في تحسين القدرة على إنتاج الطاقة دون الحاجة إلى الأوكسجين، ويزيد من تحمل العضلات لتراكم حمض اللاكتيك.

٤. **التدريب المختلط:**

يجمع بين خصائص التدريب الهوائي واللاهوائي، ويُستخدم في الأنشطة التي تتطلب القوة والتحمل معاً مثل الألعاب الجماعية.

* **التكيف العضلي الناتج عن التدريب:**

تظهر على العضلات مجموعة من التكيفات نتيجة التدريب المنتظم، من أهمها:

١. زيادة حجم الألياف العضلية
٢. زيادة عدد الشعيرات الدموية.
٣. تحسين التنسيق العصبي العضلي
٤. زيادة كفاءة استخدام الطاقة
٥. تحول بعض الألياف العضلية نحو خصائص أكثر ملاءمة لنوع النشاط.