النسيج العضلي Muscle Tissue

يقسم النسيج العضلي إلى 3 أنواع:

العضلات الهيكلية Skeletal Muscles:

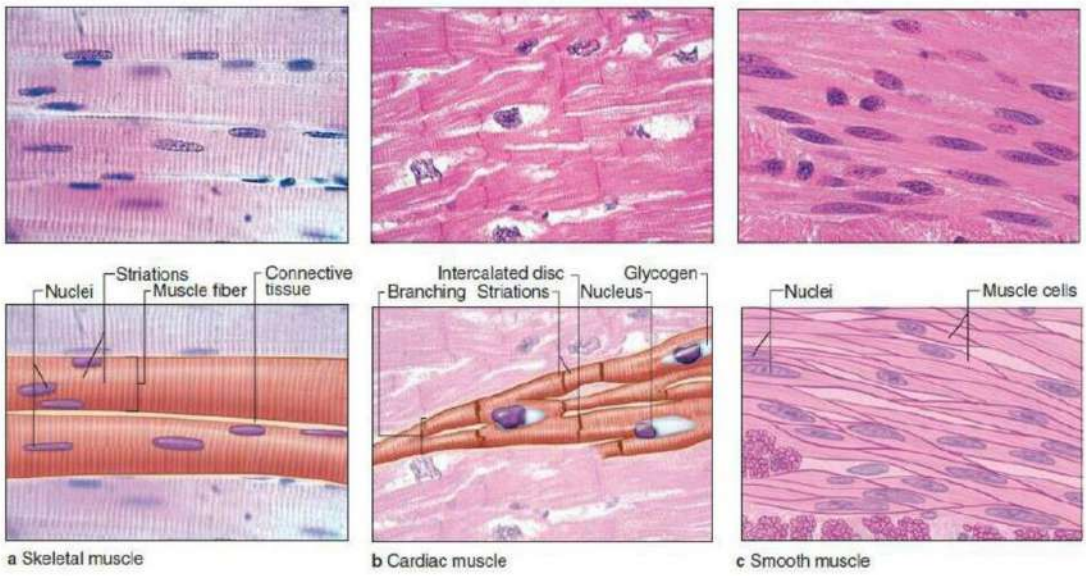
- ✓ مكونة من حزم طويلة جداً، إسطوانية الشكل متعددة النوى، تظهر تخطيطات عريضة.
- ✓ تتقلص بسرعة وقوة وتحت سيطرة إرادية.
- ✓ يحدث التقلص العضلي نتيجة تداخل ألياف الأكتين الرفيعة مع خيوط الميوزين الثخينة الموجودة في العضلات الهيكلية.

العضلة القلبية Cardiac Muscle:

- ✓ تتألف من خلايا مفردة متفرعة، تحوي تخطيطات عرضية تتوضع موازية لبعضها.
- ✓ ترتبط كلا نهايتي كل خلية بالخلايا المجاورة بالأقراص المقحمة (السلمية) Intercalat disks، وهي بنى يقتصر وجودها على العضلة القلبية.
- ✓ لا إرادية التقلص، تتقلص بقوة وبشكل إيقاعي منتظم.

العضلة الملساء Smooth Muscle:

- ✓ تجمعات لخلايا مغزلية، لا تحتوي تخطيطات عرضية.
- ✓ تتقلص ببطء وتحت سيطرة لا إرادية.



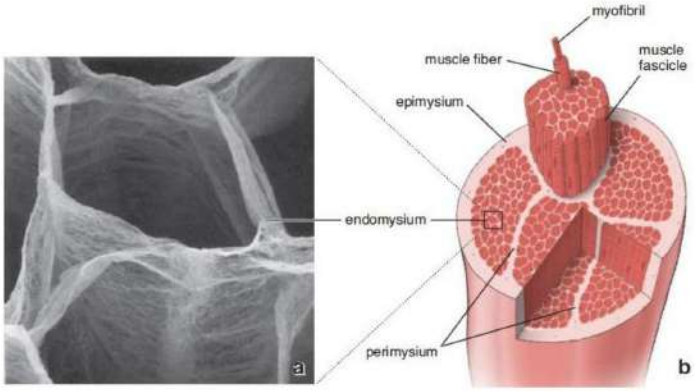
a Skeletal muscle b Cardiac muscle c Smooth muscle

البنية العامة للعضلات الهيكلية (Skeletal Muscle)

- تتكون العضلات الهيكلية من ألياف عضلية تمثل خلايا أسطوانية طويلة جداً **متعددة النوى**.
- يعزى تعدد النوى إلى التحام الأورمات العضلية الجنينية Myoblasts.
- نوى الخلايا العضلية الهيكلية **بيضية** تتوضع في محيط الخلية تحت الغشاء، وهذه الصفة تميز العضلات الهيكلية عن العضلة القلبية والعضلات الملساء التي تحوي نوى مركزية التوضع.
- تتجمع الألياف العضلية بشكل منتظم ضمن حزمة منتظمة.
- يلعب النسيج الضام الموجود في العضلة **دوراً ميكانيكياً** من خلال نقل القوى المتولدة عن تقلص الخلايا العضلية.
- تخترق الأوعية الدموية حواجز النسيج الضام الموجودة في العضلة وتشكل شبكة غزيرة في غمد الليف العضلي.
- كما توجد أيضاً أوعية دموية ولمفاوية وأعصاب في طبقات النسيج الضام الأخرى المتواجدة في العضلة.
- معظم العضلات الهيكلية تستدق في نهايتها، حيث تظهر مكونات النسيج الضام تواصلاً مع الأوتار من خلال الارتباطات العضلية الوترية.

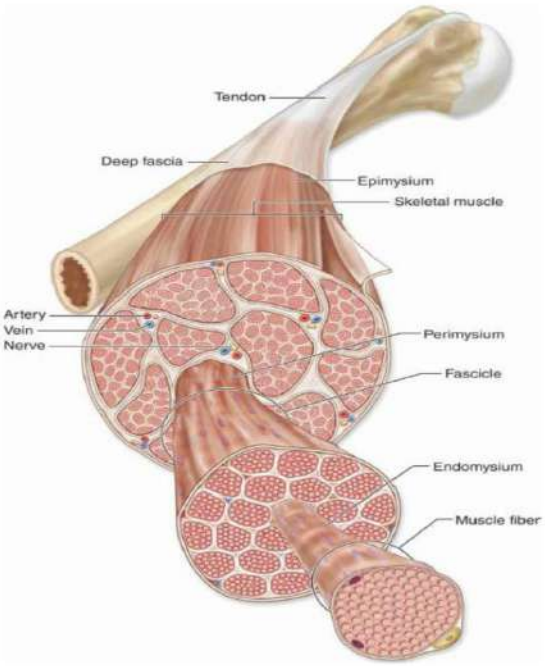
ملاحظات:

- **الارتباطات العضلية الوترية Myotendinous Junctions:** هي انغراس للألياف الكولاجينية في الوتر بين الألياف العضلية، حيث ترتبط بغمد الليف العضلي بطيات معقدة.
- **غمد العضلة Epimysium:** غمد خارجي من نسيج ضام كثيف يحيط بكامل العضلة.
- **غمد الحزمة العضلية Perimysium:** حواجز رقيقة من نسيج ضام تحيط بحزم من الألياف العضلية.
- **غمد الليف العضلي Endomysium:** نسيج ضام رقيق يحيط بكل ليف عضلي.
  - يتكون من:
  - صفيحة قاعدية (تقوم الخلايا العضلية متعددة النوى بتصنيعها) وألياف شبكية وأورمات ليفية.



تطبيق سريري:

عند إجراء تمارين رياضية نلاحظ زيادة في حجم النسيج العضلي وانخفاض في الترسبات الدهنية، تدعى هذه الظاهرة الضخامة النسيجية Hypertrophy.



الألياف العضلية Muscle Fibers

- خلايا أسطوانية طويلة متعددة النوى
- (النوى محيطية التوضع)، تبدي تخطيطات عرضية متناوبة لأشرطة عاتمة A من Anisotropip ونيرة I من Isotropic.
- الليفات العضلية تتوضع موازية لمحور الليف العضلي وهذا الأمر يؤدي إلى تتالي الأشرطة النيرة والعاتمة.

- يعود انتظام أشرطة (A) و(I) في القسيم العضلي بشكل أساسي إلى وجود نمطين من الخيوط العضلية **(ثخينة ورفيعة)**.
- تتداخل الخيوط الثخينة والرفيعة لمسافة معينة في الأشرطة العاتمة، فنلاحظ في المقطع العرضي لمنطقة تداخل الخيوط أن كل خيط سميك محاط بستة خيوط رفيعة على شكل مضلع سداسي.

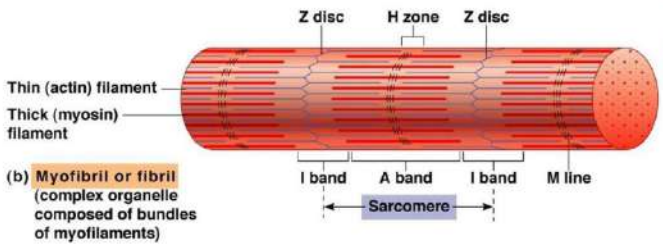
مقارنة بين الأشرطة العاتمة والنيرة

	الأشرطة العاتمة	الأشرطة النيرة
البنية	➢ تتألف من خيوط ثخينة بشكل أساسي. ➢ بالإضافة إلى أجزاء الخيوط الرفيعة المتداخلة مع الثخينة.	➢ تتألف من خيوط رفيعة لا تتداخل مع الخيوط الثخينة.
الخواص	➢ متباينة الخواص، أي تمتلك خاصية انكسار ثنائي للضوء المستقطب.	➢ متماثلة الخواص، أي أنها لا تتغير بالضوء المستقطب.

المنطقة المركزية	➢ في مركز الشريط العاتم توجد منطقة نيرة، تدعى منطقة H مكونة من أجزاء شبه عصوية من جزيئة الميوزين فقط وتخلو من الخيوط الرفيعة.	➢ يتوسط القرص النير I خط عرضي عاتم يدعى الخط Z.

تدعى أصغر وحدة تقلصية وظيفية بين خطي Z بـ (القسيم العضلي Sarcomere).

تُقسم المنطقة H بخط M وهو منطقة اتصال جانبية بين الخيوط الثخينة المتجاورة.



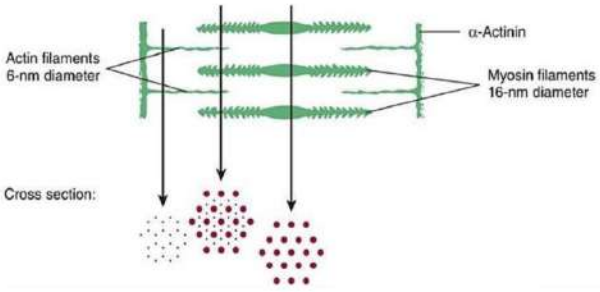
أهم البروتينات الموجودة في الخط M:

↙ **ميوميزين Myomesin:**

❖ بروتين رابط للميوزين، يعمل على تثبيت الخيوط الثخينة في أماكنها.

↙ **بروتين كرياتين كيناز:**

❖ يحفز نقل الفوسفات من فسفور أو فوسفات الكرياتين (مخزن مجموعة الفوسفات عالية الطاقة) إلى الأدينوزين ثنائي الفوسفات لتزويد العضلات بالـATP اللازم من أجل التقلص العضلي.



الخيط الثخين:

- يتكون من مئات الجزيئات من **الميوزين**، وهو:
  - معقد كبير الحجم (وزنه الجزيئي 500 كيلو دالتون).
  - يتألف من سلسلتين ثقيلتين وسلسلتين خفيفتين
  - السلاسل الثقيلة عصوية رفيعة طولها 150 نانومتر، تتكون من سلسلتين ثقيلتين حلقيتين تشكل **ذيول الميوزين**.
  - تشكل البروزات الكروية الصغيرة في نهاية كل سلسلة ثقيلة **رؤوس الميوزين** (أماكن ربط الـ ATp إذ تمتلك فعالية ATPase ولها القدرة على الارتباط مع الأكتين).
  - تنتظم مئات جزيئات الميوزين في كل خيط ثخين بحيث تتداخل رؤوسها الكروية متجهة إلى إحدى النهايتين.

الخيط الرفيع:

- يتألف من الأكتين الخيطي F-actin الذي يرتبط مع التروبوميوزين Tropomyosin، ويشكل مركباً طويلاً يرتبط بدوره مع التروبونين Troponin.

a) الأكتين الخيطي:

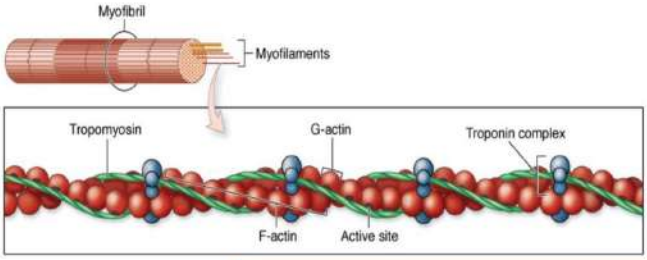
- عبارة عن بوليميرات خيطية طويلة تحوي سلستين من مركبات أحادية (مونوميرات) كروية تدعى **بالأكتين الكروي** تكون ملتفة حول بعضها مشكلة حلزون مزدوج، وكل مونمير أكتين كروي يحوي مكان ارتباط للميوزين.
- تتثبت خيوط الأكتين عمودياً على خيط Z بواسطة **α-أكتينين**.

b) التروبوميوزين:

- تمثل كل وحدة فرعية من التروبوميوزين جزيئة طويلة ورفيعة، تحتوي على سلسلتين من ببتيدين متعددين، تتجمع لتشكل مركبات متعددة تتوضع في الميزاب الموجود بين سلسلتي الأكتين الملتفة.

c) التروبونين:

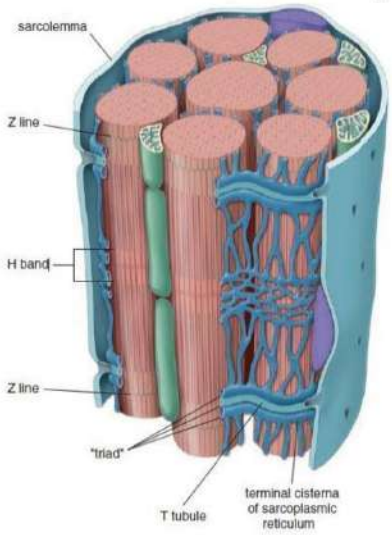
- معقد كروي مكون من ثلاث وحدات فرعية:
  - TnT ترتبط بشدة مع التربوميوزين.
  - TnC ترتبط مع شوارد الكالسيوم.
  - TnI تثبط تداخل الأكتين والميوزين.



الشبكة الهيولية العضلية ومجموعة النبيبات المستعرضة

- تتألف الشبكة الهيولية العضلية Sarcoplasmic Reticulum من صهاريج أو خزانات تختزن شوارد الكالسيوم Ca^{++}.
- عند حدوث إثارة عصبية تؤدي إلى زوال استقطاب.
- ينتشر زوال الاستقطاب الذي بدأ في سطح الخلية إلى أرجاء الخلية وينتج عنه تحرير شوارد الكالسيوم من صهاريج الشبكة الهيولية العضلية.
- تنتشر شوارد الكالسيوم من الصهاريج عبر مستقبلات تعمل كأقنية لشوارد الكالسيوم موجودة على أغشية الشبكة RYR وRIP3.
- وعند انتهاء استقطاب الغشاء تعود الشوارد إلى الشبكة مسببة توقف التقلص العضلي.
- النبيبات المستعرضة T: انغمادات أو انخماصات شبه اصبعية لغشاء الخلية العضلية، تشكل طبقة مغلفة تغلف (تطوق) كل ليف عضلي بالقرب من حدود الأشرطة العاتمة والنيرة في كل قسيم عضلي.

- وعلى جانبي كل نبيب T يوجد صهاريج انتهائية Terminal Cisterna متسعة من الشبكة الهيولية العضلية.
- يُدعى المعقد الخاص المُكوَن من نبيب T وصهريجين صغيرين من الشبكة العضلية بالثالوث Triad، وينتقل زوال الاستقطاب الناشئ في نبيبات T في منطقة الثالوث إلى أغشية الشبكة الهيولية العضلية.



صورة ترسيمية لخلية عضلية، تظهر فيها الشبكة الهيولية العضلية والنبيبات T والثالوث.

آلية التقلص العضلي

في حالة الراحة:

✓ تتكون القسيمات العضلية من تراكب جزئي للخيوط الثخينة والرفيعة.

في حالة التقلص العضلي:

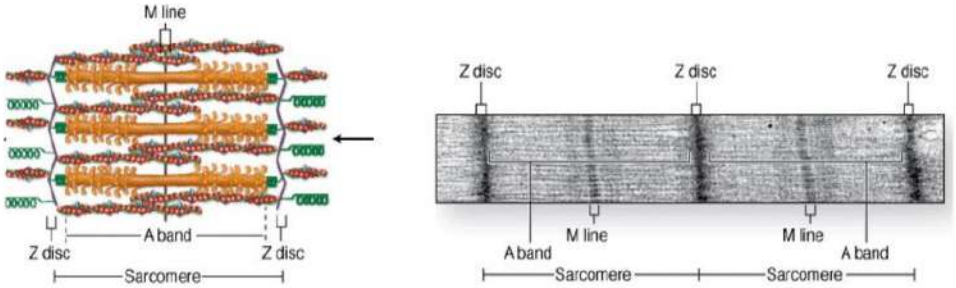
✓ لا يحدث تغير في طول الخيوط وإنما يحدث زيادة في كمية تداخل خيوط الأكتين مع الميوزين الناجم عن انزلاق الخيوط الرفيعة أو الثخينة مع بعضها.

✓ ينقص حجم الأشرطة النيرة I حيث تختفي المنطقة H عندما تخترق الخيوط الرفيعة الخيوط الثخينة بشكل كامل مؤديةً إلى تناقص حجم القسيم العضلي وبالتالي تناقص حجم الليف العضلي بشكل كبير.

✓ عند حدوث الاستثارة العصبية وتحرر شوارد الكالسيوم من الشبكة الهيولية العضلية فإن ارتفاع تركيز شوارد الكالسيوم إلى $(10)^{-7}$ يؤدي إلى ارتباط الكالسيوم مع بروتين رابط للكالسيوم هو الكلاموديلين Calmodulin.

✓ يتثبت الكلاموديلين على معقد التروبوميوزين مؤدياً إلى ارتباط رؤوس الميوزين مع الأكتين، أي حدوث جسور اتصال بين الأكتين والميوزين.

إن ارتخاء العضلات يعني غياب شوارد الكالسيوم، أما تقلص العضلات فيتطلب وجود شوارد الكالسيوم.



تناقص حجم الليف العضلي، واختفاء المنطقة *H* خلال التقلص العضلي

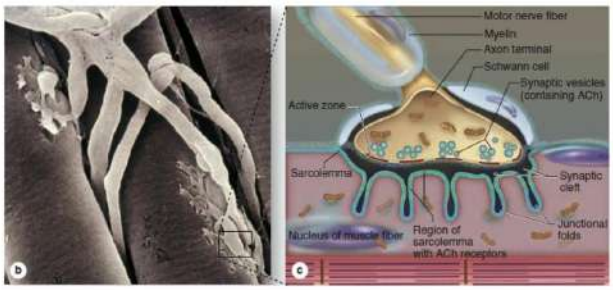
التعصيب واللوحة المحركة

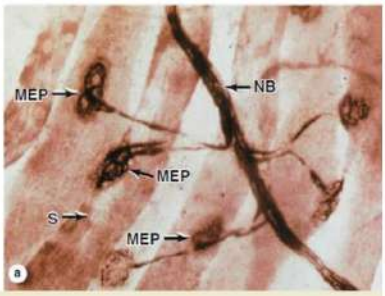
- تتوزع الاعصاب الحركية (المحركة) الميالينية (ذات النخاعين) في غمد الحزمة العضلية.
- يتفرع كل عصب إلى العديد من النهايات التغصنية ويفقد غمده النخاعي في مكان التعصيب.
- كما يشكل نهاية متسعة تتوضع ضمن ميزاب على سطح الخلية العضلية وتعطي **اللوحة المحركة (Motor end-plate)**.
- في هذا المكان يُغطى المحور المعصب (الليف العصبي) بامتداد هيولي من خلية شوان.

عندما يصل كمون العمل إلى اللوحة المحركة يتحرر **الأستيل كولين** من المحور الانتهائي.

- ينتشر الأستيل كولين ضمن الشق المشبكي، ويرتبط مع مستقبلاته الموجودة على سطح غمد الليف العضلي في منطقة الطيات الاتصالية.
- مما يؤدي إلى فتح قنوات الصوديوم في غمد الليف مسبباً **زوال استقطاب الليف**.
- ينتشر الاستقطاب الذي بدأ في اللوحة المحركة على طول سطح الخلية العضلية وأعماق الألياف عن طريق النبيبات T في منطقة الثالوث.
- فتمر الإشارة إلى أغشية الشبكة الهيولية العضلية وتتحرر شوارد الكالسيوم، وبذلك **تبدأ الدورة التقلصية**.
- يستطيع ليف عصبي واحد (محوار عصبي واحد) أن يُعصب ليف عضلي واحد أو بإمكانه أن يتفرع ويعصب (160 أو أكثر) من ليف عضلي.

في حالة التعصيب المتعدد، يدعى الليف العصبي وجميع الألياف العضلية التي يعصبها بالوحدة المحركة Motor Unite.



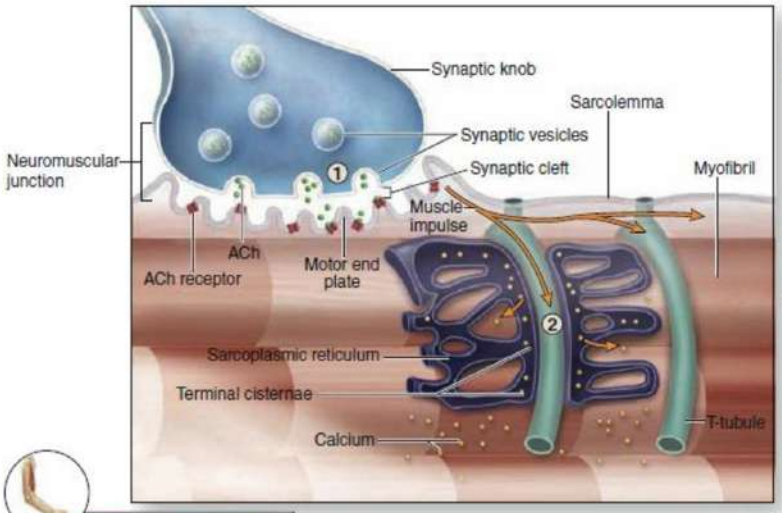


Before it terminates in a skeletal muscle, each motor axon bundled in the nerve forms many branches, each of which forms a synapse with a muscle fiber.

(a) Silver staining can reveal the nerve bundle (**NB**), the terminal axonal twigs, and the motor end plates (**MEP**, also called neuromuscular junctions or NMJ) on striated muscle fibers (**S**). (X1200)

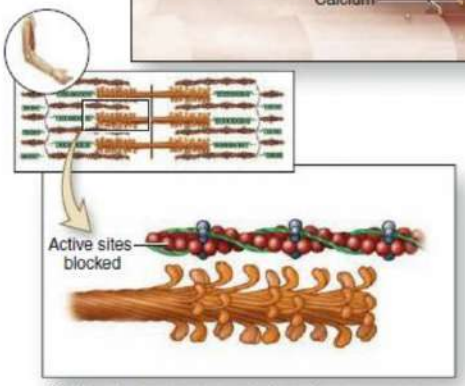
(b) An SEM shows the branching ends of a motor axon, each covered by an extension of the last Schwann cell and expanded terminally as an MEP embedded in a groove in the external lamina of the muscle fiber.

(c) Diagram of enclosed portion of the SEM indicating key features of a typical MEP: synaptic vesicles of acetylcholine (**ACh**), a synaptic cleft, and a postsynaptic membrane. This membrane, the sarcolemma, is highly folded to increase the number of ACh receptors at the MEP. Receptor binding initiates muscle fiber depolarization, which is carried to the deeper myofibrils by the T-tubules.

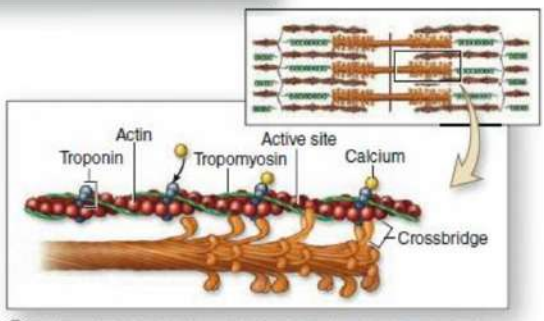


① A nerve impulse triggers release of ACh from the synaptic knob into the synaptic cleft. ACh binds to ACh receptors in the motor end plate of the neuromuscular junction, initiating a muscle impulse in the sarcolemma of the muscle fiber.

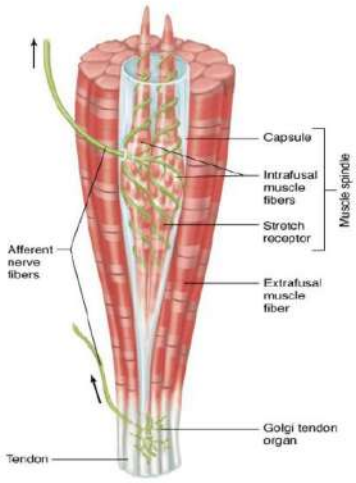
② As the muscle impulse spreads quickly from the sarcolemma along T tubules, calcium ions are released from terminal cisternae into the sarcoplasm.



⑤ When the impulse stops, calcium ions are actively transported into the sarcoplasmic reticulum, tropomyosin re-covers active sites, and filaments passively slide back to their relaxed state.



③ Calcium ions bind to troponin. Troponin changes shape, moving tropomyosin on the actin to expose active sites on actin molecules of thin filaments. Myosin heads of thick filaments attach to exposed active sites to form crossbridges.



المغازل العضلية Muscle Spindles:

مستقبلات حس عميقة مغلفة، توجد بين الحزم العضلية.

أعضاء غولجي الوترية Golgi Tendon Organ:

هي مستقبلات حسية في الأوتار، تتشكل نتيجة اختراق أعصاب حسية لمحفظة النسيج الضام.

المغازل العضلية وأعضاء غولجي الوترية يساعدان في تنظيم كمية الجهد اللازمة لإنجاز الحركات الضرورية لمختلف القوى العضلية.

أنماط الألياف العضلية

- يمكن تصنيف الألياف بناءً على الناحية الشكلية والوظيفية وتركيبها الحيوي إلى ثلاثة نماذج هي:

الألياف الحمراء (Red Fibers) أو ألياف FR (Fast- Resistants) أو نموذج I:

- يبلغ قطرها 47 ميكرون عند المرأة، و66 ميكرون عند الرجل.
- محتواها **عالٍ** من الخضاب العضلي والسيتوكروم المسؤول عن إعطاء اللون الأحمر الداكن للألياف، كما تحتوي على كمية كبيرة من المصورات الحيوية الضخمة.
- اللوحات المحركة لهذه الألياف قليلة، كما أن خيط Z فيها سميك وغير منتظم.
- تقلص الألياف الحمراء **بطيء** بالنسبة للألياف البيضاء، ولكنه **مستمر وقوي**.
- تستخدم الطاقة الناتجة من **الأكسدة الفوسفورية للغليكوز الهوائي**.
- تشكل عضلات صدر الطيور المهاجرة وعضلات أطراف الثدييات.
- كما أن العضلات الطويلة الظهرية للإنسان المتكيفة للوقوف ووضعية الجسم الطويلة هي من هذا النموذج.

الألياف البيضاء (White Fibers) أو ألياف FF (Fast –Fatigable) أو نموذج II:

- يبلغ قطرها الوسطي 57 ميكرون عند المرأة، و71 ميكرون عند الرجل.
- محتواها قليل من الخضاب العضلي والسيتوكروم، وكذلك من المصورات الحيوية فهي نادرة الوجود تحت الغشاء الخلوي.
- اللوحات المحركة لهذه الألياف كثيرة، وخيط Z فيها رفيع.
- تتقلص وتتعب **بسرعة**.

- تأخذ طاقتها من تحليل الغلوكوز الحر أو الناتج من تفكك الغليكوجين (لغناها به).
- تشكل عضلات صدر الطيور الدجاج والديك الرومي، بالإضافة للعضلات المحيطة بكرة العين، وعضلات الأطراف.

الألياف الوسيطة (Intermediate Fibers) أو النموذج III:

- لها مميزات وسيطة بين النموذجين السابقين.
- تقلصها بطيء، لا تتعب.
- شبكتها الهيولية غير متطورة، ومصوراتها الحيوية ضخمة وعديدة.
- لوحاتها المحركة قليلة العدد وغير متطورة.
- تستخدم الطاقة الناتجة من تفكك المواد الدسمة.

أمراض النسيج العضلي

الاعتلالات العضلية *Myopathies*

يؤدي الزوال البسيط للتعصيب إلى ضمور وشلل الليف العضلي.

مرض الحثل العضلي لدوشن *Dystrophie Musculaire de Duchenne*

مرض وراثي متعلق بالصبغي X، سببه غياب الدوستروفين وبالتالي زيادة في تشرب شوارد الكالسيوم إلى الليف العضلي.

الوهن العضلي *Myasthenia gravis*

مرض مناعي ذاتي واسع الانتشار يتميز بضعف عضلي ينجم عن انخفاض في عدد المستقبلات الوظيفية للأستيل كولين في غمد الليف العضلي في منطقة الاتصال العضلي العصبي.

سبب الانخفاض: وجود أضداد في مجرى الدم ترتبط مع هذه المستقبلات مما يؤدي إلى تثبيط الاتصال العضلي العصبي الطبيعي، تهضم الجسيمات الحالة هذه المستقبلات وتستبدل بمستقبلات أخرى لكنها غير قادرة على الارتباط مع الأستيل كولين وهكذا يتقدم المرض في الجسم.

النسيج العضلي القلبي Cardiac Muscle Tissue

- يحتل الطبقة المتوسطة السميكة من جدار القلب (القميص العضلي Myocardium).
- وهو لا إرادي يتقلص بشكل منتظم تلقائي منذ تشكل القلب في الجنين حتى نهاية الحياة.
- يبدي تخطيطات عرضية.
- يتكون القلب من حزم عضلية تتجه باتجاهات مختلفة، وفيما بينها نسيج ضام غني بالأوعية الدموية.
- لذلك عند دراسة مقطع نسيجي له يظهر مقاطع طولية وعرضية ومائلة.

يضم النسيج العضلي القلبي ثلاث نماذج للخلايا العضلية القلبية:

- خلايا عضلية قلبية تقلصية:

❖ إسطوانية الشكل غالباً ثنائية التشعب في أطرافها، تتصل الخلايا بهذه الأطراف مع خلية مجاورة أو أكثر لتشكل ألياف عضلية متفرعة بطول 5-15 ملم.

- خلايا عضلية متخصصة Cardionectrice:

❖ تشكل الجهاز الناقل Impuls Conducting System ومنها:

a. الخلايا العقدية.

b. خلايا بوركنج.

- خلايا عضلية صماوية Myoendocrine Cells:

❖ فقيرة بالليفات.

❖ لها وظيفة صماوية حيث تحتوي العديد من الحويصلات الإفرازية الكثيفة إلكترونياً.

❖ كثيرة في الأذينة اليمنى.

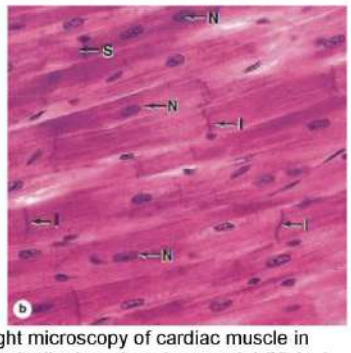
❖ تحتوي هذه الحويصلات (الحبيبات) جزيئة ببتيدية كبيرة لهرمون مدر للصوديوم ANF Atrial Natriuretic Factor

❖ وعند اتساع الجوف البطيني يتم إفرازه واقتطاع النهاية الكربوكسيلية منه ليعطي الشكل الفعال.

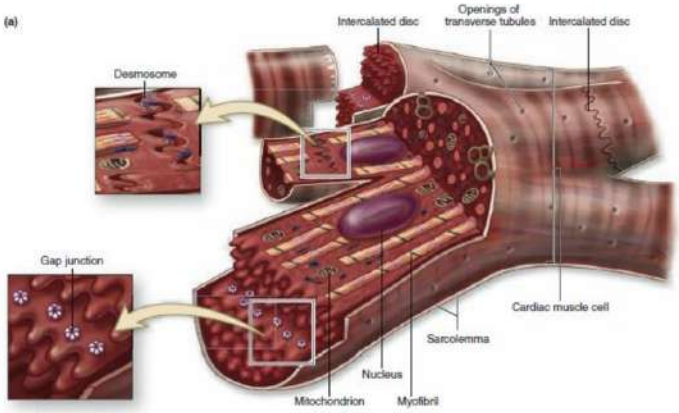
الهرمون (ANF) ينظم حجم الدم والتركيز الشاردي للسائل خارج الخلوي مؤدياً إلى تمدد وعائي وانخفاض الضغط الشرياني وحجم الدم مع زيادة في الإدرار.

الخلايا العضلية القلبية Cardiac Muscle Cells:

- سلاسل من خلايا الأديم المتوسط للأنبوب القلبي الابتدائي أثناء التطور الجنيني.
- توجد اتصالات معقدة بين استطالاتها الممددة، وتكون الخلايا متفرعة ضمن الحزمة.
- ترتبط مع بعضها بطريقة تكسب تقلص العضلة ميزة التموج مؤدية إلى انضغاط البطينات لإفراغ محتوياتها من الدم.
- طولها من 85-100 ميكرون، وقطرها 15 ميكرون.
- مخططة بأشرطة عرضية (كالعضلات الهيكلية)، تحوي نواة أو نواتين (مركزية التوضع، شاحبة اللون).
- يحيط بالخلية غمد رقيق يحتوي على نسيج ضام غني بالشعيرات الدموية.
- تتميز العضلة القلبية بوجود خطوط عريضة داكنة اللون تخترق سلاسل من الخلايا العضلية بمسافات غير منتظمة تسمى **الأقراص المقحمة أو السلمية**.



Light microscopy of cardiac muscle in longitudinal section show nuclei (**N**) in the center of the muscle fibers and widely spaced intercalated discs (**I**) that cross the fibers. These irregular intercalated discs should not be confused with the repetitive,much more closely spaced striations (**S**), which are similar to those of skeletal muscle but less well-organized. Nuclei of fibroblasts in endomysium are also present. (X200; H&E)



The diagram of cardiac muscle cells

- **الهيولى**
  - محورية التوضع، تحتوي على العضيات والمكتنفات.
  - توجد أعداد كبيرة من المتقدرات 40 ٪ أو أكثر من حجم الهيولى، أي أن هناك حاجة مستمرة للاستقلاب الهوائي في العضلة القلبية.
  - تتجمع المتقدرات العضلية في القلب حول النواة تحت الغلاف العضلي بين حزم الخيوط العضلية (كل وحدة عضلية فيها متقدرة أو متقدرتين).
- تحتوي الخلايا العضلية القلبية على الميوغلوبين (الخضاب العضلي)، والغليكوجين، كما نجد **حبيبات صباغية Lipofusion** في الخلايا الكهلة (صبغة الكهولة) تعطي لون بني.

- **الشبكة الهيولية الملساء:**
  - هي الغالبة وتكون ضيقة أنبوبية، تسير طويلاً وتتفاغر.
  - تمتد من وحدة عضلية لأخرى، إلا أنها لا تشكل الأحواض الانتهائية في مستوى خط Z.
- يتشكل أنبوب T في المراحل الولادية، ولكنه مختلف عنه في العضلات الهيكلية.
- لا نشاهد الثاثوث (الثلاثيات Triads) وإنما توجد بالعضلة القلبية **ثنائيات Diads** (مكونة من أنبوب T مشترك مع حوض وحيد من الشبكة الهيولية العضلية).
- بالنسبة **للليفات العضلية:**
  - تحتل أغلب أرجاء الخلية خيوط الأكتين والميوزين، التي تنتظم في وحدات عضلية مماثلة لما هو في العضلات الهيكلية (إلا أنها أقل انتظاماً).
  - وغالباً ما تتفرع، وتحتوي على Titine دون Nebulin

الأقراص المقحمة (السلمية) Intercalated disks:

- تمثل الحد الفاصل بين الخلايا العضلية المتجاورة حيث يوجد العديد من المعقدات الاتصالية (معقدات التماسك).
- تشكل كل خلية 8-10 أقراص سلمية مع جيرانها.
- توجد في المقاطع الطولية للأقراص المقحمة ارتباطات فضوية Gap Junction.
- **وظيفة الارتباطات الفضوية:**
  - تساهم في التبدل الشاردي بين الخلايا المتجاورة.
  - وتعمل أيضاً كمشابك كهربائية تسمح لخلايا العضلة القلبية العمل كمجموعة خلوية وعبور الإشارة التقلصية على شكل موجة من خلية إلى أخرى.
- تشبه الأقراص المقحمة الدرج، وتحوي:
  - جسيمات رابطة (واصلة).
  - ولفافات التصاقية (اتصال قوي تشبه النطيقات الالتصاقية في الخلايا الظهارية)، وظيفتها: ربط الخلايا القلبية بشدة مع بعضها لمنع تراجعها من بعضها في التقلص العضلي المستمر.

تعصيب الألياف العضلية القلبية:

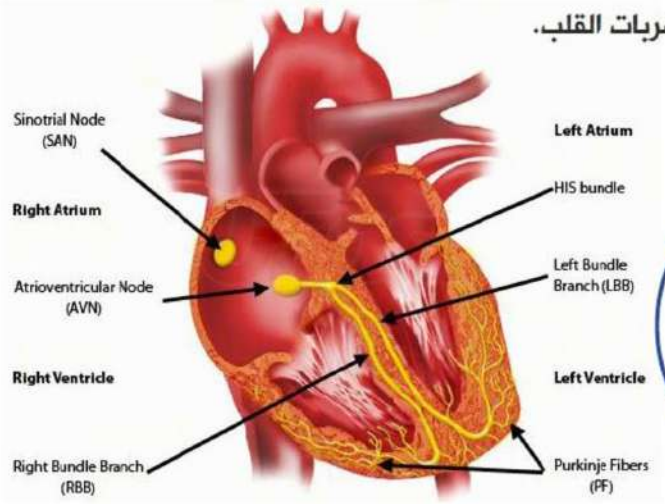
- يتم تعصيب القلب بواسطة جهاز متخصص بتوليد تنبيه نظمي ينتشر على كامل العضلة القلبية، يتضمن هذا الجهاز:
  a) العقدة الجيبية الأذنية.

b) العقدة الأذينية البطينية.

c) حزمة هيس: تحوي ألياف عضلية متحورة لنقل الدفعات الكهربائية.

❖ التنبيه **ذاتي** لا يعتمد على اللوحة المحركة.

❖ إن التعصيب الودي (النورابنفرين) يسرع القلب، بينما نظير الودي (الأستيل كولين) "بواسطة العصب المبهم" يسبب بطء في ضربات القلب.



الجهاز الذاتي
المتخصص بتعصيب
عضلة القلب.

النسيج العضلي الأملس SMOOTH MUSCLE Tissue

لا إرادي، يوجد في جدر العديد من الأعضاء ومحافظها، مثل:

الجهاز الهضمي: في منتصف المريء حتى نهاية المستقيم.

الجهاز التناسلي الذكري والأنثوي: في الطرق الناقلة للنطاف والبيوض.

الجهاز البولي: في الطرق البولية.

الجهاز التنفسي: في الرغامى والطرق الرئوية الهوائية.

جهاز الدوران والجهاز البلغمي: في مختلف الأوعية الدموية والبلغمية.

الجلد والعين والغدد خارجية الإفراز، ...

✓ تشتق الخلايا العضلية Myocytes من الوريقة المتوسطة، ما عدا بعضها يُشتق من الوريقة الخارجية.

✓ تتطاول بعض الخلايا المتوسطة وتصبح ذات شكل مغزلي بنوى متطاولة فتعرف بالخلايا المصورة العضلية Myoblastes.

- ✓ تشكل الخلايا فيما بينها في كثير من الأحيان مناطق التصاقية تعرف بـ الضفيرا Nexues (التصاقات فضوية Gap Junction)
- ✓ تصنف الخلايا العضلية الملساء إلى 4 مجموعات من الخلايا التقلصية:
  1. خلايا عضلية ملساء Smooth Muscle Cells.
  2. خلايا عضلية ظهارية Myoepithlial Cells.
  3. خلايا عضلية ليفية Myofibroblastes.
  4. خلايا هامشية Pericytes.

الخلايا العضلية الملساء Smooth muscle cells

- ♦ مغزلية الشكل، متطاولة، مستدقة غير مخططة.
- ♦ طويلة رفيعة في الأمعاء، قصيرة سميكة في الشرايين.
- ♦ قطرها 6-8 ميكرون وطولها يتراوح بين 20 ميكرون في الأوعية الدموية، و100 ميكرون أو أكثر في الأمعاء.
- ♦ تُحاط بصفيحة قاعدية تشكل مع الغشاء الخلوي العضلي Sarcoplasmic membrane ما يُسمى بالغلاف العضلي Sarcolemma.
- ♦ يعمل النسيج الضام على توحيد القوة الناتجة عن كل خلية عضلية ملساء بقوة واحدة كما في التقلصات التمعجية في الأمعاء.
- ♦ تكون النواة مركزية في الجزء العريض من الخلية.
- ♦ تتراص الخلايا بشدة، وتتوضع النهايات المستدقة للخلايا مع الأجزاء العريضة الأخرى للخلايا العضلية.
- ♦ تبدو الخلية العضلية الملساء مسننة الحواف، نواتها مشوهة عند تقلص الخلايا.
- ♦ تحتوي الخلية العضلية الملساء على المتقدرات والجسيمات الريبية المتعددة وصهاريج الشبكة الداخلية الخشنة، وجهاز غولجي بكثافة قرب النواة.
- ♦ تخلو الخلية العضلية الملساء من الأنبوب T، ونجد فيها بقايا من الشبكة الهيولية العضلية Reticulum Sarcoplasmique.
- ♦ كما نلاحظ وجود أجسام كثيفة هيولية Dense Bodies:

↙ تتركب من α أكتينين ترتبط بها خيوط الأكتين، ويقابل كل خيط ميوزين 15 خيط أكتين.

↙ تتقاطع حزم خيوط الأكتين والميوزين بشكل مائل ضمن الخلية لتشكل شبكة دقيقة.

↙ يرتبط α أكتينين مع Tansine و FAK (Focal adhesion Kinase)

- ثم مع الفينكولين والتالين والباكسيلين وغيرها من البروتينات داخل الهيولية.
- لتصل إلى الأنتغرينات (البروتينات داخل الغشائية) فترتبط بدورها مع مواد خارج خلوية هي الكولاجين واللامينين والفيبرونكتين.

- لا يوجد في الخلايا العضلية الملس التربونين والتربوميوزين وإنما **الكالمودولين** Calmodulin.
- الكالمودولين: بروتين رابط للكالسيوم مسؤول عن تقلص الخلايا غير العضلية وتفعيل مسالك خلوية مختلفة.
- يُعد **تدفق الكالسيوم** مسؤولاً عن بدء عملية التقلص في الخلايا العضلات الملساء.
- يقوم معقد كالسيوم _كالمودولين:
  - بتفعيل أنزيم **ميوزين كيناز** ذي السلسلة الخفيفة المسؤول عن فسفرة الميوزين الضروري لتفاعل الميوزين مع الأكتين الخيطي، وتؤثر العديد من الهرمونات والعوامل الأخرى على عمل هذا الأنزيم وبالتالي على درجة التقلص.
- **الدوستروفين:**
  - يصل بين خيوط الأكتين وبروتينات الغشاء الخلوي لكافة الألياف العضلية.
  - يسمح بربط خيوط الأكتين مع اللامينين العائد للغشاء القاعدي.
  - إذاً هو يرتبط من ناحية مع بروتين تحت غشائي Syntrophine وخيوط الأكتين، ومن ناحية أخرى يرتبط مع معقد البروتينات العابرة للغشاء.
- **الديسمين** Dismine يوجد في جميع العضلات الملساء.
- بينما يوجد **الفيمنتين** Vimentine في خلايا العضلات الملساء في **الأوعية الدموية**.
- يلتحم الديسمين والفيمنتين والأكتين الخيطي بالأجسام الكثيفة المرتبطة بالغشاء أو بالهيولى.
- تحتوي هذه الأجسام الكثيفةعلى α أكتينين وتعمل كأقراص Z في العضلات الهيكلية والقلبية.

يزداد قطر الخلايا العضلية الملساء في حالات فيزيولوجية ومرضية، حيث يصل في رحم المرأة الحامل إلى 500 ميكرون، كما يصل إلى 200 ميكرون في حالة الفرط الشرياني حيث تتضخم الأوعية الدموية، وإن زيادة الحجم يقابلها زيادة البنى التقلصية للألياف العضلية الملساء.

تقلص العضلات الملساء

✓ يحدث التقلص العضلي نتيجة:

❖ تأثير ميكانيكي:

- مثل حالة امتلاء المثانة.

❖ تأثير هرموني:

- حالة الرحم قبل المخاض، وذلك بسبب زيادة هرمونات الأستروجين والبروجسترون والبروستاغلاندين.

❖ **تأثير عصبي:**

✓ يتم تقلص العضلات الملساء **لا إرادياً** تحت سيطرة الأعصاب الذاتية (الألياف الودية ونظيرة الودية بعد العقدية)، والهرمونات والظروف الوظيفية الموضعية كدرجة التمدد، وقد تنتهي الألياف العصبية في النسيج الضام بين الألياف العضلية.

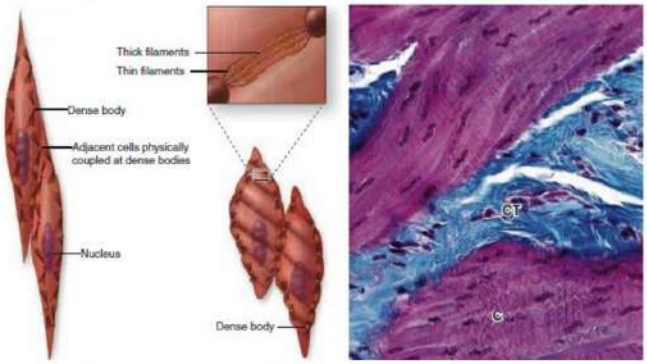
✓ تعمل العضلات الملساء بآليتين:

وحدة العضلة الملساء Unitary Smooth Muscle:

وفيها تعمل الألياف العضلية بطريقة مجمع خلوي، تحتوي على ارتباطات فضوية أو ضفيرات بأعداد كبيرة، وتكون قليلة التعصيب.

متعددة وحدات العضلات الملس Multiunit Smooth Muscle:

وفيها التعصيب غزير، الارتباطات الفضوية قليلة، والتقلص محدود ومتدرج كما في قزحية العين.



خلايا عضلية ملساء قبل وبعد التقلص.

الأنماط الأخرى من الخلايا العضلية الملساء

الخلايا العضلية الظهارية Myoepithlial Cells:

- **تشتق من الوريقة الخارجية.**
- **تتوضع في محيط العنبات الغدية بين الغشاء القاعدي للخلايا الغدية والصفيحة القاعدية للغدد اللعابية والثديية والعرقية، والعضلة الباسطة للقزحية.**
- **شكلها نجمي، وتحتوي على حزم من الخيوط العضلية.**

الخلايا العضلية الليفية Myofibroblastes:

- **خلايا مسطحة قصيرة يصدر عنها بعض الامتدادات الهيولية.**
- **تتوضع حول الأنابيب المنوية، وبين الصفائح المرنة في الشرايين، وحول الأوعية الدموية في الغشاء المفصلي.**

الخلايا الهامشية Pericytes:

- تحيط بالخلايا البطانية للأوعية الشعرية.
- تتوضع ضمن غشاء قاعدي مضاعف.
- عند تأذي النسيج تنقسم وتقوم بدور خلية متوسطة بدائية، لتعطي بتمايزها خلية عضلية ليفية أو نسيج متوسطي يعطي نسيج ضام وأوعية ضامة جديدة.

تجدد النسيج العضلي Regeneration of Muscle Tissue

في النسيج العضلي الهيكلي:

- الألياف لا تنقسم، وإنما يتم التجديد عن طريق **الخلايا التابعة** Satellite Cells.
- تتوضع الخلايا التابعة تحت الصفيحة القاعدية المحيطة بالألياف العضلية.
- الخلايا التابعة مغزلية الشكل تشبه **خلايا المصورة العضلية** Myoblastes، تنشيطها يؤدي إلى انقسامها واندماجها لتشكل ليف عضلي هيكلي جديد.
- في حال فرط نشاط العضلة يمكن للخلايا التابعة الالتحام مع الليف العضلي القريب منها لزيادة حجم الليف وبالتالي العضلة.

في العضلة القلبية:

- إن عطب أو تأذي العضلة القلبية يؤدي إلى تشكل **ندبة ضامة** نتيجة استبدال الألياف العضلية القلبية بالنسيج الضام.
- حجم العضلة القلبية عند البالغين هو ضعف حجمها عند الأطفال، ويتم نمو العضلة بزيادة حجم الألياف وزيادة كمية النسيج الضام.

في النسيج العضلي الأملس:

- تمتلك ألياف النسيج العضلي الأملس إمكانية الانقسام والنمو لاستبدال الألياف المتخربة كما في الرحم أثناء الحمل.

التطبيق الطبي:

Leiomyomas: عادة ما تتطور أورام حميدة تسمى الأورام العضلية الملساء من ألياف العضلات الملساء ولكنها نادرا ما تكون إشكالية. تحدث في أغلب الأحيان في جدار الرحم، حيث يطلق عليها عادةً الأورام الليفية، إذ يمكن أن تصبح كبيرة بما فيه الكفاية لإنتاج ضغط مؤلم ونزيف غير متوقع.