النسيج العضلي

8 د. عبد الحافظ طبش

علم الأنسجة 1 | 1 Histology

السلام عليكم و رحمة اللّه و بركاته

زملاءنا ،زميلاتنا:

نقدم لكم المحاضرة المخصصة للنسيج العضلي و هو النسيج الثالث الذي سنتناول دراسته من انسجة الجسم،تتضمن المحاضرة الحديث عن العضلات الهيكلية فالملساء ختاماً بعضلة الحياة الا و هي العضلة القلبية ♡ و أخيراً سنتطرق الى تجدد النسيج العضلي ، راجين من اللّه السداد و التوفيق في العمل..

الفهرس

الفقرة	الصفحة
تعريف النسيج العضلي و سماته	2
أنواع النسيج العضلي	3
الالياف العضلية الهيكلية	4
الية التقلص العضلي الهيكلي	17
أنماط الالياف العضلية الهيكلية	22
العضلات الملساء	25
العضلة القلبية	30
تجدد النسيج العضلي	33

النسيج العضلي

- يعتبر النسيج العضلي نوعاً منفصلاً من أنواع الأنسجة الأربعة الأساسية (ظهاري – ضام – عضلي –عصبي).
- يتكون النسيج العضلي من خلايا متمايزة تعمل على توليد القوى اللازمة للتقلص الخلوي من أجل تحريك الأعضاء أو الجسم بالكامل.

سماته:

١. تنشأ جميع الخلايا العضلية من **الأديم المتوسط** من الاورمات العضلية في المرحلة الجنينية.

٢. يوجد ثلاث أنواع من النسيج العضلي في الثدييات، يمكن تمييزها بالاعتماد على صفاتها الشكلية والوظيفية.

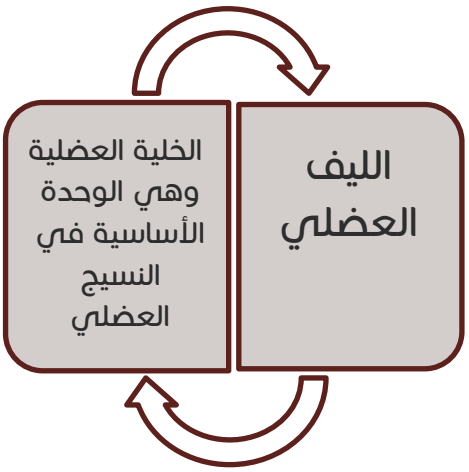
٣. يمتلك كل نوع من النسيج العضلي بنية خاصة به تتكيف مع دوره الوظيفي.

٤. يحيط نسيج ضام بالأنواع الثلاثة من الأنسجة العضلية حيث ينظم توضع وعمل الألياف العضلية.

٥. تمتلك بعض العضيات الخلوية العضلية في الخلية اسماء تختلف عن نظيرتها في خلايا الجسم.

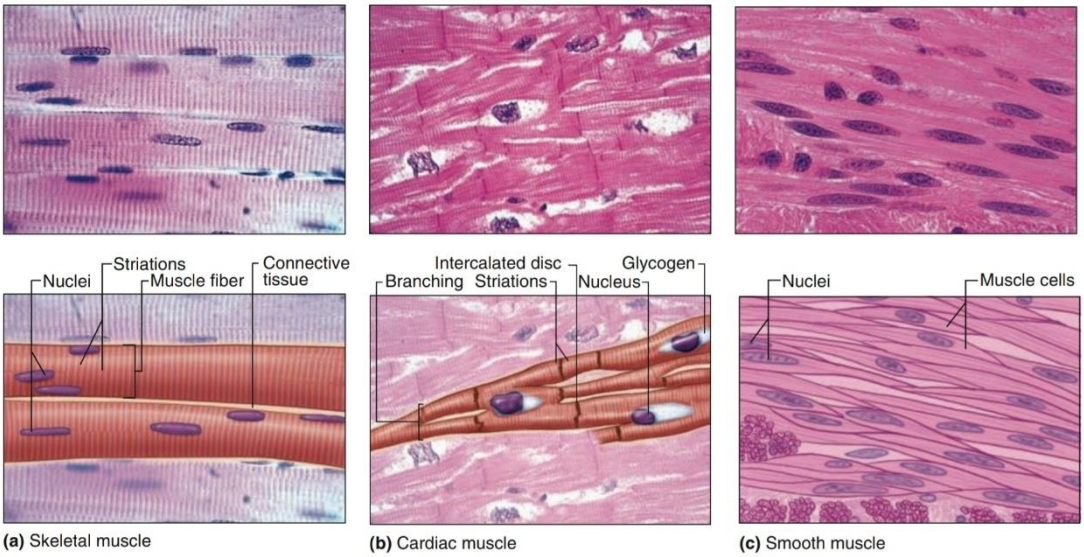
٦. يطلق على هيولى الخلية العضلية -باستثناء الليفات- **الساركوبلازم** أي الهيولى العضلية sarcoplasm، أما الشبكة الهيولية الداخلية الملساء فتدعى **الشبكة الساركوبلازمية** أي الشبكة العضلية الهيولية Sarcoplasmic reticulum وكذلك يدعى غشاء الخلية العضلية والصفيحة الخارجية وطبقة الألياف الشبكية **بالساركوليما** أي غمد الليف العضلي Sarcolemma.

٧. بشكل عام يطلق على الخلية العضلية اسم **الليف العضلي** كون شكلها ليفي.



✓ كل ليف هو عبارة عن خلية في العضلات الملساء والهيكلية فقط ولا ينطبق ذلك على العضلة القلبية.

يقسم النسيج العضلي تبعاً للتنوع الشكلي والوظيفي لأليافه (خلاياه) الى ألياف عضلية هيكلية وألياف عضلية ملساء وألياف عضلة القلب وسنتناول كل نوع من الأنواع السابقة بشيء من التفصيل.



(a) Skeletal muscle (b) Cardiac muscle (c) Smooth muscle

أنواع العضلات الثلاثة: صور مجهرية لأنواع النسيج العضلي مع رسومات توضيحية مرافقة لها.

(a) تتكون العضلات الهيكلية من ألياف كبيرة متطاولة متعددة النوى وذات تقلصات إرادية قوية وسريعة.

(b) تتكون العضلة القلبية من خلايا متفرعة غير منتظمة ترتبط مع بعضها بشكل طولاني بأقراص مقحمة (سلمية) و ذات تقلصات غير إرادية قوية وإيقاعية.

(c) تتكون العضلات الملساء من خلايا مغزلية ذات تقلصات غير إرادية ضعيفة.

يعزى تراص الخلايا العضلية إلى وجود كمية قليلة من النسيج الضام خارج الخلوي في النسيج العضلي.

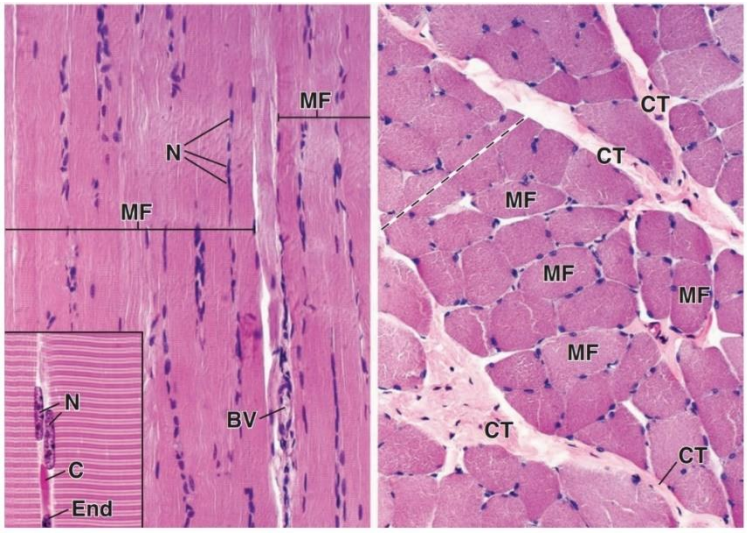
حديث الموسم

على الطالب حضور كافة المحاضرات النظرية و من سيتخلف عن ذلك سيتم اتخاذ الإجراءات المناسبة بحقه 😒🔫

دمتم بخير #اخواتي 😂

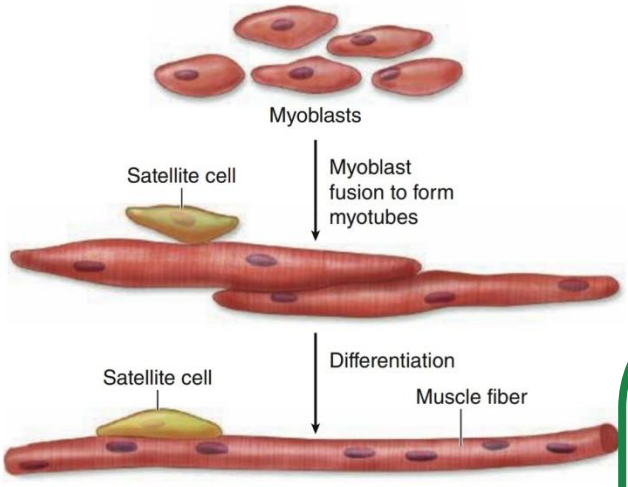
الألياف (الخلايا) العضلية الهيكلية Skeletal muscle

- تتواجد في **جميع العضلات الهيكلية** وفي الأعضاء الداخلية في الجسم تحت مسمى **العضلات الهيكلية الحشوية** (كاللسان، الحنجرة، القسم العلوي من المريء، والقسم القطني من الحجاب الحاجز).
- مكونة من ألياف عضلية على شكل خلايا أسطوانية طويلة جداً متعددة النوى بقطر ١٠ - ١٠٠ ميكرون. يعزى **تعدد النوى** لالتحام الأرومات العضلية الجنينية **Myoblast** مع بعضها وتشكيل ألياف عضلية طويلة، قد تصل إلى ١٠٠ سم تقريباً كالعضلة الخياطية في الطرف السفلي.
- تمتلك **نوى بيضاوية** في **محيط الخلية** تحت الغشاء، تساعد هذه الصفة في تمييز العضلات الهيكلية عن القلبية والملساء التي تحتوي على نوى مركزية التوضع.
- يتراوح عدد النوى في الخلايا من ١٠٠ الى ما يقارب ١٠٠٠ نواة في الخلية الواحدة.



مقطع طولي وآخر عرضي للألياف العضلية الهيكلية

- تبدأ العضلات الهيكلية بالتمايز عندما تصطف وتندمج الخلايا المتوسطية المسماة الارومات عضلية مع بعضها مشكلة أنابيب متعددة النوى طويلة تدعى أنابيب عضلية. تستمر الأنابيب العضلية بالتمايز لتشكل ألياف عضلية وظيفية ونوى محيطية تتوضع مقابل غمد الليف العضلي.



ملاحظة

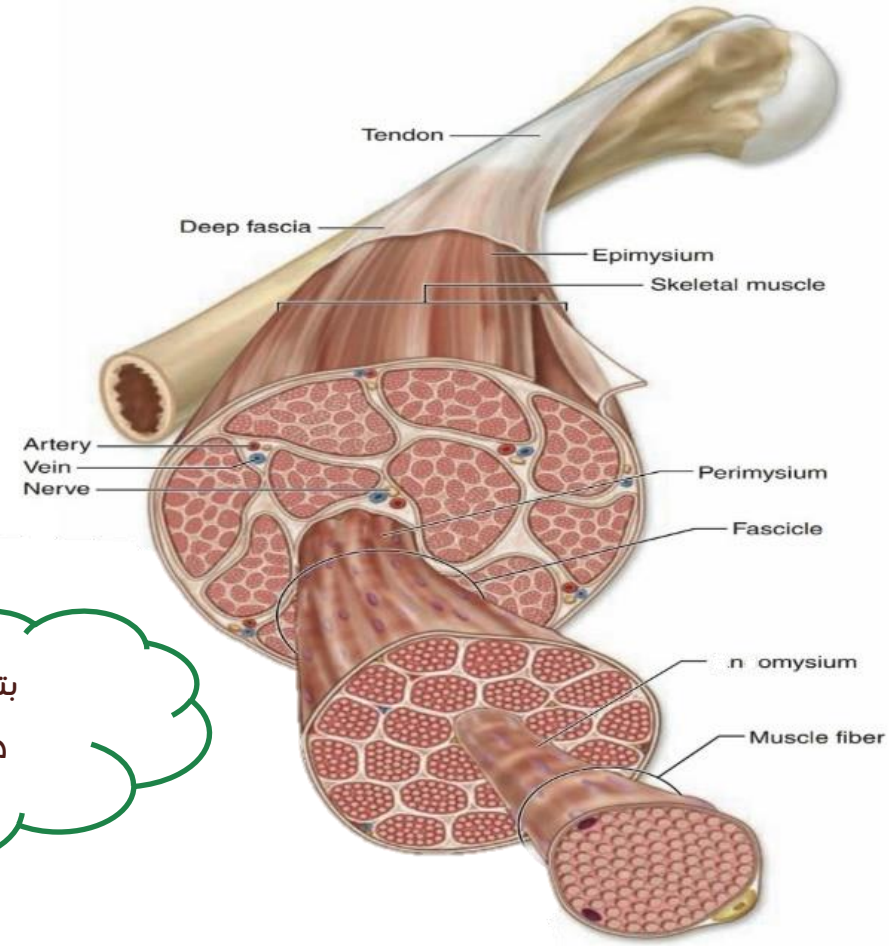
لا تتحد بعض سلائف الخلايا العضلية مع بعضها ولا تتمايز و لكن تبقى كخلايا متوسطية تدعى الخلايا الساتلة أو التابعة تتوضع على السطح الخارجي للألياف العضلية داخل الصفيحة الخارجية المتطورة، تتكاثر الخلايا التابعة وتنتج خلايا عضلية جديدة بعد حصول أذية أو ضرر عضلي.

التطبيق الطبي:

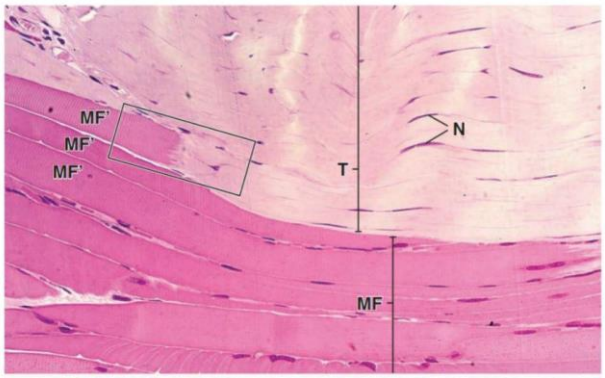
- يعود اختلاف قطر الألياف العضلية الهيكلية إلى العديد من العوامل كنوع العضلة والعمر والجنس والحالة الغذائية والنشاط الرياضي للشخص.
- عند إجراء تمارين رياضية يلاحظ تضخم النسيج العضلي (نتيجة تشكل ليفات عضلية جديدة والزيادة واضحة في قطر كل ليف)، تتميز هذه العملية بزيادة حجم الخلية تدعى **ضخامة نسيجية hypertrophy.**
- **فرط التنسج Hyperplasia** هو زيادة عدد الخلايا الذي يحدث في العضلات الملساء التي تحتفظ بقدرتها على الانقسام الفتيلي.
- يؤدي حقن أو تناول حبوب **Anabolic steroid** (المنشطات) من قبل المراهقين والرياضيين الى زيادة الكتلة العضلية من خلال زيادة تصنيع الليفات العضلية ولكن هذا له عواقب وخيمة وآثار جانبية تتمثل في تضرر الكبد وانعدام النطاف وصغر في حجم الخصية وزيادة في حجم الثدي وظهور حب الشباب وصلع وخلل بالدورة الطمثية وزيادة في الرغبة الجنسية.

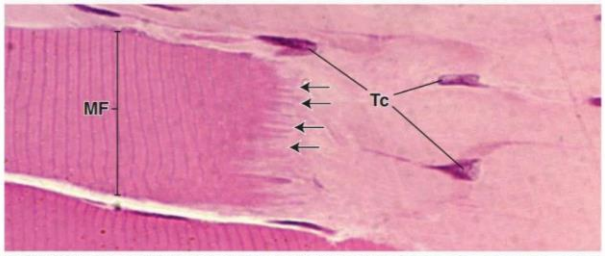
بنيتها العامة

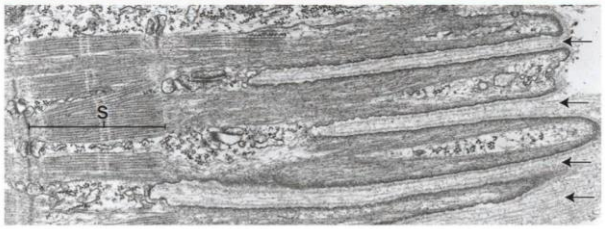
- **غمد العضلة Epimysium**: غمد خارجي من نسيج ضام كثيف غير منتظم يحيط بكامل العضلة يحتوي على أوعية دموية ولمفاوية وأعصاب
- **غمد الحزمة العضلية Perimysium** : حواجز رقيقة من النسيج الضام كثيف غير منتظم تمتد من غمد العضلة إلى داخل العضلة تحيط بكل حزمة من حزم الألياف العضلية. كل حزمة عضلية تشكل وحدة وظيفية حيث تعمل الألياف العضلية فيها معاً. تخترق أوعية دموية ولمفاوية وأعصاب غمد الحزمة لتزود كل حزمة باحتياجاتها.
- **غمد الليف العضلي Endomysium**: حزمة رقيقة من طبقات من ألياف شبكية (نسيج ضام رخو شبكي)، يوجد فيها أرومات ليفية متناثرة يحيط بالصفيحة الخارجية **Extenal lamina** الموجودة حول كل ليف عضلي.



بنية العضلات الهيكلية







صورة مجهرية توضح منطقة
الإلتصاق/الإرتباط العضلي الوتري.

بنية العضلات الهيكلية

تغلف كامل العضلة بطبقة من نسيج ضام كثيف يدعى غمد العضلة Epimysium الذي يتواصل مع الوتر و يربطه العظم. تغلف كل حزمة من الألياف العضلية بطبقة أخرى من نسيج ضام يدعى غمد الحزمة العضلية Perimysium. تحاط الألياف العضلية المفردة (خلايا متعددة النواة متطاولة) بطبقة رقيقة جدا تدعى غمد الليف العضلي Endomysium يتكون من صفيحة خارجية تنتجها الخلية العضلية (تغلف الخلايا الساتلة او التابعة) ومطرق خارج خلوي تنتجه الأروماتِ الليفية.

- يشبه تركيب الصفيحة الخارجية تركيب الصفيحة القاعدية.
- كما تغزر في غمد الليف العضلي شبكة من الشعيرات الدموية ونهايات العصبية.
- يلعب النسيج الضام المتواجد في العضلة (غمد العضلة وغمد الحزمة وغمد الليف العضلي) دوراً ميكانيكياً هاماً يتمثل بنقل القوى المتولدة عن تقلص الخلايا العضلية ويقوم بتوحيدها (إن لم تتوحد القوى فلن تنتج الحركة) وذلك نظراً لندرة امتداد الليف العضلي من نهاية العضلة إلى النهاية الأخر(الألياف لا تمتد من المنشأ إلى المرتكز).
- جميع هذه الطبقات الثلاثة (غمد العضلة وغمد الحزمة وغمد الليف العضلي) بالإضافة الى طبقة الصفاق العميق الذي يغطي غمد العضلة تكون متواصلة مع النسيج الضام للوتر (الذي يربط العضلة بالعظم) في منطقة تدعى الالتصاقات/ الإرتباطات العضلية الوترية Myotendinous junctions (منطقة ارتباط العضلة بالوتر).
- بالمجهر الضوئي تبدو ألياف الكولاجين للوتر منغرسة بالخلايا العضلية.
- بالمجهر اللالكتروني النافذ تبدو نهاية الخلايا العضلية في المنطقة الانتقالية (بين نسيج العضلة ونسيج الوتر) على شكل بروزات هيولية شبه اصبعية لزيادة مساحة الاتصال بين الوتر والألياف العضلية، حيث ترتبط الألياف الكولاجينية للوتر بالبروزات شبه الإصبعية للخلية العضلية وصفيحتها الخارجية.

رجعوا عالصفحة الي قبلا و شوفوا الصورة

الألياف العضلية Muscle fibers والليفات العضلية Myofibrils والخيوط العضلية myofilaments:

- ✓ تبدي الألياف العضلية الهيكلية في المقاطع الطولانية بالمجهر الضوئي تخطيطات عرضية متناوبة لأشرطة عاتمة ونيرة، تحتوي على العديد من نوى متطاولة محيطية.
- ✓ تحتوي الهيولى العضلية على القليل من الشبكة الهيولية الخشنة والملساء وجسيمات ريبية حرة ومتقدرات وحبيبات غليكوجين.
- ✓ تمتلئ الهيولى بحزم خيطية اسطوانية طويلة تدعى الليفات العضلية **Myofibrils** يبلغ عددها ٣- ٢٠ ليف تمتد على كامل الليف من بدايته الى نهايته وتتوضع بشكل **موازي** لمحور الليف العضلي، قطرها بين ١- ٢ ميكرون. وهذا التسلسل لليفات العضلية المتجاورة المحتوية على(الأقراص أو الأشرطة العاتمة والنيرة) مسؤول عن صفة التخطيطات العرضية النموذجية في كامل الليف العضلي.

❖ تبدو الأشرطة النيرة **I Band** بالمجهر الإلكتروني منقسمة بخط عرضي عاتم يدعى خط **Z** (زويشين شيب **Zwischen-Scheib**) (بين الأقراص).

❖ تدعى أصغر وحدة تقلصية وظيفية بين خطي **Z** متتالين **القسيم العضلي Sarcomere** بطول ٢,٥ ميكرون في حالة ارتخاء العضلة.

ملاحظة

تدعى الأشرطة العاتمة A Band (A تعود إلى الحرف الاول من كلمة Anisotropic متباينة الخواص أي أنها تملك خاصية انكسار ثنائي للضوء المستقطب) بينما تدعى الأشرطة النيرة I Band (I تعود إلى الحرف الأول من كلمة Isotropic متماثلة الخواص أي أنها لا تتغير بالضوء المستقطب).

ملاحظة

يعود انتظام أشرطة A و I في القسيم العضلي بشكل أساسي إلى وجود نمطين من الخيوط العضلية : ثخينة myofilaments thick ورفيعة myofilaments thin موازية للمحور الطولي لليفات العضلية بشكل منسق.

1- **الخيوط الثخينة** myofilaments thick يبلغ طولها ١,٦ ميكرون وعرضها ١٥ نانوميتر وتشغل الأشرطة العاتمة A Band والجزء المركزي من القسيم العضلي. تتكون بشكل أساسي من **الميوزين**.

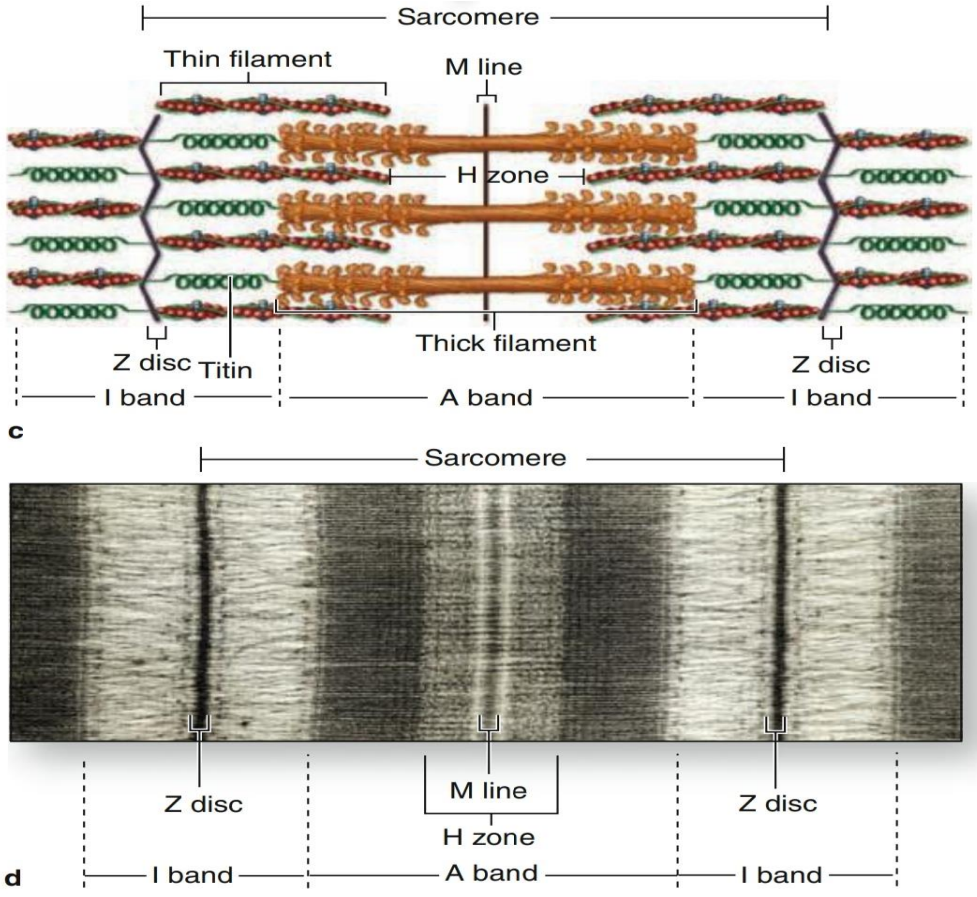
2- **الخيوط الرفيعة** myofilaments thin يبلغ طولها اميكرون و عرضها ٨ نانوميتر، حيث تجري بين الخيوط الثخينة وموازية لها وترتبط إحدى نهايتيها بالخط z وتتكون من **الأكتين**.

❖ نتيجة لهذا الترتيب فإن الأشرطة النيرة **I Band** تتألف من أجزاء الخيوط الرفيعة التي لا تتراكب (تتداخل) مع الخيوط الثخينة بينما تتألف الأشرطة العاتمة من خيوط ثخينة بشكل أساسي إضافة إلى أجزاء الخيوط الرفيعة المتداخلة مع الخيوط الثخينة عند التقلص.

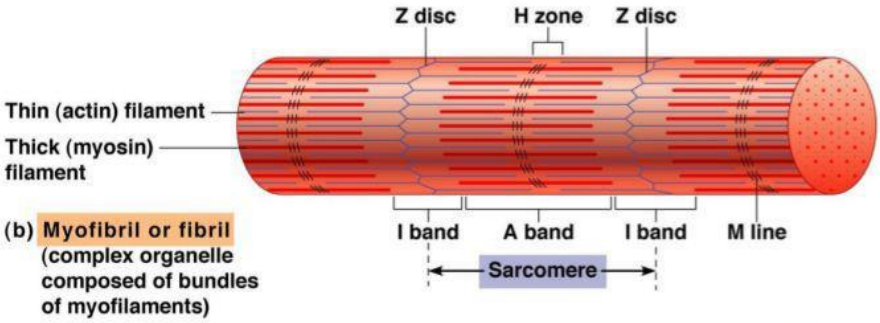
يمثل الميوزين والآكتين حوالي ٥٥ % من إجمالي كمية البروتين في العضلات المخططة.

❖ يُظهر الفحص الدقيق للأشرطة العاتمة وجود منطقة نيرة (باهتة) في مركزها تدعى منطقة H (منطقة أو شريط هانزن **Hansen's Band**) تمثل منطقة مكونة من الأجزاء **شبه العصوية** من جزيئة الميوزين فقط وتخلو من الخيوط الرفيعة.

❖ تقسم المنطقة **H** بدورها بخط **M** (خط رفيع قاتم اللون لا يشاهد إلا بالمجهر الإلكتروني) يمثل منطقة اتصال جانبية بين الخيوط الثخينة المتجاورة.



بنية الليف العضلي الهيكلي (المخطط)



صورة ترسيمية لبنية الليف العضلي الهيكلي.

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 ا خط عرضي عاتم يدعى الخط Z.

مكونات الخيوط الرفيعة:

مكونة من بوليميرات الأكتين مقترنة ببروتينات منظمة وبروتينات مرافقة للأكتين.

١- أكتين كروي Globular_ actin: جزيئات غير متناطرة تتبلمر منتجة خيط مستقطب، و يحتوي كل مونومير (وحيدة) من الأكتين الكروي على مكان رابط للميوزين.

- تتثبت خيوط الآكتين عموديا على الخط Z بواسطة ألفا الأكتينين a-actinin.

٢- أكتين خيطي Filament-Actin: يتكون من بوليميرات خيطية طويلة تحتوي على سلسلتين من مونوميرات كروية (أكتين كروي) ملتفة حول بعضها مشكلة حلزون مزدوج.

٣- التروبوميوزين Tropomyosin: يتواجد على سلسلتين ببتيدتين تتجمع لتشكل بوليمير تتوضع في الميزاب المتواجد بين سلسلتي الآكتين الملتفة. وتتمثل وظيفته في تغطية أمكان الارتباط الفعال للأكتين بالميوزين والتي لا تكشف إلا بوجود الكالسيوم.

٤- التروبونين،Troponin: يدعى البروتين المنظم لتربوميوزين معقد مكون من ثلاثة وحدات صغيرة.

TnT ترتبط بشدة بالتربوميوزين

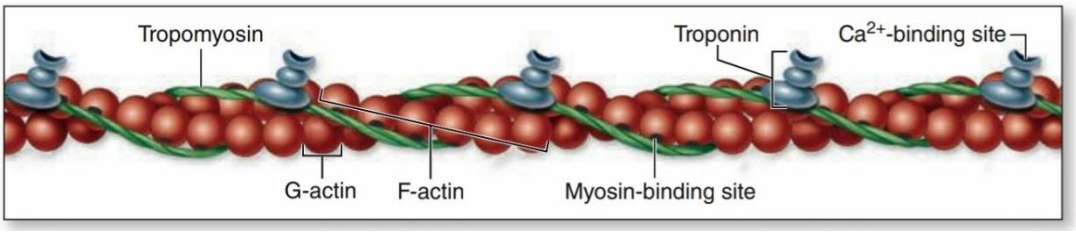
TnC ترتبط بشوارد الكالسيوم

TnIتثبط تداخل الآكتين والميوزين.

ترتبط معقدات التربونين بأماكن خاصة وعلى مسافات منتظمة على طول جزيئة التربوميوزين.

٥- تروبو موديلين Tropomodulin : بروتين رابط للأكتين ويتواجد في النهاية الحرة للأكتين ويشكل قلنسوة في النهاية الحرة ويمنع إضافة جزيئات من الأكتين الكروي ويحدد طول خيوط الأكتين في القسيم العضلي.

٦- نيوبيولين Nebulin : بروتين مكون من سلسلتين تلتف حول حلزون الأكتين حيث يرتبط ببروتين ألفا أكتينين a-actinin المرتبط بالخط z ويمتد على كامل خيوط الأكتين ما عدا نهاية الحرة ويعد مسطرة جزيئية حيث توجد علاقة بين وزنه الجزيئي وطول الأكتين، إضافة لذلك يعمل النيوبيولين على زيادة استقرار الأكتين .



بنية الخيط الرفيع

مكونات الخيوط الثخينة:

الميوزين نمط II و بروتينات مرافقه myomesin, titin, and C protein and creatine kinase

١- الميوزين Myosin II: معقد كبير الحجم، مكون من سلسلتين ثقيلتين متماثلتين وزوجين من السلاسل الخفيفة ويشبه بذلك مضربين غولف ملتفين.

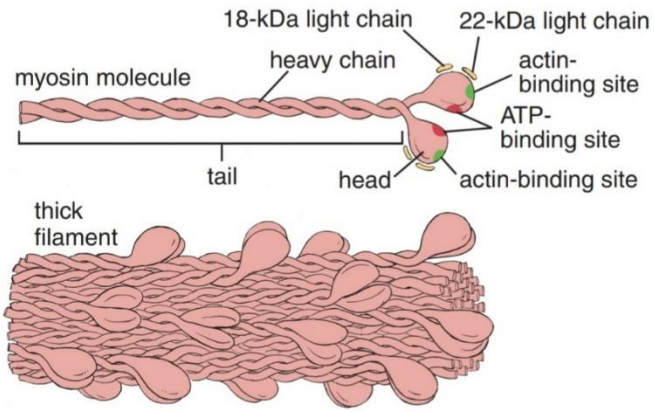
١. السلاسل الثقيلة جزيئات عصوية رفيعة (بطول ١٥٠ نانوميتر وقطر ٢-٣ نانوميتر) مكونة من ذيل ورأس يرتبطان ببعضها بذراع رافعة lever arm.

٢. يمتلك كل رأس ميوزين **موضعي** ارتباط أحدهما للأكتين والثاني موضع للارتباط بـ ATP.و تمتلك القدرة على الانزيمية على حلمهة ATPعن طريق نشاط انزيم ATPase.

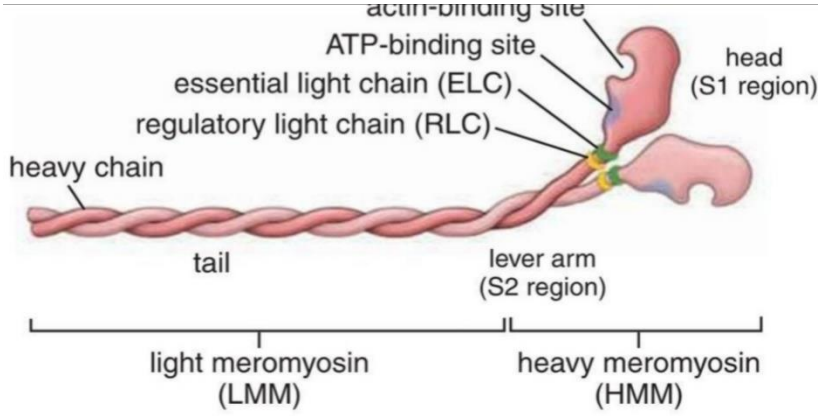
٣. تتواجد سلسلتين خفيفتين في كل مونومير من الميوزين تلتف حول ذراع الرافعة تحت رأس الميوزين مباشرة سلسلة خفيفة منظمة regulatory light chain وسلسلة خفيفة أساسية essential light chain تعملان على تثبيت ذراع الرافعة.

٤. تلعب ذيول الميوزين دوراً في تجمع جزيئات الميوزين على شكل خيوط ثنائية قطب (الرؤوس في جهة والذيول في جهة). حيث تنتظم عدة مئات من جزيئات الميوزين في كل خيط ثخين بحيث تنتظم ذيولها شبه العصوية على شكل حلزون أما رؤوسها الكروية فتتجه إلى إحدى النهايتين.

٥. تتواجد جسور عرضية بين الخيوط الثخينة (الميوزين) والرفيعة (الأكتين) ، مكونة من رأس جزيئة الميوزين إضافة إلى جزء قصير من بروزها العصوي. تلعب الجسور دورا في تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية.



Myosin II



Myosin II molecule

الخلاصة

❖ للميوزين بنية سداسية غير متناظرة، حيث يتكون من 6 سلاسل عديدة الببتيد (ثلاث أزواج من السلاسل).

أ- زوج من السلاسل الثقيلة Heavy (سلسلتين ثقيلتين).

ب- زوجين من السلاسل الخفيفة light (4سلاسل خفيفة).

❖ سلاسل L الخفيفة تختلف:

a. فإحداها تسمى: السلسلة الخفيفة الأساسية essential.

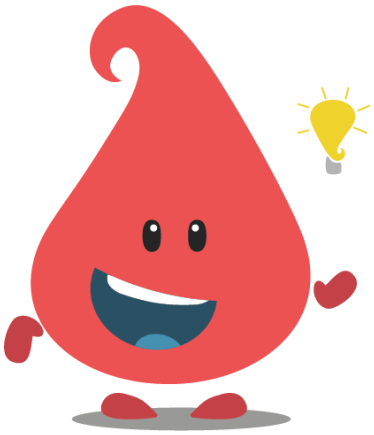
b. والأخرى: السلسلة الخفيفة المنظمة regulatory (التي لها دور بعملية التقلص العضلي).

❖ تلتف السلسلتان الثقيلتان كل منهما حول الأخرى حلزونياً لتشكل حلزوناً مضاعفاً يدعى ذيل خيط الميوزين

❖ تنطوي إحدى نهايتي كل من السلسلتين الثقيلتين لتشكل بروتيناً كروياً يدعى رأس الميوزين

نتيجة: يوجد رأسان حران لكل جزيء ميوزين.

❖ تشكل السلاسل الخفيفة أجزاء من رأس الميوزين، حيث يكون لكل رأس سلسلتان خفيفتان، (بما أن لدينا لكل جزيء ميوزين رأسين و4 سلاسل خفيفة فسيكون لكل رأس سلسلتان).

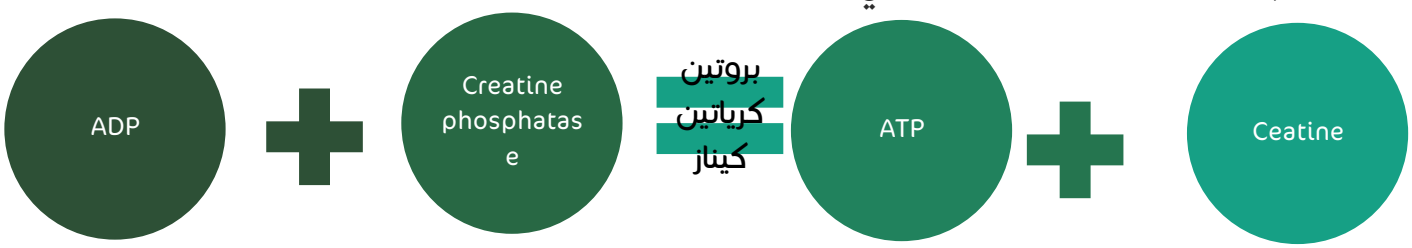


٢- البروتين الرابط للميوزين c (Myosin-binding protein C) : يشكل تشريطات عرضية على جانبي خط **M** يساهم في استقرار وتجمع الخيوط الثخينة.

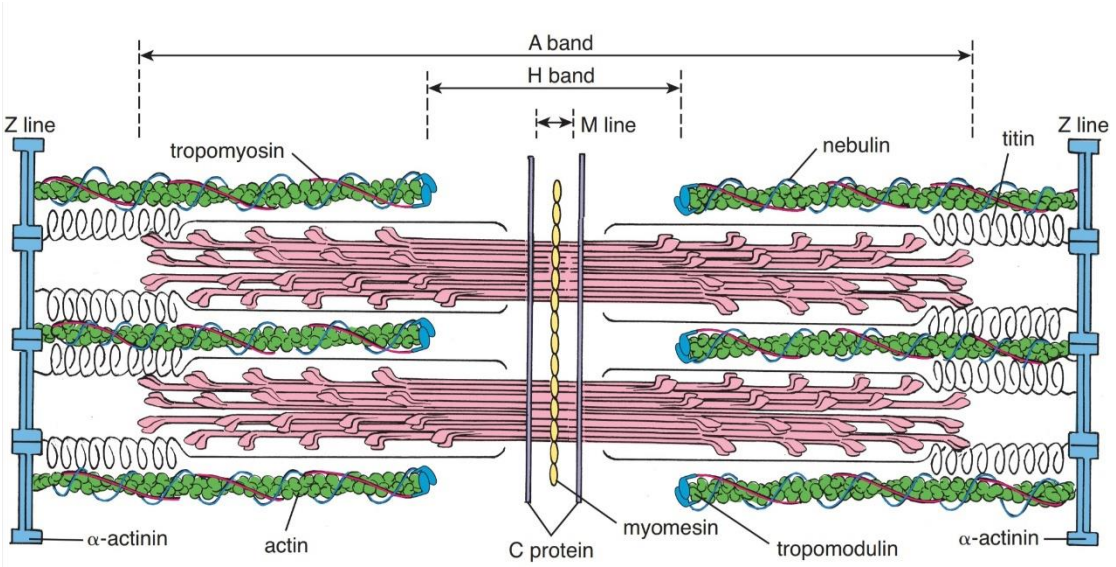
٣- بروتينات خط M :

١) **الميوميزين Myomesin و Obscurin و M-protein** : بروتينات رابطة للميوزين تعمل على تثبيت الخيوط الثخينة في أماكنها.(بمعنى أخر ربط ذيول الميوزين مع بعضها وكأنها تشبه حلقة حول هذه الخيوط)

٢) **بروتين كرياتين كيناز creatine kinase**: الذي يحفز على نقل مجموعة الفوسفور من فوسفات الكرياتين (مخزن مجموعة الفوسفور عالية الطاقة) إلى الادينوزين ثنائي الفوسفور(**ADP**) مما يؤدي إلى تزويد العضلات بال **ATP** من أجل التقلص العضلي.



٤- بروتين تيتن Titin connectin : له جزء خيطي وجزء يشبه النابض ويمتد من خط/قرص **Z** الى منتصف القسيم العضلي، حيث يقوم خيطين من بروتين تيتن بتثبيت كل خيط ثخين بخط/قرص **Z**، وبذلك يساهم التيتن بالمحافظة على البنية الهندسية للخيط الثخين و جعله في منتصف خطي **Z** بمعنى آخر يعمل كقالب **template** لجمع الخيوط الثخينة، ويمنح المرونة للقسيم العضلي بفضل جزئه الشبيه بالنابض الذي يشكل صلة وصل بين نهاية الخيط الثخين والقرص z. أيضا يساهم في منع تبدل مكان القسيم العضلي أو التمدد المفرط أثناء الشد.



بنية القسيم العضلي والبروتينات المكونة للخيوط الرفيعة والثخينة

مكونات خط/قرص Z:

تحتوي أقراص Z على بروتين ألفا أكتينين الذي يعمل على ربط الخيوط الرفيعة وتثبيتها بأقراص Z.

البروتينات البنيوية والبروتينات الأخرى:

١- الديسمين - desmin : بروتين ينتمي للخيوط المتوسطة وبمساعدة من بروتين plectin يشكل شبكة تحيط بالقسيم العضلي بمستوى الأقراص Z تتمثل وظيفته في:

A. ربط أقراص z ببعضها وبذلك فإن الديسمين يربط الليفات العضلية المتجاورة ببعضها وبغشاء الخلية. حيث تنغمس خيوط الديسمين بغشاء الخلية بلويحات خاصة تدعى القسيمات الضلعية costamere.

B. تثبيت النواة ويساهم في تنظيم توزع الميتوكوندريا في الخلايا العضلية وفي حال غياب الديسمين فإن توزع ووظائف الميتوكوندريا يختل ويؤدي الى موت الخلايا.

٢- الديستروفين Dystrophin: بروتين يقوم بربط خيوط الأكتين باللامينين الذي يتوضع في الصفيحة الخارجية. ينتج عن غيابه مرض وراثي يدعى الحثل العضلي الدوشيني Duchenne muscular dystrophy (DMD) حيث تستبدل الألياف العضلية بنسيج ليفي او دهني وقد يؤثر هذا على عضلات القلب.

معقدات بروتينية protein complexes

تتثبت أقراص Z بغشاء الخلية بواسطة مناطق خاصة مكونة من معقدات بروتينية في غشاء الخلية، وتتمثل وظيفتها في المحافظة على بنية واتجاه وترتيب أقراص Z في الليفات العضلية المتجاورة في كامل الخلية العضلية.

ولها نوعين:

القسيمات الضلعية costamere:

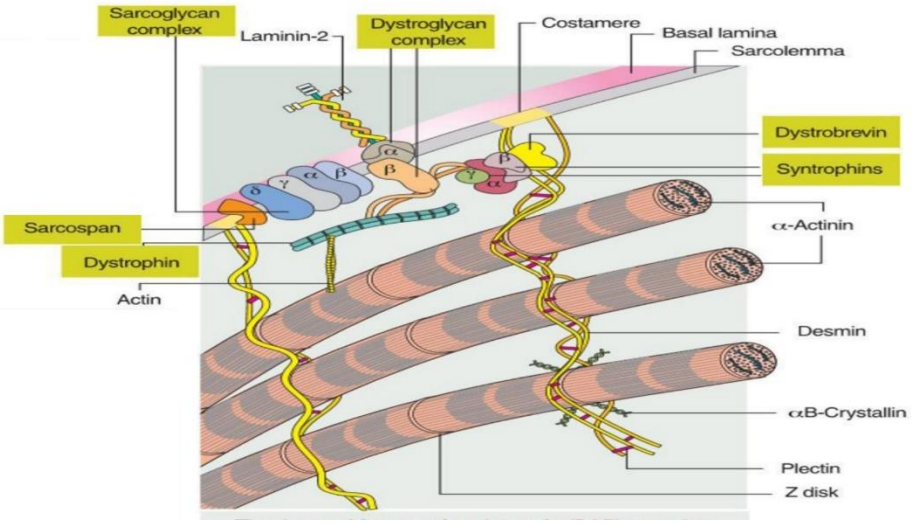
مناطق خاصة في غشاء الخلية العضلية تتوضع في الغشاء بمناطق مقابلة لأقراص Z مكونة من معقدات بروتينية عابرة للغشاء وبروتينات محيطية و تنغرس فيها بروتينات الديسمين.

معقدات بروتينية سكرية مرتبطة بالديستروفين

Dystrophin-associated glycoprotein complexes:

A- معقد ساركوغليكان Sarcoglycan complex : مكون من عدة بروتينات عابرة للغشاء يتوضع في القسيمات الضلعية يعمل على ربط وتقوية معقد الديستروغليكان.

B- معقد ديستروغليكان Dystroglycan complex: مكون من بروتينين عابربين للغشاء يعمل على ربط اللامينين في الصفيحة الخارجية بالديستروفين في داخل الخلية



بروتينات القرص z بالإضافة المعقدات البروتينية والبروتينات البنيوية الأخرى.

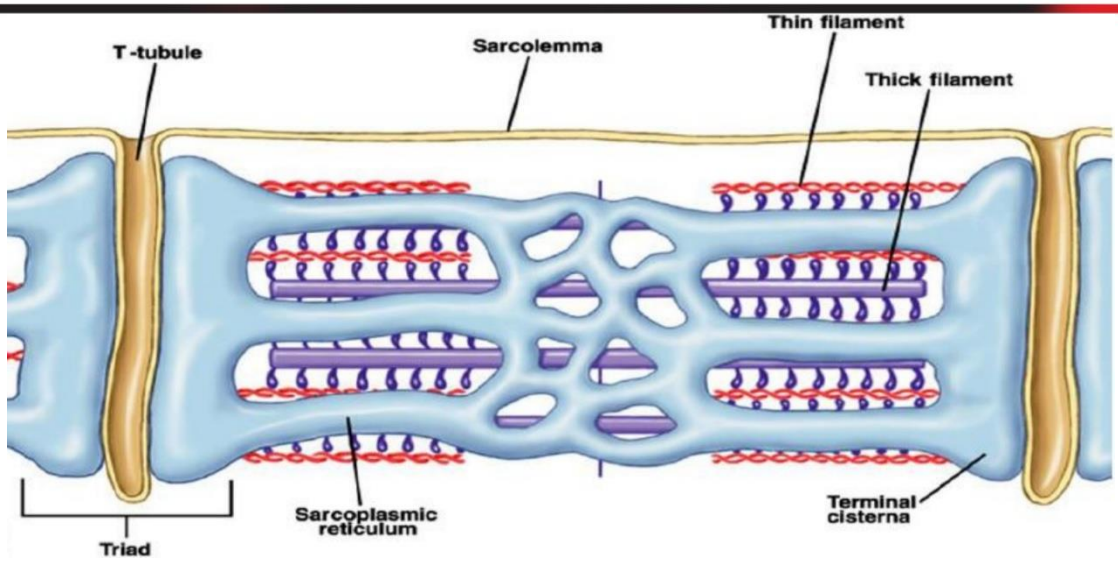
الشبكة الهيولية العضلية ومجموعة النبيبات المستعرضة :Transverse tubule system& Sacroplamic reticulum

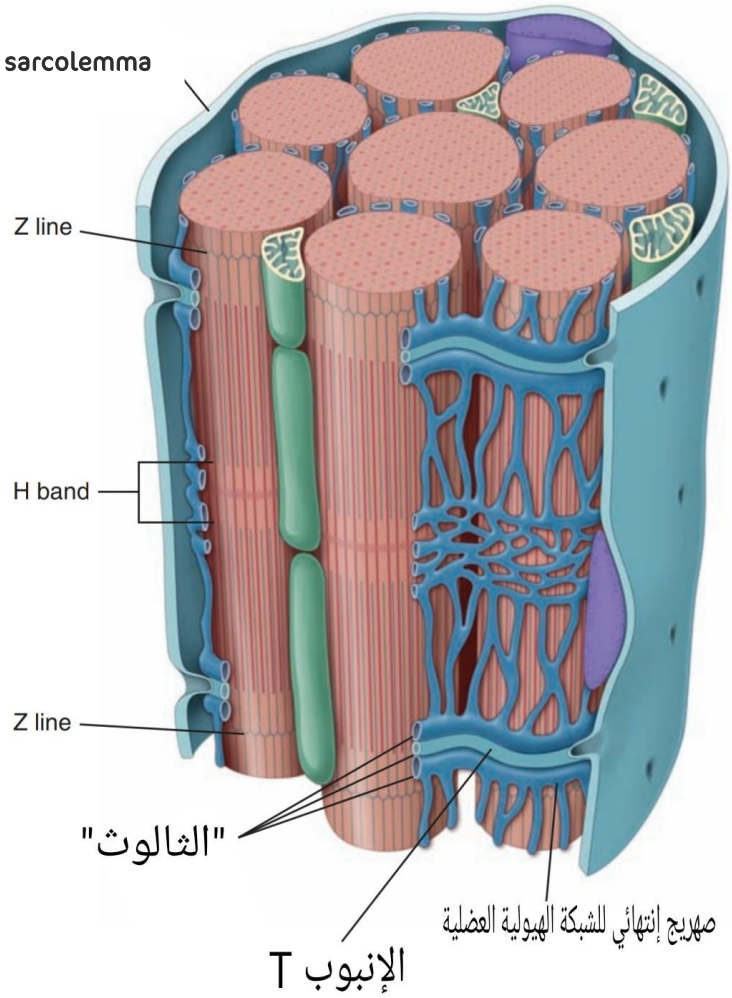
- ✓ الشبكة الهيولية العضلية (الشبكة الهيولية الملساء) في العضلات متخصصة باحتجاز شوارد الكالسيوم.
- ✓ بخلاف الخلايا الأخرى فأنّ الشبكة الهيولية العضلية مكونة من شبكة متفرعة من صهاريج صغيرة تلتف وتحيط بشكل دائري وكامل بكل لييف عضلي.
- ✓ تحتوي العضلات الهيكلية على مجموعة من النبيبات المستعرضة تدعى نبيبات T (T Tubules) لتأمين تقلص منتظم للعضلات.
- ✓ كل مجموعة من الليفات التقلصية محاطة بنبيبات مستعرضة تتشكل من انغمادات شبه أصبعية في غشاء الخلية.

- الثالوث Triad: هو عبارة عن صهريجين منتفخين من الشبكة الهيولية الملساء مع نبيب مستعرض يقوم بتمرير شوارد الكالسيوم إلى داخل الخلية العضلية (الليف).

- ✓ يوجد هذا النظام على حدود القرص (العاتم)، والهدف من وجوده أن شاردة Ca عندما تدخل إلى داخل الخلية تكون شاردة مسمِمة للمتقدرات الحيوية، لذلك وجد هذا النظام من أجل أن تتحرك فيها شوارد Ca وتطرح من قناة T دون أن تتخرب المتقدرات، وبالتالي فإن شوارد الكالسيوم لا تدخل إلى الخلية إلا عبر مسارات محددة، وبالتالي فإن هذا النظام من أجل تحديد حركة شوارد الكالسيوم وأداء الوظيفة دون أن تتخرب الخلية.

إن نظام T من خلال توزيعه المتجانس للشوارد عبر العضلة يساهم بالتقلص المتجانس للعضلة.





صورة ترسيمية لخلية عضلية
تظهر فيها الشبكة الهيولية
العضلية و النبيبات T و الثالوث

بدء وتنظيم التقلص العضلي Initiation and regulation of contraction:

أحداث ما قبل التقلص العضلي:

i. يبدأ التقلص العضلي بوصول دفعات عصبية على طوال المحوار الى منطقة الاتصال العضلي العصبي المتواجد بين الليف العضلي ونهاية المحوار المحرك.

ii. تحفز الدفعات العصبية تحرير الأستيل كولين من الحويصلات الموجودة في الأزرار/البصلات الانتهائية في المحوار إلى الشق المشبكي.

iii. يرتبط الأستيل كولين المحرر بمستقبلاته النيكوتينية والتي تتمثل في قنوات الصوديوم المبوبة بالأستيل كولين channels ACh-gated Na مما يؤدي الى عبور الصوديوم عبر هذه القناة الى داخل الخلية العضلية.

iv. ينتج عن دخول الصوديوم زوال الاستقطاب موضعي في غشاء الخلية العضلية.

v. يحفز زوال الاستقطاب الموضعي فتح قنوات الصوديوم كهربائياً Voltage-gated Na channels في غشاء الخلية العضلية وبالتالي ينتشر زوال استقطاب عام في كامل غشاء الخلية بما فيها جميع نبيبات T.

vi. يؤدي زوال الاستقطاب في نبيبات T والتي على تماس مباشر مع صهاريج الشبكة الهيولية التي تحتجز الكالسيوم في لمعتها إلى تحرر الكالسيوم عن طريق فتح قنوات الكالسيوم الموجودة في غشاء الشبكة الهيولية.

vii. ينتشر الكالسيوم المحرر بين القسيمات العضلية ويرتبط بمعقد الترويونين troponin complex مما يؤدي الى إزاحة التروبوميوزين عن مواضع ارتباط الأكتين بالميوزين.

viii. الكشف عن مواضع الارتباط الفعالة في جزيئات الأكتين يؤدي الى تشكل جسور عرضية بين الأكتين والميوزين.

الدورة التقلصية Contraction cycle:

١- في حالة الراحة، لا تستطيع رؤوس الميوزين الارتباط بالمواضع الفعالة في الأكتين كون التروبوميوزين يغطيها ولا يتم كشفها إلا بتحرر الكالسيوم وتوفر الطاقة كي تنتصب رؤوس الميوزين.

٢- عند توفر الكالسيوم والطاقة، تكشف مواضع الارتباط الفعالة في جزيئات الأكتين بارتباط الكالسيوم بمعقد التروبيونين والذي بدوره يسحب التروبوميوزين جانبا وتصبح مواضع الارتباط جاهزة للارتباط برأس الميوزين ويترافق ذلك مع انتصاب رأس الميوزين بعد أن كان قد ارتبط بال ATP و تحلمهه الى ADP+Pi حيث يرتبط رأس الميوزين بشكل ضعيف بالأكتين نتيجة حلمهة ATP.

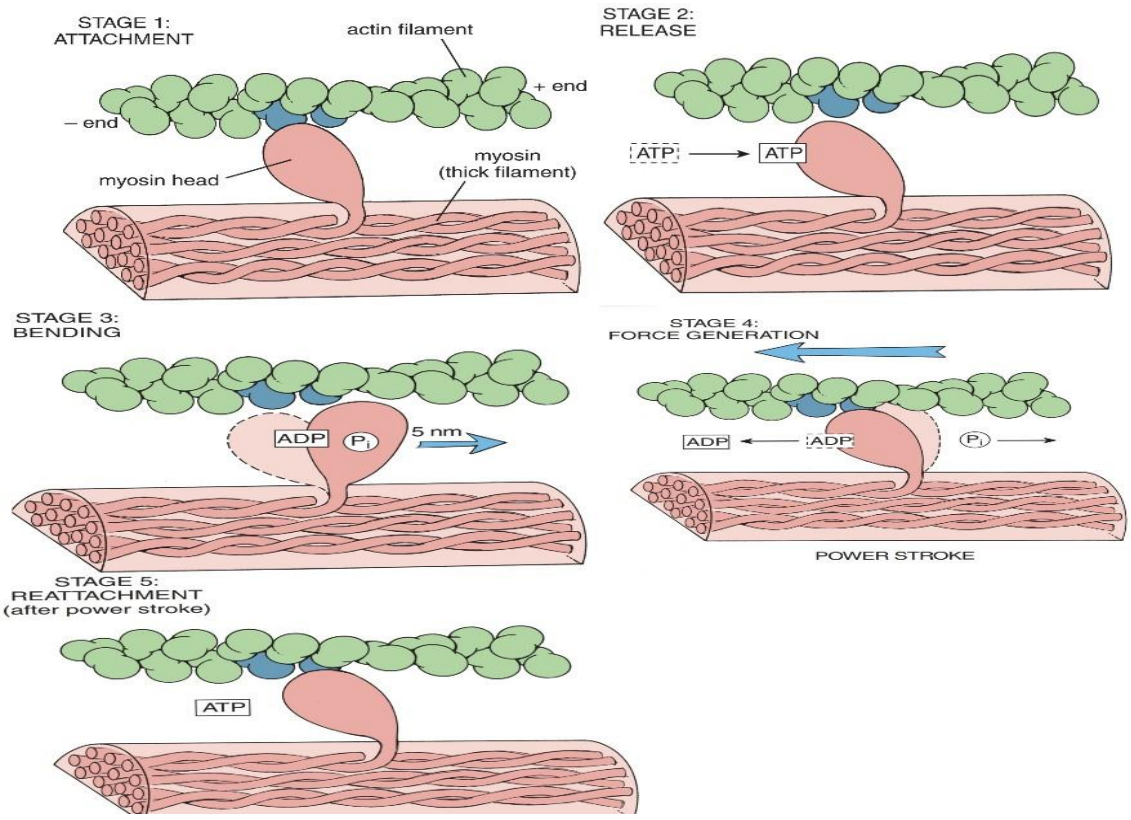
٣- عندما يتحرر الفوسفور اللاعضوي من رأس الميوزين ويبقى ADP مرتبطا برأس الميوزين المنتصب، يتغير شكل رأس الميوزين مما يؤدي الى ارتباطه بقوة بالأكتين ويتشكل جسر عرضي بين الأكتين والميوزين actomyosin cross-bridge cycle.

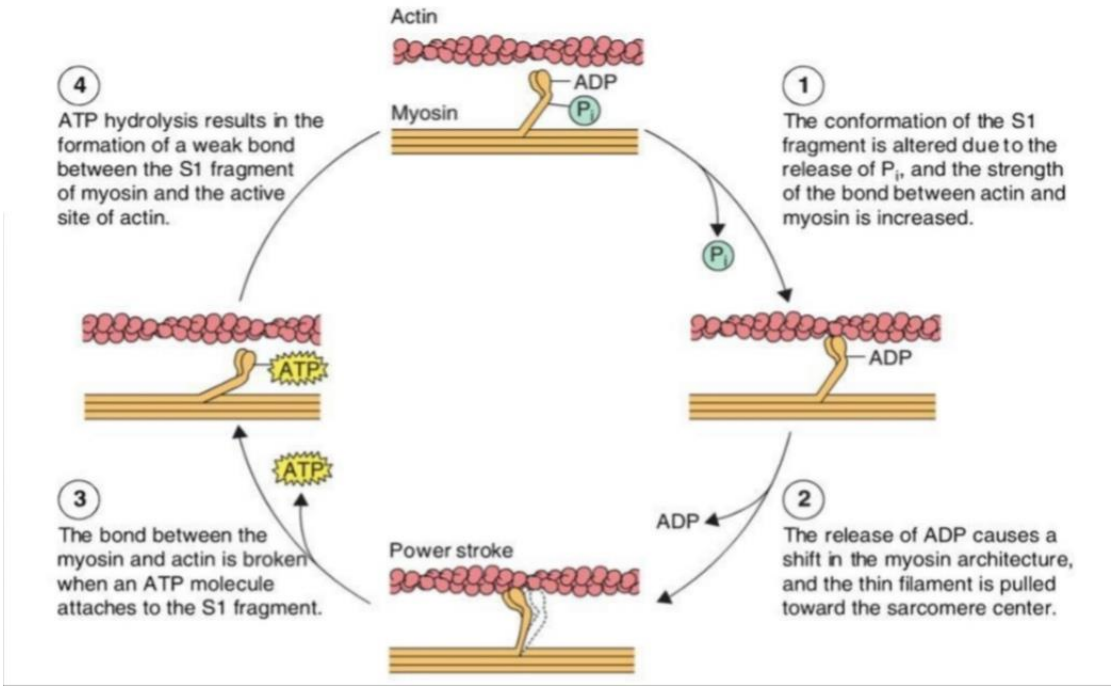
٤- يؤدي تحرر ADP من رأس الميوزين الى دوران رأس الميوزين وانحنائه حيث يسحب جزيئة الأكتين بمقدار ٥ نانومتر باتجاه الخط M وهذا مايسمى ب شوط القوة (ضربة القدرة) power stroke.

٥- يؤدي ارتباط جزيئة ATP جديدة الى تحرر رأس الميوزين وإعادة تجهيزه لدورة تقلصية عضلية أخرى. إذا لم تتوفر ATP يبقى معقد الآكتين- الميوزين ثابت وهذا ما يسبب قساوة عضلية شديدة (التيبس الرمي Rigor mortis) الذي يحدث بعد الموت، لذا تنفصل جسور الارتباط بين الأكتين والميوزين القديمة بعد اتحاد رؤوس الميوزين بجزيئات ATP جديدة.

٦- يحتاج القسيم العضلي الى ٢٠٠ دورة تقلصية حتى يتم سحب أو انزلاق جميع خيوط الأكتين على خيوط الميوزين في قسيم عضلي واحد.

٧- **الاسترخاء Relaxation**: يحدث الاسترخاء نتيجة قلة الكالسيوم في هيولى الخلية العضلية حيث يعود الكالسيوم بعد انتهاء الاستقطاب في نبيبات T الى الشبكة الهيولية عن طريق مضخات الكالسيوم Ca2-activated ATPase pump الموجودة في غشاء الشبكة الهيولية ويتم احتجازه ببروتين رابط يدعى calsequestrin.





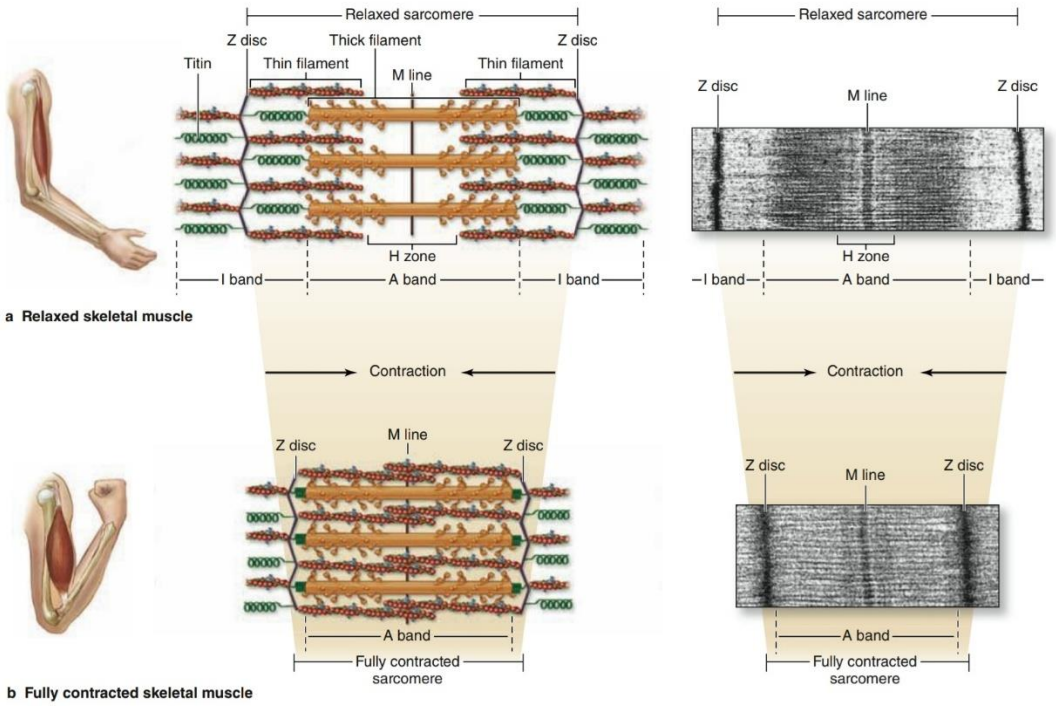
فيديو يوضح الية التقلص العضلي

حصيلة التقلص العضلي:

☒ لا تحدث تغيرات في طول الخيوط الرفيعة أو الثخينة وإنما يحدث زيادة تداخل خيوط الآكتين مع الميوزين الناجم عن انزلاق الخيوط الرفيعة حتى تصل لخط **M**

☒ ينقص حجم الأشرطة النيرة **I Band** عندما تنزلق الخيوط الرفيعة في الأشرطة العاتمة **A Band** و تختفي منطقة **H** (جزء من الخيوط الثخينة **A Band**).

☒ حصيلة التقلص العضلي هي تناقص حجم القسيم العضلي بمقدار ٠,٥ - ١ ميكرون وبالتالي يتناقص حجم الليف العضلي بشكل كبير.



التعصيب:

- تتوزع الأعصاب الحركية الميالينية (المغمدة بالنخاعين) في النسيج الضام في غمد الحزمة العضلية. يتفرع كل عصب إلى العديد من النهايات التغصنية ويفقد غمده الميالينى في مكان التعصب.

- يشكل المحوار نهاية متسعة تتوضع ضمن ميزاب في سطح الخلية العضلية، تدعى هذه البنية **الاتصال العضلي العصبي** Myoneural junction أو **اللوحة الانتهائية المحركة** Motor end-plate.

- تحتوي نهاية المحوار العديد من المتقدرات والحويصلات المشبكية تحتوي ناقل عصبي يدعى الإستيل كولين Acetylcholine.

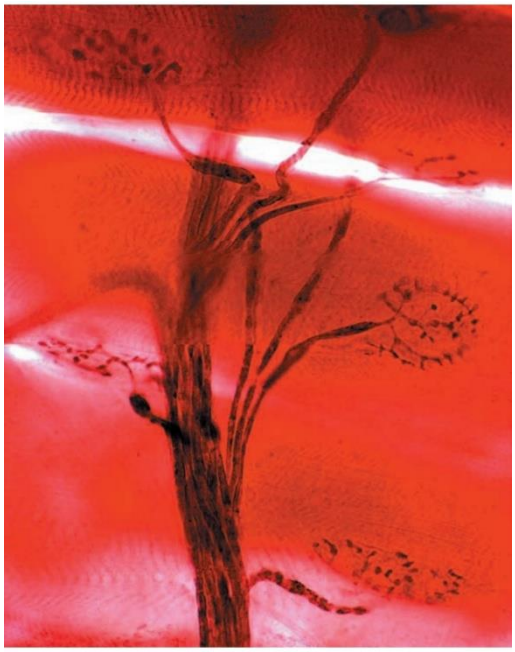
- توجد مساقة بين العضلة والمحوار يدعى الشق المشبكي Synaptic cleft . يبرز من غمد الليف العضلي في نقطة الاتصال العديد من الثنيات أو الطيات الاتصالية Junctional folds يتوضع تحتها هيولى الخلية العضلية الحاوية على المتقدرات و النوى و الجسيمات الريبة و حبيبات الغليكوجين.

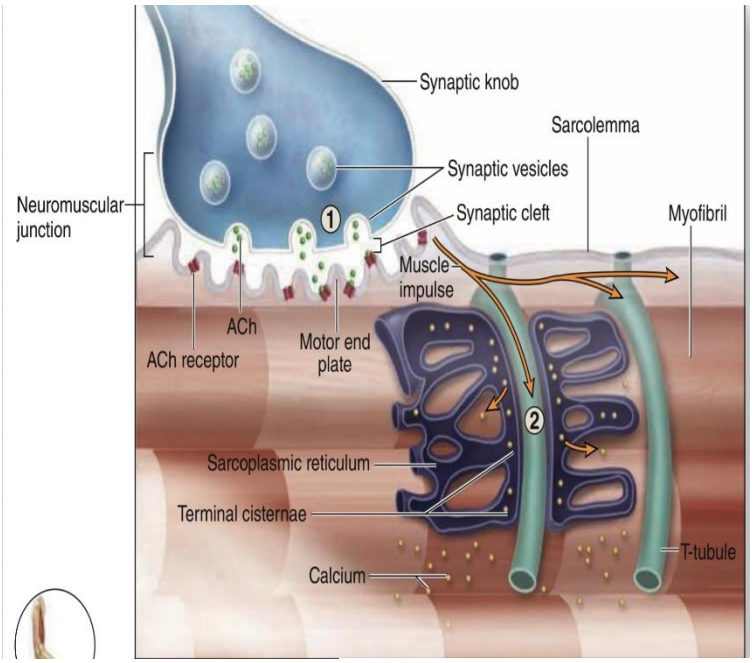
- يستطيع ليف عصبي واحد (محوار واحد) تعصيب ليف عضلي واحد أو يمكن أن يتفرع و يكون مسؤول عن تعصيب ١٦٠ أو أكثر من ليف عضلي. في حالة التعصيب المتعدد، يدعى الليف العصبي وجميع الألياف العضلية التي يعصبها الوحدة المحركة Motor unit.

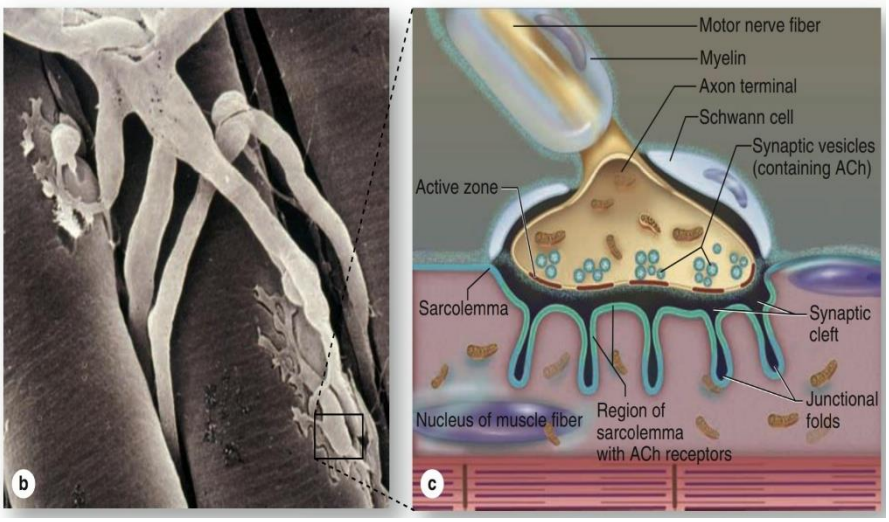
ملاحظة

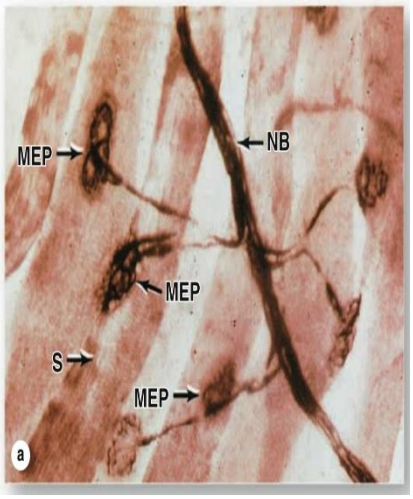
- لا تتقلص الألياف العضلية الهيكلية بشكل مفرد بل تتقلص جميعا أو لا تتقلص all or none law ".
- عدد الوحدات المحركة واختلاف حجم كل وحدة محركة مسؤولة عن تنظيم شدة التقلص العضلي

تعتمد مقدرة عضلة ما على إنجاز حركات دقيقة على عدد وحداتها المحركة فعلى سبيل المثال، تتطلب عضلات العين تنظيم دقيق جدا لذا فإن كل ليف عضلي معصب بليف عصبي مختلف عن الآخر، أما العضلات ذات الحركات البطيئة كعضلات الأطراف يُعصب محوار واحد متفرع وحدة محركة مؤلفة من أكثر من ١٠٠ ليف عضلي.

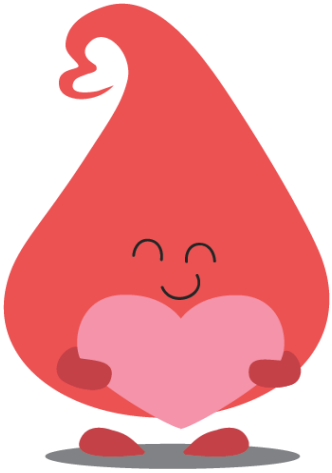








صور مجهرية وأخرى ترسيمية توضح اللويحة المحركة.



التطبيق الطبي:

١ - 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. يعود سبب انخفاض مستقبلات الاستيل كولين إلى ارتباط إضداد موجودة في مجرى الدم بالمستقبلات المتوضعة في طيات الاتصال مما يؤدي إلى تثبيط الاتصال العضلي العصبي الطبيعي، وعندها مهما انفرز الأستيل كولين لا يستقبل ولا يحدث كمون عمل ويبدأ المرض بعضلات العينين ثم يمتد للجزء السفلي من الجسم

٢ - التيبس الرمي Rigor moris ظاهرة مؤقتة تبدو العضلات متخشبة وقاسية تحدث بعد الموت نتيجة عدم قدرة الخلية على تصنيع ATPلفك ارتباط رؤوس الميوزين بالأكتين و بالتالي يبقى الميوزين مرتبط بالأكتين.

٣- سموم وذيفانات بعض الجراثيم أو سموم النباتات:

- ذيفان botulinum toxin : يؤدي الى تثبيط تحرير الأستيل كولين من الحويصلات في المنطقة ما قبل المشبكية وبالتالي تعاني العضلات من الارتخاء والشلل.

- سم كورار النباتي الذي يستخدم في سهام الصيد في أفريقيا يرتبط بمستقبلات الأستيل كولين مابعد المشبكية ويمنع تقلص العضلات وبالتالي ترتخي العضلات ويصاب الشخص أو الحيوان بالشلل.

دور كرياتين فوسفات Creatine phosphate في التقلص العضلي:

- تحتوي الألياف العضلية على مستودعات احتياطية للطاقة لتتغلب على موجات النشاط. إن ال ATP المنتج من الأكسدة التنفسية وفوسفات الكرياتين من أكثر أشكال الطاقة التي تستعمل في التقلص العضلي.
- يلعب Creatine kinase الذي يصنع في المتيوكوندريا دوراً في نقل مجموعات الفوسفات بين المتيوكوندريا والليفات العضلية حيث يساهم في تحفيز توليد الطاقة من حلمهة Creatine phosphate.

أنماط الألياف العضلية Muscle fiber types:

تصنف الألياف العضلية في الإنسان إلى ثلاثة أصناف بناء على خواصها الفيزيولوجية والكيميائية النسيجية والبيوكيميائية. هذه الأصناف الثلاثة من الألياف عادة متواجدة في معظم العضلات و هي:

- الالياف نمط I البطيئة او التأكسدية الحمراء
- الالياف نمط IIa السريعة اومتوسطة تحلل السكر بالتاكسد
- الالياف نمطIIb السريعة او الياف بيضاء محللة للسكر

١ - ألياف نمط (I) أو البطيئة أو الألياف التأكسدية الحمراء: Red oxidative fibers

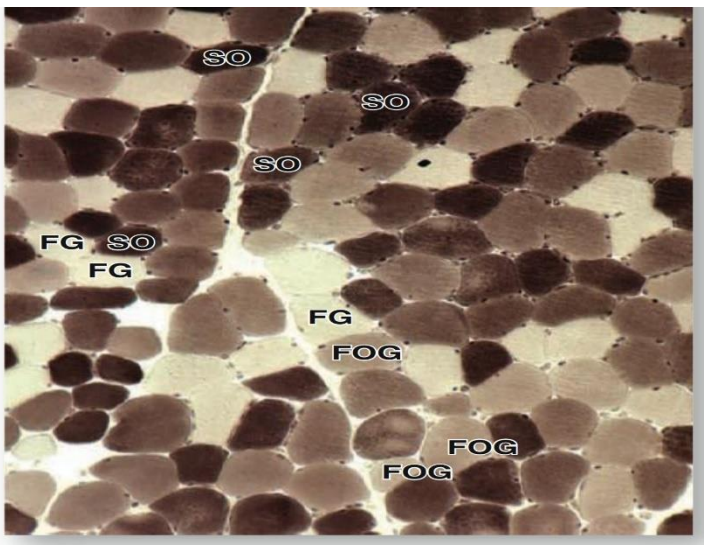
- ✓ تحتوي على العديد من المتقدرات وغنية بالميوغلوبين Myoglobin (الخضاب العضلي) ، بروتين يحتوي مجموعات من الحديد ترتبط بالأوكسجين ومسؤول عن إعطاء اللون الاحمر العاتم، بالإضافة إلى غناها بالأوعية الدموية.
- ✓ تحصل الألياف العضلية الحمراء على الطاقة بشكل أساسي من الأكسدة الهوائية الفوسفورية للأحماض الدهنية وتتكيف مع التقلص العضلي المستمر والبطيء لفترات طويلة من الزمن حسب الحاجة كما في العضلات السفلية للظهر.
- ✓ تكثر هذه الألياف في الأشخاص الذين يركضون بالماراثونات.

٢ - ألياف نمط (II a) أو السريعة أو ألياف متوسطة تحلل السكر بالتأكسد intermediate oxidative glycolytic fibers:

- ✓ تحتوي على العديد من المتقدرات وغنية بالميوغلوبين وكمية لا بأس بها من الغليكوجين. تعتمد على الاستقلاب التأكسدي الفوسفوري واستقلاب الغليكوجين معاً، وهي ألياف متوسطة من حيث اللون واستقلاب الطاقة مقارنة مع الألياف العضلية الأخرى.
- ✓ تتكيف مع التقلص السريع والنشاطات المفاجئة والقصيرة كتلك المطلوبة من العدائين ٤٠٠-٨٠٠ متر وفي لاعبين الهوكي.

٣- ألياف نمط (IIb) أوالسريعة أو ألياف بيضاء محللة للسكر White glycolytic fibers :

- ✓ تحتوي على القليل من المتقدرات والقليل من الميوغلوبين ولكنها غنية جدا بالغليكوجين مما يجعل لونها باهتة اللون. تعتمد **بشكل أساسي** على **تحلل السكر** كمصدر للطاقة وتتكيف مع التقلصات السريعة ولكن تتعب بسرعة.
- ✓ تكثر هذه الألياف في العدائيين لمسافة ١٠٠ متر ورافعي الأثقال.



أنماط الألياف العضلية الهيكلية. مقطع عرضي في عضلة مخططة هيكلية بملون كيميائي نسيجي. توزع الألياف البطيئة SO نمط I و الألياف المتوسطة FOGنمط (II a) و الألياف السريعة FG نمط (II b)

العنوان

- يشرف على تمايز العضلة إلى ألياف عضلية حمراء وبيضاء ومتوسطة تَكَرُّر الدفعات العصبية من أعصابها المحركة.
- تحتوي ألياف الوحدة المحركة الواحدة على نفس النوع من الألياف.
- إذا تم تبديل أعصاب الألياف الحمراء بأعصاب الألياف البيضاء تجريبيا تتغير الصفات الشكلية والوظيفية لهذه الألياف لتتوافق مع العصب المعصب.
- يؤدي الزوال البسيط للتعصيب إلى ضمور وشلل الليف العضلي.

عند تعرض العضلات الهيكلية لتمرين قصير (عَدْو سريع) فإنها تستخدم الاستقلاب اللاهوائي للغلوكوز (مصدره الأساسي الغليكوجين المختزن في العضلات) منتجة حمض لبن ومسببة نقص في الأوكسجين الذي يُعوض لاحقا خلال فترة الراحة.
يسبب حمض اللبن المتشكل خلال هذا التمرين ألم وارتجاف في العضلات الهيكلية.
تصنيف الألياف العضلية الثلاثة في الخزعات النسيجية له أهمية سريرية كبيرة في تشخيص أمراض العضلات أو ما يسمى الاعتلالات العضلية Myopathies .

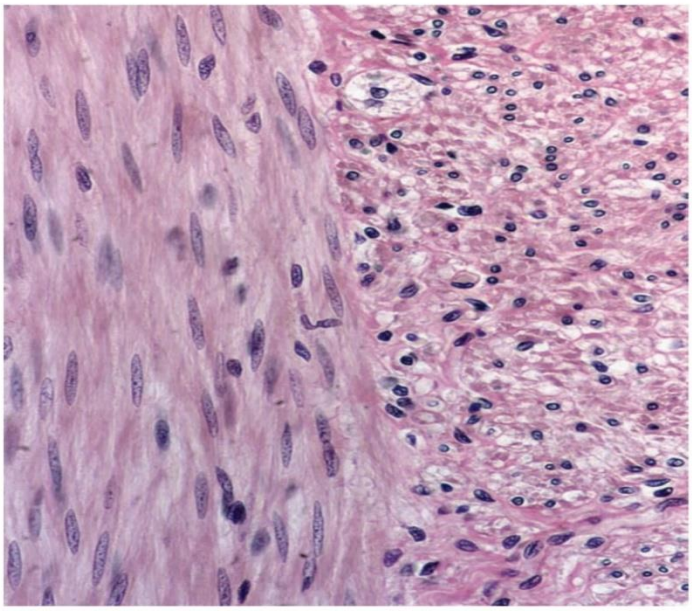
ملاحظات

- اللحم الأبيض هو لحم الأسماك و لحم الدجاج ، الصدر في الدجاج كله ألياف بيضاء (٩٩ %) ألياف بيضاء.
- بالنسبة للإنسان فالألياف الحمراء نجدها في عضلات العنق وعضلات الظهر وعضلات الساق وإذا فحصناها تحت المجهر سنجد فيها ألياف بيضاء أو متوسطة على الرغم من أنّ لونها أحمر.
- ومنه فإن لون الألياف وتصنيفها يعتمد على المدد العصبي وعلى نوع الاستقلاب الذي تستخدمه (تستخدم الغليكوجين أم الأكسدة الفوسفورية)، فالبيضاء تعتمد على الغليكوجين مما يجعلها باهتة اللون ، أما الحمراء فتعتمد بشكل أساسي على الأكسدة الفوسفورية للأحماض الدهنية.

العضلات الملساء Smooth muscles

- تتكون من تجمعات لخلايا مغزليه لا تحتوي على تخطيطات عرضية وتتقلص ببطء وتحت سيطرة غير إرادية.
- خلايا عضلية مستدقة الطرفين منتفخة الوسط تحوي نواة مركزية بيضاوية في الجزء العريض من الخلية _ نواة السيجارة _ طول الخلية ٢٠ ميكرون و أحيانا تصل إلى ٥٠٠ ميكرون فقط في حالات الحمل.
- توجد على هيئة طبقات تحيط بالأعضاء التي تتحرك لا إراديا وفي الأنابيب المجوفة كما في المعدة والأمعاء وقنوات التناسل والإفراغ والتنفس وكذلك في جدر الأوعية الدموية.
- تتداخل ذيول الخلية مع بطون الخلايا المجاورة فيتم نقل التنبيهات بين الخلايا المتجاورة عن طريق الأغشية الخلوية.

سميت بالعضلات الملساء لأنها غير مخططة (لا تحتوي أقراص عاتمة ونيرة)، فهي تحتوي على خيوط الأكتين والميوزين إلا أنها لا تكون مرتبةً بشكل أقراص



مقطع طولي وآخر عرضي في العضلات الملساء

- إذا جاء القطع العرضي في وسط الخلية تظهر النواة أما إذا جاء في الأطراف فلا تظهر النوى.

- تحتوي العضلات الملساء على مجموعة من خيوط متوسطة بقطر ١٠ نانوميتر ويعد الديسمين **Desmin** من الخيوط المتوسطة الرئيسة في جميع العضلات الملساء، ويوجد الفيمينتين **Vimentin** أيضا في خلايا العضلات الملساء.

- لا يوجد لدينا خطوط Z في العضلات الملساء بينما تتواجد **الأجسام الكثيفة Dense bodies** التي تعمل عمل خطوط Z.

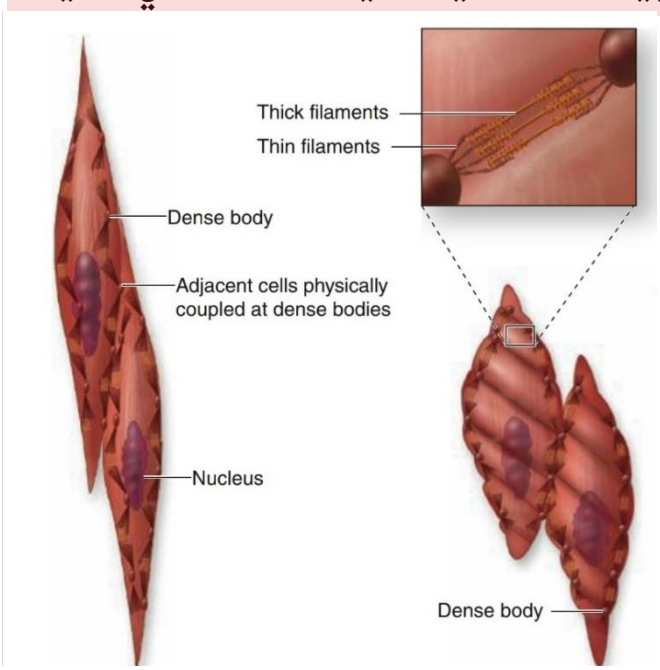
- يلتحم الديسمين والفيمينتين والأكتين الخيطي بأجسام كثيفة مرتبطة بالغشاء أو بالهيولى. تحتوي الأجسام الكثيفة على الأكتينين ألفا وتعمل هذه الأجسام كأقراص Z في العضلات المخططة.

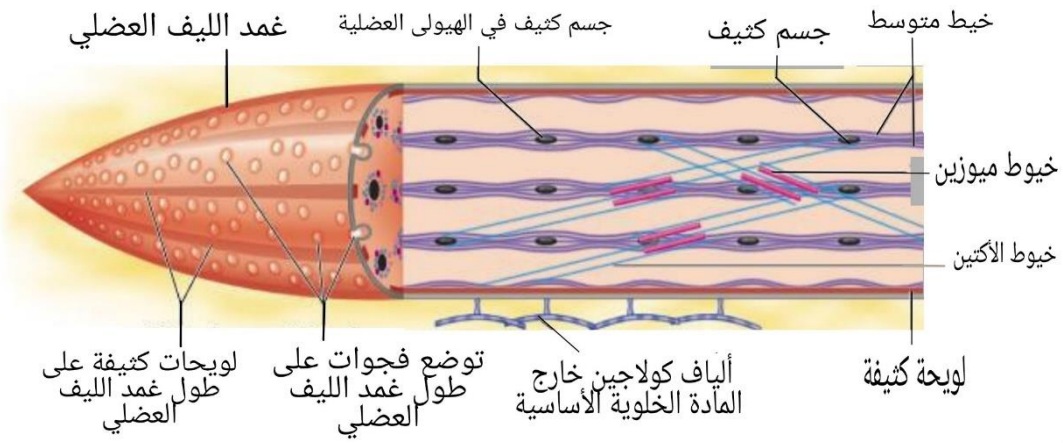
- تساهم عملية ارتباط الخيوط الرفيعة والمتوسطة بالأجسام الكثيفة بنقل القوى التقلصية إلى الخلايا العضلية الملساء المجاورة والألياف الشبكية المحيطة بها.

- يوجد في غشاء الخلية العديد من الإنخماصات التي تشبه الفجوات **caveolae** والتي تحتوي على قنوات شاردية أساسية التي تنظم تحرر الكالسيوم من الشبكة الهيولية والتي تعد مسؤولة عن بدء التقلص العضلي وبالتالي

تخلو خلايا العضلات الملساء من نبيبات T.

- بخلاف الخلايا العضلية المخططة، تتقاطع حزم خيوط الآكتين والميوزين بشكل مائل مع هيولى الخلية حيث تكون خيوط الميوزين أقل انتظاما بين الخيوط الأكتين وبالتالي تتشكل جسور عرضية أقل **(تكون خيوط الأكتين والميوزين متوازية فيما بينها ولكنها غير موزاية للمحور الطولي للخلية)**.





الخيوط الرفيعة:

❖ تتكون من الأكتين والتروبوميوزين (ليس مسؤول عن تغطية أماكن الأكتين الفعالة) والكالديسمون Caldesmon هو بروتين رابط للأكتين يقوم بتغطية أماكن الأكتين الفعالة وعمله يعتمد على الكالسيوم لكشف الأماكن الفعالة في الأكتين.

الخيوط الثخينة:

❖ تتكون من جزيئات الميوزين II وتنتظم بشكل مختلف عما هو الحال في العضلات الهيكيلة حيث تنتظم رؤوس الميوزين باتجاه واحد وبذلك تشكل جزيئات الميوزين خيوط ذات قطبية جانبية.

بروتينات أخرى مرافقة لجهاز التقلص العضلي في الخلايا العضلية الملساء:

Myosin light chain kinase (MLCK): أنزيم يلعب دوراً أساسيا في بدء الدورة التقلصية، فبعد أن يتم تنشيطه بمعقد Ca2–calmodulin حيث يعمل على فسفرة السلسلة الخفيفة المنظمة من رؤوس الميوزين وبالتالي تتشكل جسور عرضية بين الأكتين والميوزين.

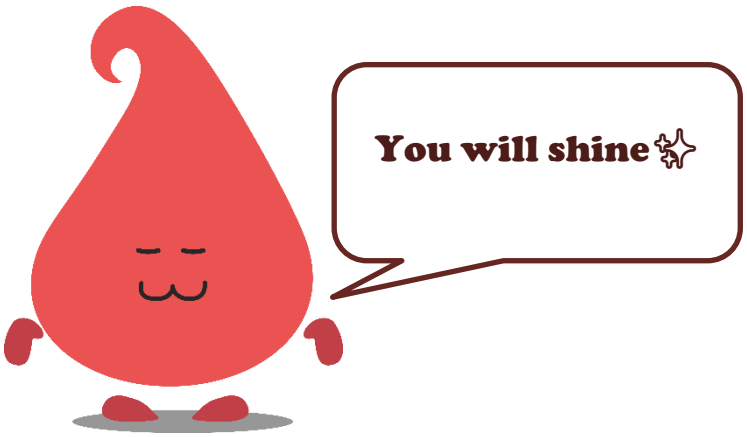
ألفا – Actinin: من المكونات البنيوية للجسم الكثيف.

الكالموديلين Calmodulin: بروتين رابط للكالسيوم (بمثابة TnC في العضلات المخططة) له دور في تنشيط الكالديسمون الذي يؤدي الى كشف المواقع الفعالة من خيوط الأكتين، كما يرتبط معقد كالموديلين -كالسيوم بال MLCK لتنشيطه.

آلية تقلص العضلات الملساء:

❖ تحتوي العضلات الملساء على نهايات عصبية أدرينالية وكولينية تعمل بشكل معاكس، فإما أن تكون محرضة أو مثبطة للتقلص العضلي.

❖ تنشط النهايات العصبية الكولينية في بعض الأعضاء التقلص العضلي والأدرينالية تثبطه بينما يحدث العكس في أعضاء أخرى.



تتقلص العضلات الملساء لا ارداديا تحت سيطرة الاعصاب الذاتية و الهرمونات و الظروف الوظيفية الموضعية كدرجة التمدد

تخلو العضلات الملساء من مناطق الاتصال العصبي العضلي (اللوحة المحركة) و بدلا من ذلك تتوضع انتفاخات محورية تحتوي على حويصلات مشبكية بالقرب من غمد الليف العضلي دون او بالقليل من بنى متخصصة في مناطق الاتصال حيث لا تصنع الالياف العصبية اتصالا مباشرا مع العضلات الملساء على الاطلاق لنها تشكل بدلا عنه ما يدعى بالموصلات المنتشرة التي تفرز موادها في السائل الخلالي على مسافة تبلغ بضع نانومترات الى مكرومترات من غشاء العضلة .

تتصل الخلايا فيما بينها بارتباطات فضوية تسمح بنشر منبه التقلص كموجة متزامنة بين الخلايا.

تعمل العضلات الملساء بنشاط ذاتي دون منبهات عصبية ويكون للمدد العصبي وظيفة معدلة لنشاط العضلات أكثر من كونها سبباً في بدأ عمل العضلات

نظرا لغياب اللوحات المحركة في العضلات الملساء فإن آلية التقلص وانتشار موجة التقلص يتم إثارتها بمايلي:

١- زوال الاستقطاب يحدث نتيجة تنبيه عصبي للعضلات الملساء:

يؤدي إلى تحرر الأستيل كولين والنور أدرينالين من المشابك وتحفز مستقبلات موجودة على الغشاء العضلي الى توليد كمون غشائي يؤدي الى فتح قنوات الكالسيوم.

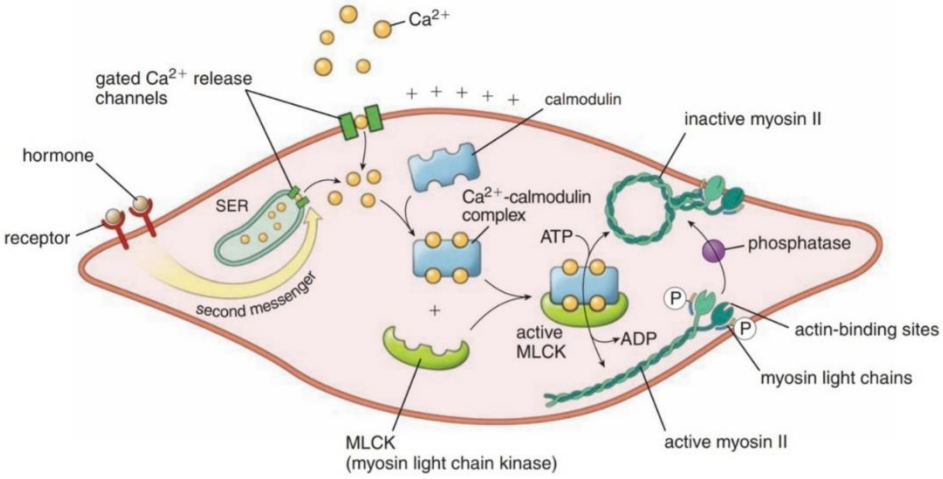
٢- تنبيه كيميائي:

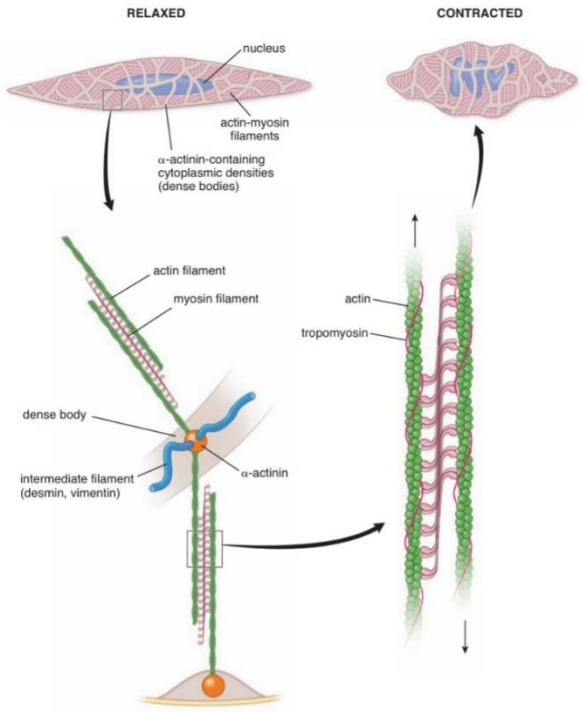
تعمل العديد من الهرمونات مثل الفازوبرسين وأنجيوتسنين وأوكسيتوسين على تنبيه مستقبلات نوعية على سطح الخلية والتي بدورها تؤدي الى تنشيط مسار إشاري ثانوي.

كجميع العضلات، يعد تدفق (جريان) الكالسيوم مسؤول عن بدء عملية التقلص في خلايا العضلات الملساء.

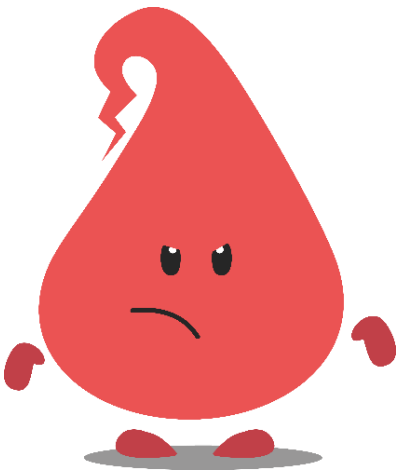
- جميع المحفزات السابقة والتي تعمل بآليات مختلفة تؤدي الى توفير كميات من الكالسيوم إما من الشبكة الهيولية أو من خارج الخلية والذي بدوره يرتبط بالكالمودين ويؤدي الى تغير شكل الميوزين من الشكل المطوي الى الشكل غير مطوي بحيث يتجمع على شكل خيوط قطبية الجانب حيث يرتبط بالأكتين وينتج تقلص ثم ينحي راس الميوزين بوجود ATP.
- يتميز التقلص العضلي في العضلات الملساء بالبطء ويستغرق فترات طويلة ويستهلك ١٠ ٪ من ATP.

- تتواجد العضلات الملساء كوحدات عضلية ملساء متعددة Multiunit smooth muscleبحيث تُعصب كل خلية على حده وتتقلص بشكل مستقل(بمعنى أخر: كل خلية عضلية تعصبها نهاية عصبية وخصوصا في قزحية العين والعضلات الناصبة للشعر وفي الجسم الهدبي و في بعض الممرات الهوائية الكبيرة)
- أو كوحدة عضلية ملساء متكاملة .Unitary smooth muscle بمعنى أخر، تكون عبارة عن ألياف عضلية كثيرة وتعمل عمل وحدة مفردة متكاملة ، توجد في الأمعاء والأحشاء يعصبها عصب معصب واحد(نهاية عصبية تعصب كامل الجدار) كل الألياف العضلية تتصل مع بعضها البعض بواسطة موصلات فضوية و تنتقل الإشارة الكهربائية لها كمجموعة واحدة (Single unite





الية تقلص الليف العضلي الاملس

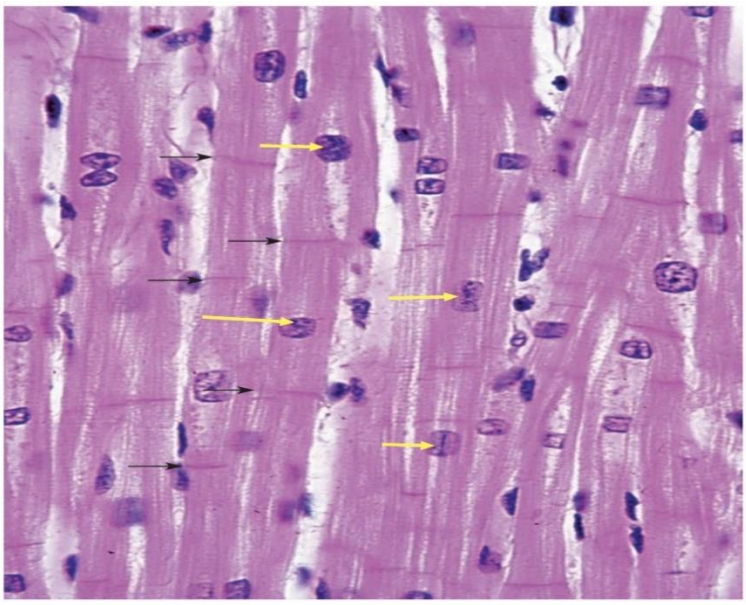


العضلة القلبية Cardiac muscle:

- هي عضلة مخططة لا إرادية تتقلص بشكل مستمر ومنتظم، بدءاً من الشهر الرابع من الحمل حتى يتوفى الانسان.
- تتميز الألياف العضلية القلبية بأنها متفرعة، والهدف من هذا التفرع توزيع الضغوط وحماية العضلة من التمزقات.
- تتألف من خلايا مفردة متفرعة تحتوي تخطيطات عرضية وموازية لبعضها.
- تتقلص العضلة القلبية تحت سيطرة غير إرادية وبقوة وبشكل إيقاعي منتظم، وبالتالي لا يوجد لديها لوحة محركة لأن العضلة القلبية مستقلة.
- تصطف خلايا الأديم المتوسط للأنبوب القلبي الابتدائي أثناء التطور الجنيني في مجموعات تشبه السلاسل، بدل من أن تندمج ككتلة من خلايا متعددة النواة كالعضلات الهيكلية.

الخلية عادة تكون متفرعة فالليف يحوي على خلية وجزء من خلية أخرى، لذلك لا نطلق على الليف أنه خلية ، الخلية الهيكيلة والملساء = ليف ، الخلية القلبية مع جزء من خلية أخرى = ليف.

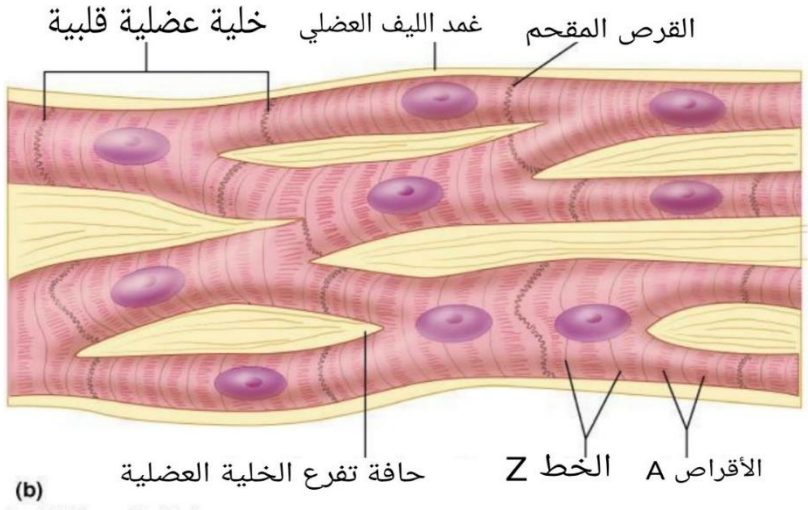
- يتراوح طول الخلايا القلبية ٨٥ - ١٠٠ ميكرون وقطرها حوالي ١٥ ميكرون وتبدو مخططة بأشرطة عرضية كالعضلات الهيكلية.
- تحتوي الخلايا على نواة أو نواتين مركزية التوضع شاحبة التلون بخلاف العضلات الهيكلية متعددة النوى.
- يحيط بالخلية غمد رقيق يحتوي على نسيج ضام غني بشبكة من الشعيرات الدموية.
- تتميز العضلة القلبية بصفة مميزة تتمثل بوجود خطوط عريضة داكنة اللون تخترق سلاسل الخلايا العضلية بمساقات غير منتظمة تسمى أقراص مقحمة (سلّمية) Intercalated disks

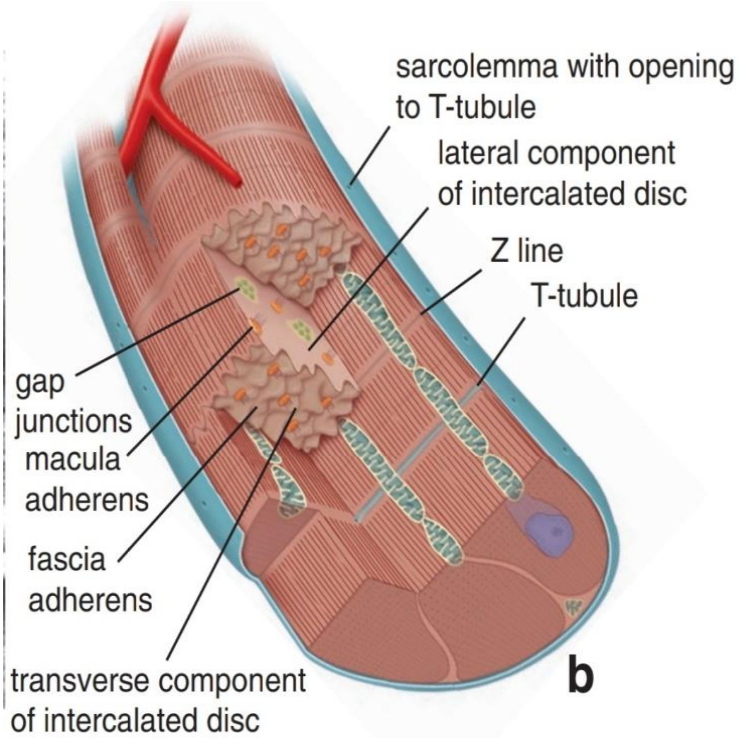


صورة مجهرية ألياف العضلة القلبية
تظهر الأنوية (الأسهم الصفراء)
والأقراص المقحمة (الأسهم السوداء)

- تحتوي المقاطع العرضية للأقراص المقحمة التي تشبه الدرج على العديد من الجسيمات الرابطة واللفافات الالتصاقية fascia adherens (تشبه النطيقات الالتصاقية في الخلايا الظهارية) تتمثل وظيفتها بربط الخلايا القلبية بشدة مع بعضها لمنع تراجعها عن بعضها أثناء التقلص العضلي المستمر.
- تتواجد في المقاطع الطولية لكل قرص مقحم ارتباطات فضوية تساهم في استمرار التبادل الشاردي بين الخلايا العضلية المتجاورة

تعمل الارتباطات الفضوية gap junction كمشابك تسمح لخلايا العضلة القلبية بالعمل كمجموعة مخلوية (التحام عدة خلايا مع بعضها) وعبور الإشارة التقلصية على شكل موجة من خلية إلى أخرى.

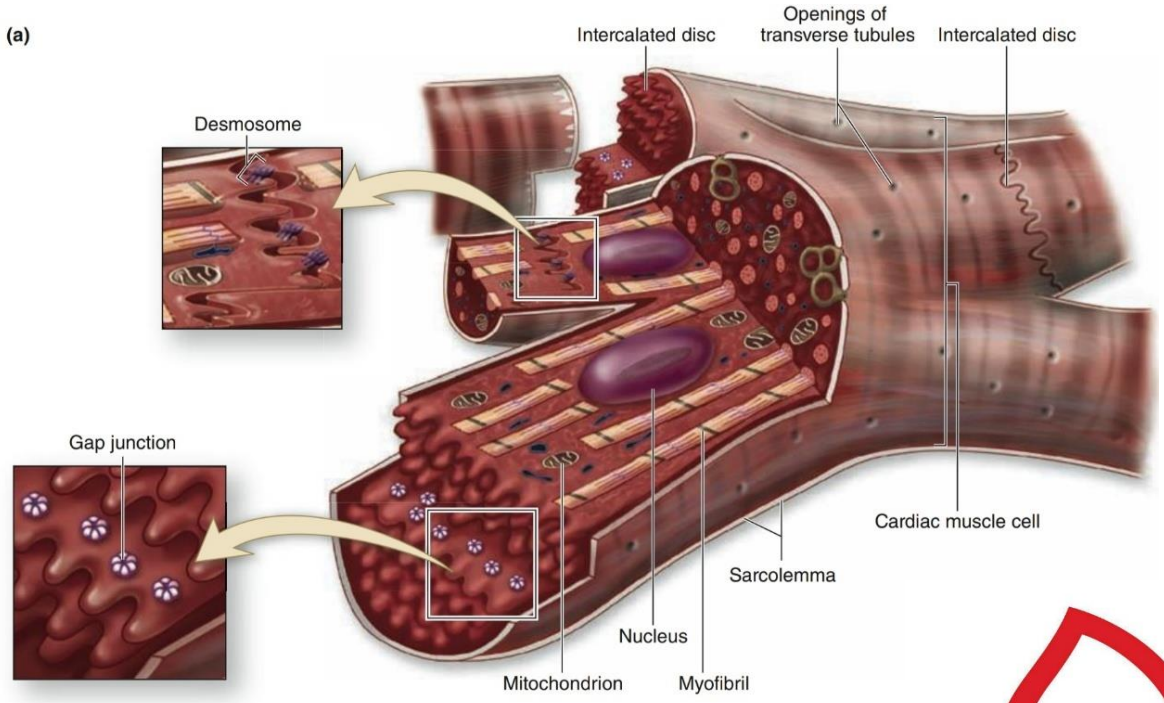


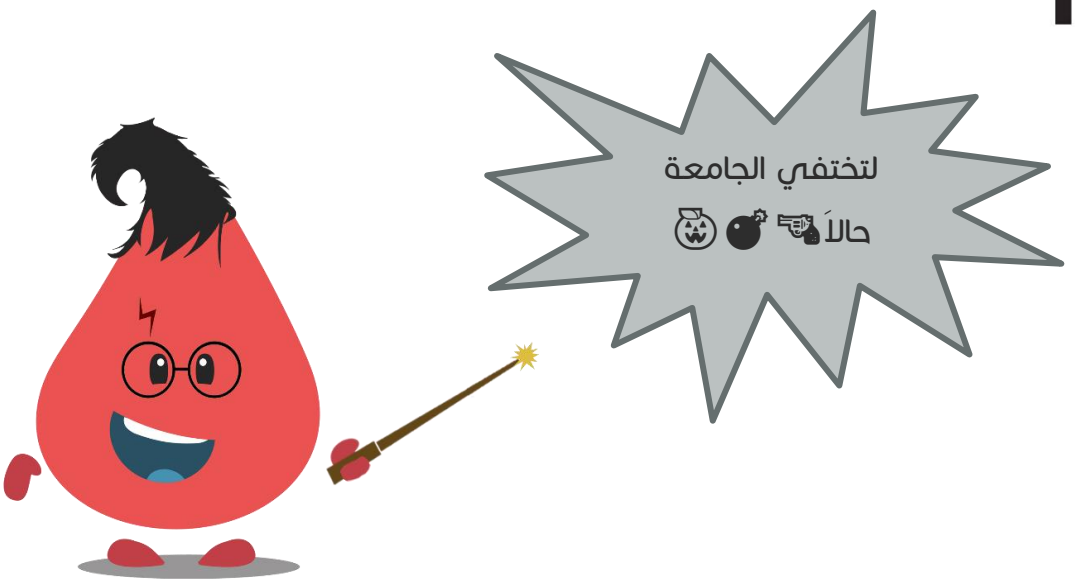


- يحتوي هذا النسيج على نظام T (صهريجين وقناة أي الثالوث) إلا أنه أقصر من نظام T الموجود في العضلات الهيكلية، وهي غير نامية مقارنةً مع العضلات الهيكلية، وتوجد عند مستوى خط Z بينما الأنبوب T يدخل عند التقاء القرص العاتم بالقرص النير في العضلات الهيكلية.
- تحتوي خلايا العضلة القلبية على أعداد كبيرة من المتقدرات تشغل ٤٠٪ أو أكثر من حجم الهيولى العضلية مما يعكس الحاجة المستمرة للاستقلاب الهوائي في العضلة القلبية بينما تحتل المتقدرات ٢٪ من هيولى الخلايا العضلية الهيكلية.

- تنتقل الأحماض الدسمة إلى الخلايا العضلية عن طريق البروتينات الدهنية التي تعتبر وقود القلب الرئيسي وتختزن على شكل غليسيريدات ثلاثية في قطيرات الشحم التي يمكن رؤيتها في العديد من خلايا العضلة القلبية.

المقاطع العرضية للعضلة القلبية تكون غير منتظمة لأن الخلية القلبية متفرعة





تجدد النسيج العضليMuscle tissue regeneration

يمتلك النسيج العضلي بأنواعه الثلاثة قدرات (إمكانيات)مختلفة للتجدد بعد الإصابة بأذية.

العضلات الهيكلية :

- على الرغم من أن نوى العضلات الهيكلية غير قادرة على الانقسام، إلا أن النسيج يمكن أن يتجدد ولكن بشكل محدود.
- تعد **الخلايا التابعة** (الساتلة Satellite cell) مصدر الخلايا المتجددة التي تتوضع ضمن الصفيحة الخارجية في كل ليف عضلي ناضج.
- الخلايا التابعة خلايا خاملة تحتفظ بصفات سليفة الخلايا العضلية التي تبقى بعد تمايز العضلات، عند تعرض العضلة لأذية أو لمنبهات أخرى تصبح الخلايا الساتلة الساكنة نشيطة حيث تتكاثر وتلتحم مع بعضها لتشكل ألياف عضلية هيكلية جديدة.
- تبدي الخلايا التابعة نشاط مماثل في النمو العضلي أثناء التمارين الرياضية الشاقة إذ تلتحم الخلايا المتكاثرة مع الألياف العضلية الأصلية وتؤدي إلى زيادة الكتلة العضلية أكثر مما تسببه الضخامة الخلوية.
- إن عملية تجدد العضلات الهيكلية محدود ويقتصر على الرض العضلي الشديد أو التنكس.

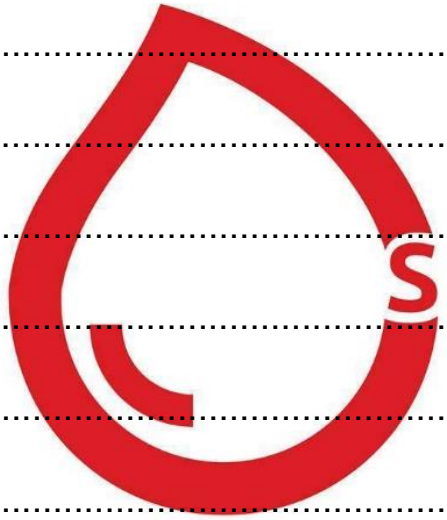
العضلة القلبية:

- تخلو العضلة القلبية من الخلايا التابعة **Satellite cell** ولا تمتلك أي قدرة على التجديد بعد مرحلة الطفولة.
- يتم استبدال الضرر والخلل الحاصل (كالاحتشاء) في العضلة القلبية بتكاثر النسيج الضام ونموه مؤديا إلى تشكل **ندبات** في العضلة القلبية.
- تشير الأبحاث الجديدة الى انقسام الخلايا العضلية في الأشخاص الذين يمتلكون طعوم قلبية وبنسة لا تتجاوز عن ١-٢٪.

العضلات الملساء:

- خلايا بسيطة ذات نواة وحيدة لها القدرة على الاستجابة للتجدد، فبعد الأذية تتكاثر الخلايا العضلية الملساء السليمة وتستبدل النسيج المتضرر.
- تساهم الخلايا الحوطية (خلايا حول وعائية) المتواجدة في جدران الأوعية الدموية من خلال انقسامها في ترميم العضلات الملساء في الجملة الوعائية.

دوّن ملاحظاتك



RBCs