النسيج العضلي

محاضرة 5

النسيج العضلي Muscle Tissue

- يتركب النسيج العضلي من الخلايا العضلية أو من الألياف العضلية المتخصصة بتأمين التقلُّص Contractilityبفضل ما تحوية من بروتينات قلوصة.
- ويساعد التركيب الحيوي لهذه البروتينات القلوصة على توليد القوة الضرورية للتقلُّص الخلوي التي تؤدي إلى حركة الأعضاء بالنسبة إلى بعضها البعض أو حركة الجسم ككل، ويساعد شكل هذه الخلايا أو الألياف على القيام بهذه المهمة.

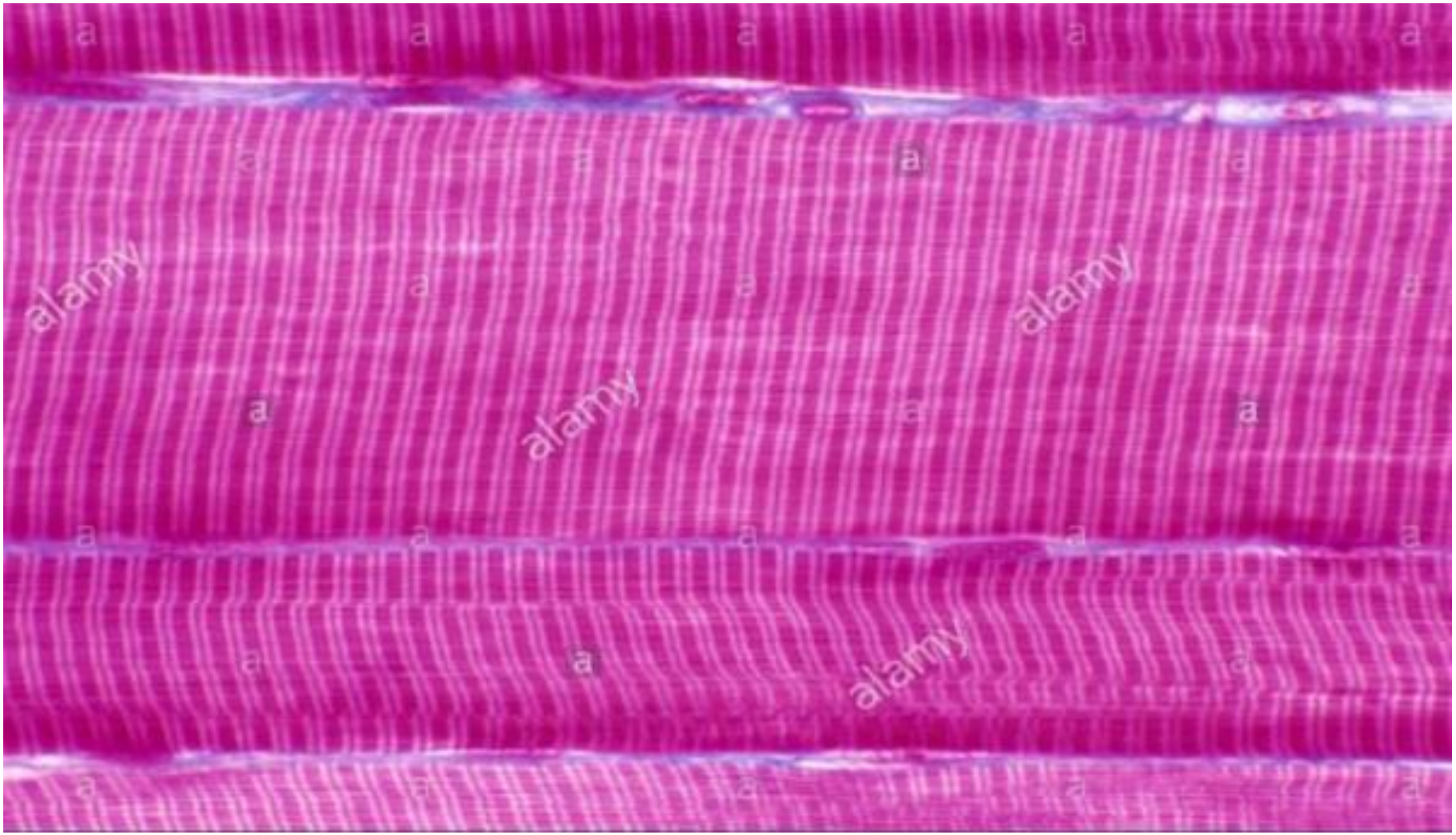
- وتنشأ معظم الألياف العضلية من الأديم الأوسط، وتتمايز بشكل تدريجي بالطول الذي يترافق مع تركيب البروتينات الخاصة. وتأخذ الخلايا العضلية أشكال متطاولة تحوي نواة واحدة أو عدة نوى داخل غمد الليف العضلي Sarcolemma، وتحوي الهيولى العضلية Sarcoplasmعلى عضيات Organellesنموذجية كعناصر قلوصة تدعى بالخيوط العضلية Myofilamentالتي تتركب من بروتينات نوعية تتمثَّل بالأكتين Actin و الميوزين Myosin، حيث تجتمع الخيوط العضلية على شكل لييفات Myofibrilsضمن الخلايا أو الألياف العضلية، ويختلف تنظيم العناصر القلوص في النماذج المختلفة من النسيج العضلي.

- تقسم العضلات وظيفياً إل نموذجين :عضلات إرادية وعضلات لاإرادية . ويمكن من الناحية التركيبية أيضا أن نقسم العضلات إلى نموذجين :
- **1- مخطَّطة Striated وهي عضلات إرادية وعضلات لاإرادية**
- **2- ملساء Smoothوهي عضلات لاإرادية**

العضلات الهيكلية muscleskeletal

- تتركب العضلات الهيكلية من حزم طويلة جداً من الخلايا المتعدة النوى التي تأخذ الشكل الإسطواني الطويل لذلك ندعوها بالألياف العضلية، وتبدي هذه الألياف تخطيطات عرضية متكررة بشكلٍ منتظم على طول الألياف ومرئية بوضوح بالمجهر الضوئي . ويكون تقلُّص الألياف العضلية المخطَّطة سريعاً و قوياً و عادةً تكون إرادية. وتنشأ الألياف العضلة الهيكلية من اندماج عدد كبير من الأرومات العضلية Myoblastsوحيدة النوى أثناء المرحلة الجنينية لتعطيها هذا الشكل المميز المتعدد النوى.

- عبارة عن عضلات مخطَّطة إرادية ذات لون أحمر لغناها بالأوعية الدموية، ومع ذلك تصنف كعضلات مخطَّطة حمراء وعضلات مخطَّطة بيضاء، وتكون الألياف العضلية المخطَّطة طويلة اسطوانية الشكل وعديدة النوى،ويتراوح طول الليف العضلي المخطَّط بين /1- 40 /مم،ولكن يمكن أن يصل طول بعض الألياف إلى أكثرمن /10 /سم ،بينما يتراوح قطر الليفبين /10- 100/ ميكرومتر، وتكون النوى بيضاوية وتتوضع محيطياً تحت الغشاء الخلوي مباشرة مما يساعد على تمييز هذه الألياف عن الألياف العضلية القلبية وعن الألياف العضلية الملساء حيث يكون توضع النوى فيها مركزياً، وينسجم توضع النوى في الألياف المخطَّطة مع المحور الطولي لِلّيف العضلي .


alamy
alamy
alamy
alamy

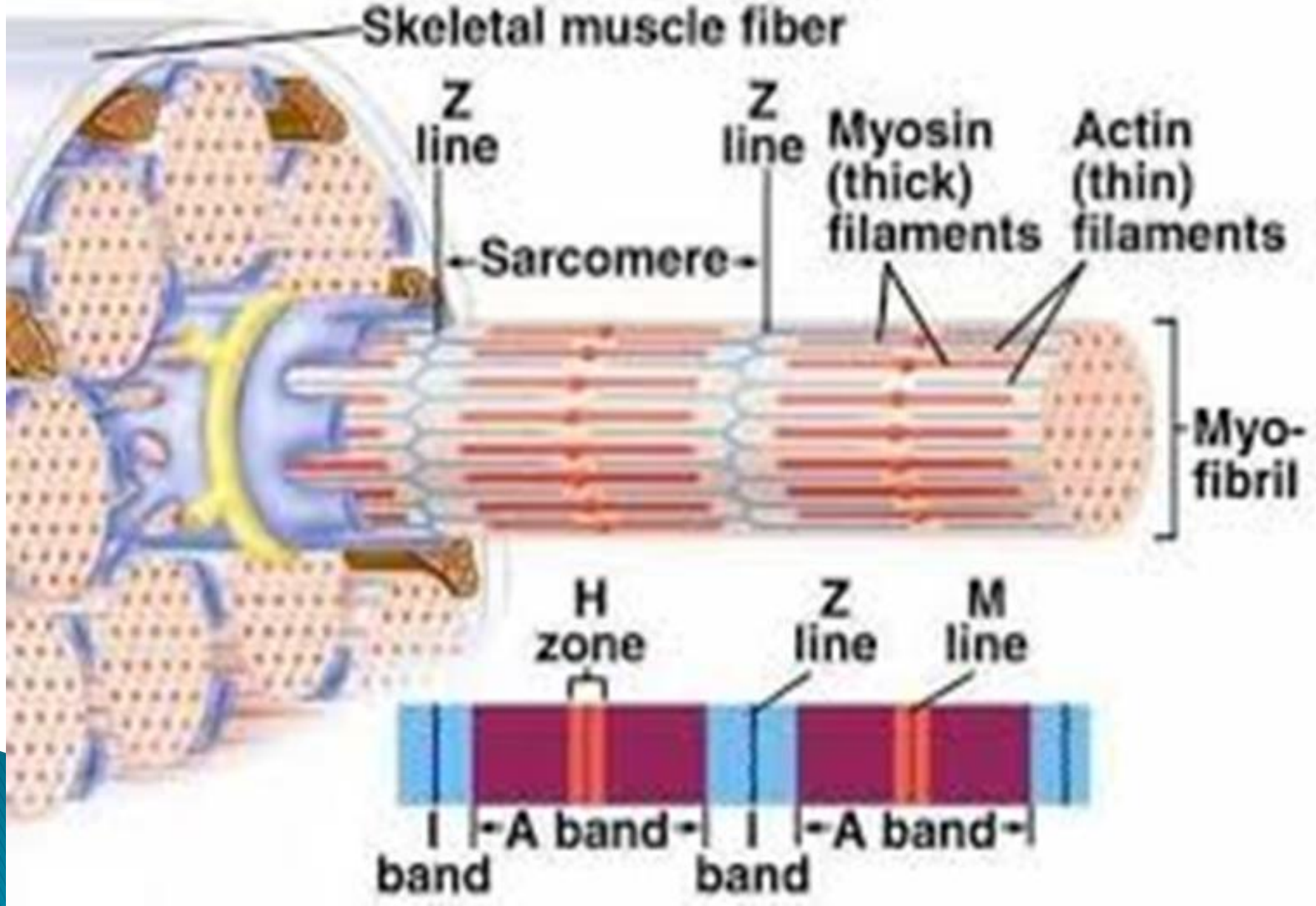
تنظيم الألياف العضلية في العضلات المخطّطة الهيكلية Organization of skeletal muscle fibers

- تتركَّب العضلة المخطَّطة الهيكلية من مجموعة من الحزم، كما تتركَّب كل
- حزمة من مجموعة من الألياف العضلية، تبدو الهيولى العضلية مملوءة باللييفات العضلية myofibrilsالمتوازية و المتوضعة طولياً، ويتراوح قطر الليفة الواحدة بين /1-2 / ميكرومتر، وتبدو هذه اللييفات بالمقطع العرضي على هيئة نقاط مجمعة داخل الهيولى تأخذ عادةً اسم حقول كوهنهايم Cohnheimمع وجود بعض المناطق الهيولية الخالية من اللييفات العضلية، وتتواجد المتقدرات التي تدعى بالجسيمات العضليةSarcosomesعلى هيئة صفوف بين اللييفات وتشكِّل حوالي
- /2 /% من حجم الهيولى . ولاتعتمد استطاعة العضلة على طول الألياف المشكِلّة للعضلة، وإنَّما على عدد هذه الألياف داخل العضلة .

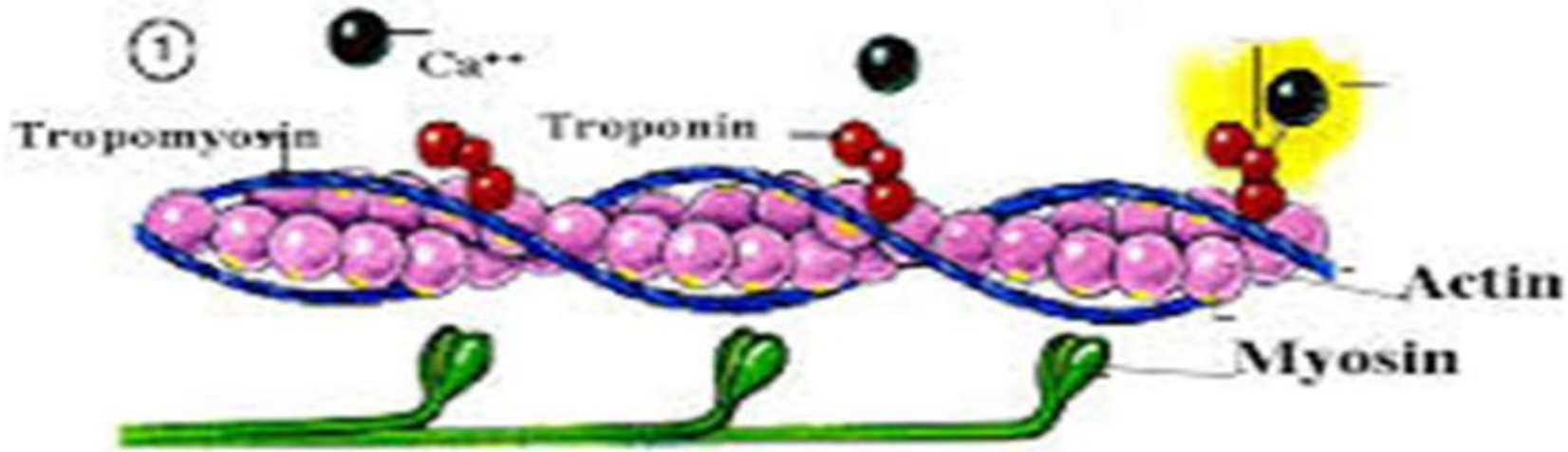
- تبدي الألياف العضلية المخطَّطة المقطوعة طوليا تناوباً بين الأقراص العاتمة A Anisotrope والأقراص النيرة I Isotrope، وتبدو هذه الأقراص أوالتخطيطات واضحة في وضع الراحة. تكون الأقراص العاتمة مضاعفة الكسر للأشعة بالضوء المستقطب، و يبلغ طول هذا القرص حوالي /1,5/ ميكرومتر،بينما يبلغ طول القرص النير في وضع الراحة حوالي /1/ ميكرومتر .وباستخدام المجهر الإلكتروني وجد في منتصف كل قرص نير خط عاتم دقيق يدعى بخط Zزويشنشيب Scheib – Zwichen . وتمتد هذه التخطيطات على طول
- الليفات العضلية دون الهيولى الممتدة بينها. ويمكن مشاهدة بعض الأقراص الأخر بمثل قرص هانزن H Hansenالباهت الذي يقع في منتصف القرص العاتمA .كما يوجد في منتصف القرص الباهتHخط دقيق عاتم يدعى بخط Mميتلشيب Scheib-Mittle .

- تتكون الألياف العضلية المخطَّطة من تحت وحدات بنائية ممتدة بين خطين متتاليين من خطوط Z تدعى بالقسيمات العضلية Sarcomeres التي يصل طولها حوالي /2,5/ ميكرومتر في وضع الراحة.
- تقصر المسافة بين خطوط Z تدريجياً مع تطور عملية الانقباض، بينما يبقى طول القرص A ثابتاً

Skeletal Muscle Fiber

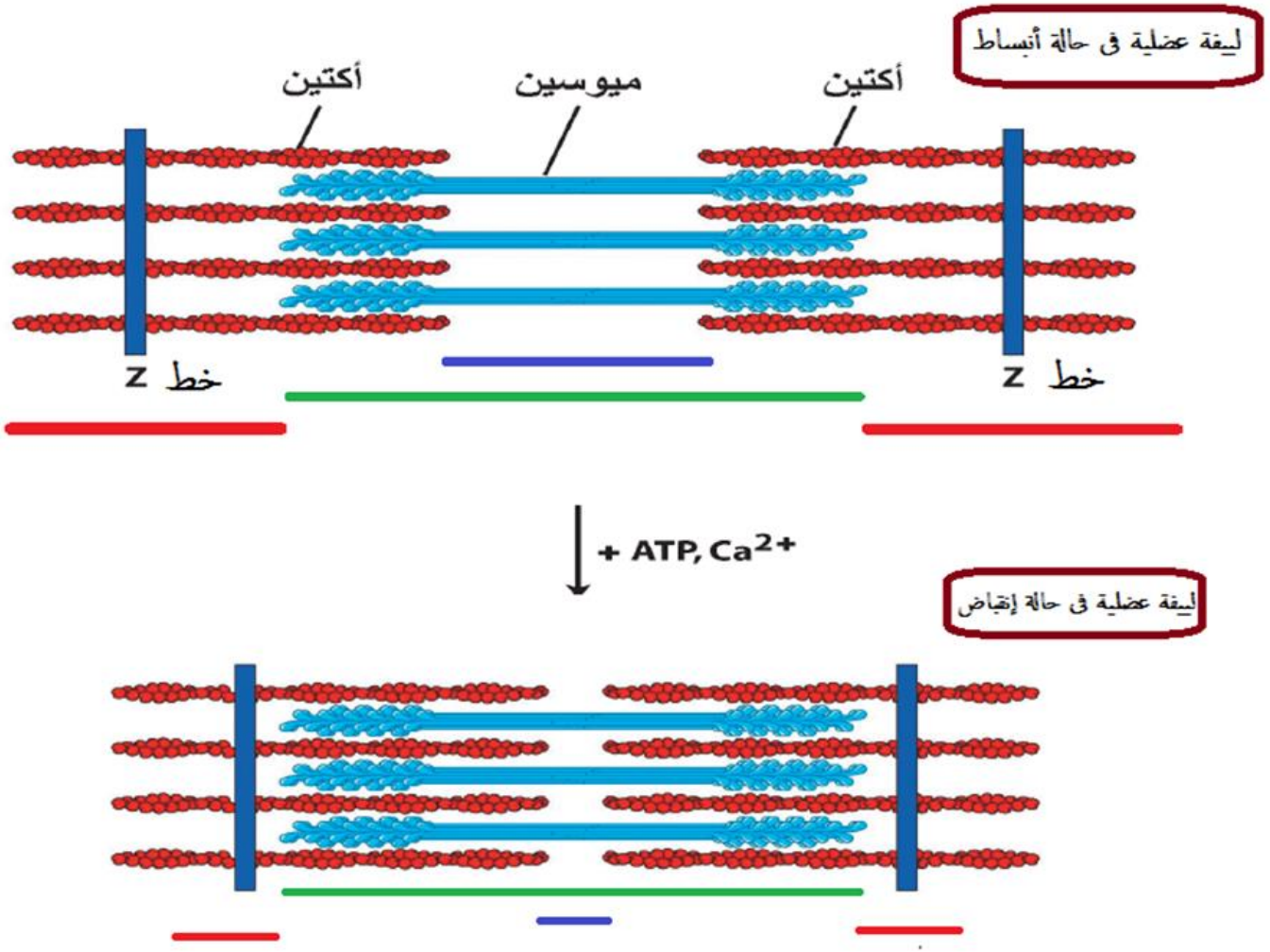


- تحتوي العضلات المخططة على العديد من البروتينات، يوجد منها أربع أنواع رئيسية هي: الأكتين Actin، تروبوميوزينTropomyosin، تروبونينTroponin، والميوزينMyosin،حيث تتكون الخيوط الدقيقة من البروتينات الثلاثة الأولى، بينما تتكون الخيوط السميكة من الميوزين، ويمثل الأكتين والميوزين حوالي 55% من مجمل بروتينات العضلات المخططة



الهيولى العضلية Sarcoplasm

- تحيط الهيولى العضلية باللييفات الموجودة داخل الليف العضلي، ويوجد داخل الهيولى جهاز غولجي وكمية قليلة من الشبكة الباطنة الحبيبية والرياسات التي تتركز حول اللييفات، كما تحوي الهيولى العضلية بروتين الميوغلوبين Myoglobinالذي يرتبط بالأكسجين ويشابه في تركيبه الهيموغلوبين الموجود في الكريات الدموية الحمراء، ويكون هذا البروتين مسؤولاً عن اللون الأحمر الغامق في بعض العضلات، ويعمل أيضاً كصباغ مخزن للأكسجين الضروري للمستوى العالي من الأكسدة الفوسفورية في هذا النوع من الألياف.



أقراص مضئية (منطقة I)
أقراص داكنة (منطقة A)
أقراص شبه مضئية (منطقة H)

الإنقباض العضلى

- وتكون كمية الميوغلوبين كبيرة في عضلات الثديات التي تعيش في أعماق المحيطات مثل الفقمة والحيتان .وتتكون من الألياف الحمراء أو النموذج I ذات التقلص البطيء ولكنه يستمر لفترة طويلة وبالتالي فهي مقاومة للتعب .أما الألياف البيضاء الفقيرة بالميوغلوبين أوالنموذج II فهي ذات تقُّلص سريع وقوي ولكنها سريعة التعب، وتكون الألياف البيضاء أكبر قطراً من الألياف الحمراء، ويقسم هذا النموذج إلى عدة أنواع A,B,C،ويمكن أن يوجد نموذج ثالث من الألياف العضلية التي تحوي كمية متوسطة من الميوغلوبين

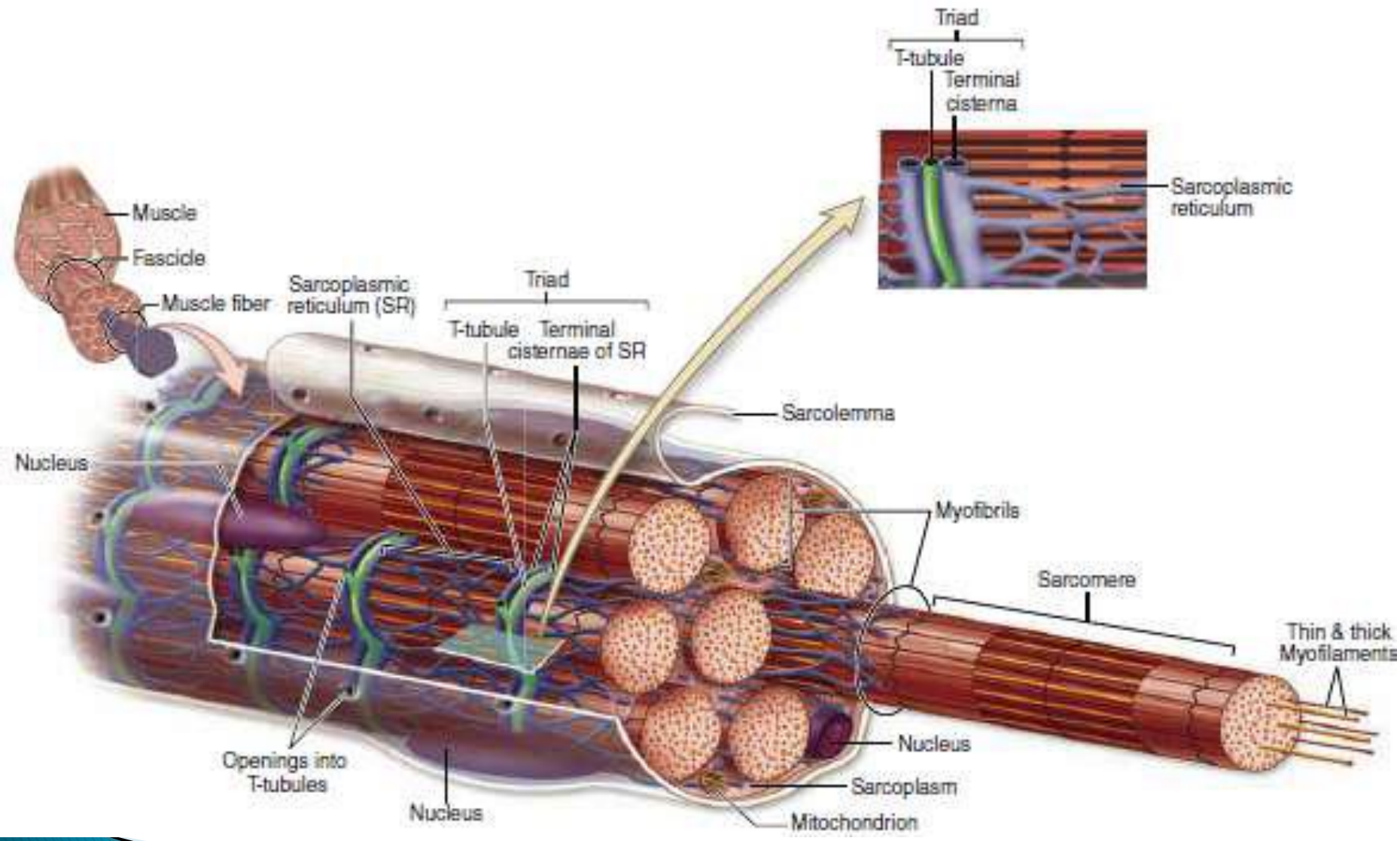
الشـــبكة الهيوليـــة العضـــلية وجهـــاز النبيبـــات المستعرضـــة

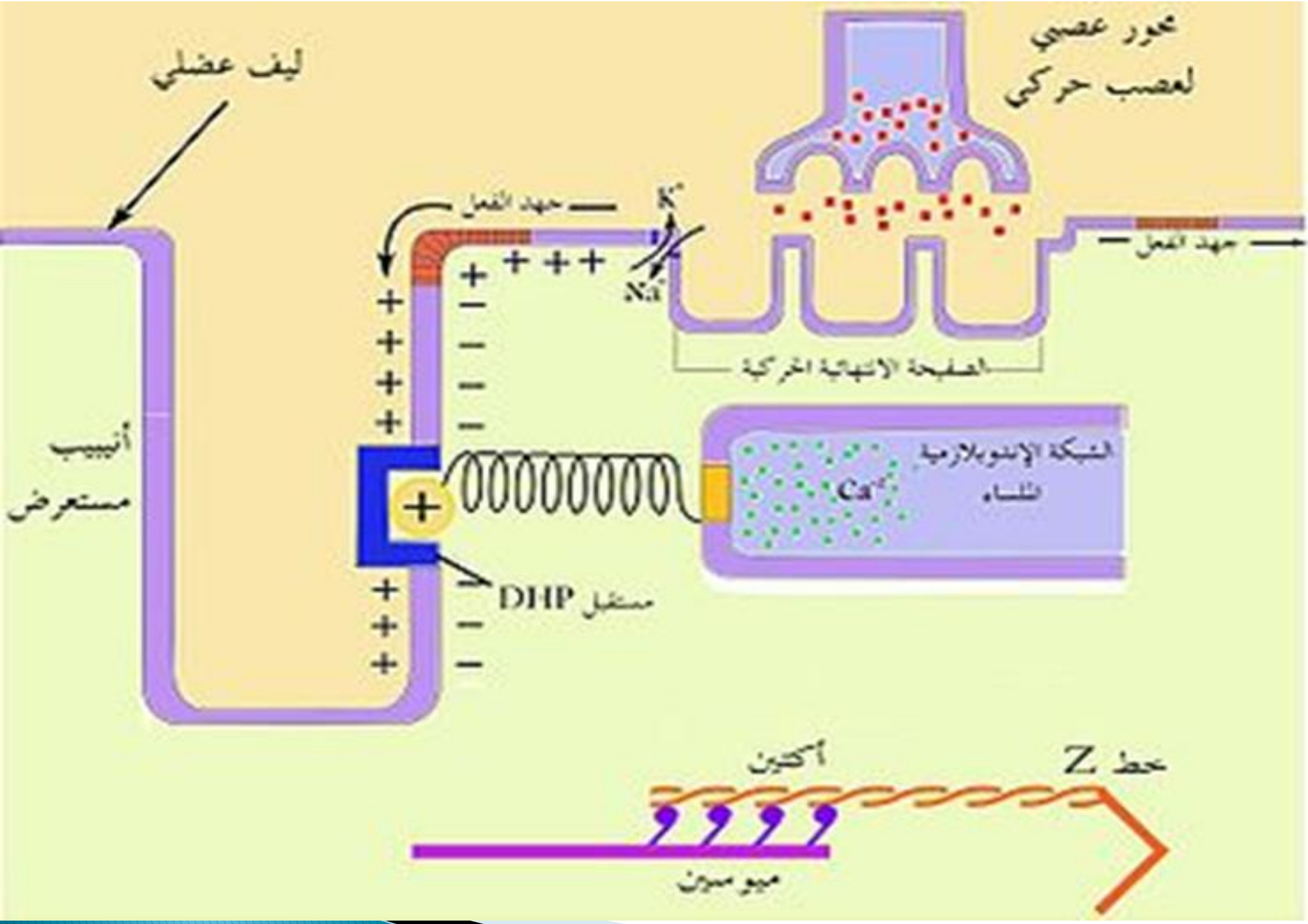
- يؤدي وصول بعض النواقل العصبية عن طريق الموصلات العضلية العصبية Myoneural junctionإلى تحرير شوارد الكالسيوم من صهاريج الشبكة الهيولية الداخلية، وزوال استقطاب الغشاء الخلوي الذي يؤدي إلى حدوث موجة تقلصية تؤدي إلى تقلص الليفات المحيطية قبل الليفات المركزية، وحتى يكون الإنقباض موحداً فإن العضلات الهيكلية تملك ما يسمى بأجهزة Tأو النبيبات المستعرضةTransverse tubules، وتمثل هذه الأجهزة إنغمادات إصبعية الشكل للغشاء الهيولي، وتشكل شبكة من التفممات المعقدة للنبيبات التي تتواجد في مستوى التقاء القرصينA-Iفي كل قسيم عضلي داخل كل ليف.

- بالقرب من النبيبات T يوجد تمدداً للشبكة الهيولية العضلية تشكل الصهاريج الإنتهائية، ويمثل كل نبيب مع صهريج جانبي من كل جهة مايعرف بالمثلث Triad . ويعتمد الإنقباض العضلي على وجود شوارد Ca++، كما أن ارتخاء العضلة يعتمد على غياب شوارد الكالسيوم.

  وتقوم الشبكة الهيولية بتنظيم تدفق الكالسيوم الضروري من أجل الإنقباض السريع، ومن أجل الإسترخاء أيضاً.

- وبعد الوساطة العصبية بزوال الإستقطاب من أغشية الشبكة الهيولية العضلية، تتركزشوارد الكالسيوم داخل صهاريج الشبكة الهيولية،وتتحرر بشكل منفعل قرب منطقة التداخل بين الخيوط السميكة والخيوط الدقيقة، ومن ثم ترتبط مع التروبونين و تؤدي إلى اتصال الأكتين مع الميوزين . وفي نهاية زوال استقطاب الغشاء الخلوي تعمل الشبكة الهيولية العضلية كمغنطيس للكالسيوم وتعيد الكالسيوم بفعالية إلى الصهاريج، وبالنتيجة تتوقف فعالية التقلص


Triad
T-tubule
Terminal cisterna
Sarcoplasmic reticulum
Muscle
Fascicle
Muscle fiber
Sarcoplasmic reticulum (SR)
Triad
T-tubule
Terminal cisternae of SR
Sarcolemma
Nucleus
Myofibrils
Sarcomere
Thin & thick Myofilaments
Openings into T-tubules
Nucleus
Nucleus
Sarcoplasm
Mitochondrion


محور عصبي
لعصب حركي
ليف عضلي
جهد الفعل
K^+
Na^+
جهد الفعل
الصفيحة الانتهائية الحركية
أنبيب
مستعرض
الشبكة الإندوبلازمية
للساء
Ca^{++}
مستقبل DHP
أكتين
خط Z
ميوسين

التعصيب Innervation

- تتفرع الاعصاب المحركة لتعطي العديد من التغصنات الإنتهائية التي تفقد غمدها النخاعيني وتشكِّل ما يدعى بنهاية اللوحة المحركة-plate end Motor أو الموصل العصبي العضلي junction Myoneural، ويكون المحوار في هذا الموضع مغطَّى فقط بغمد شوان ، وتحوي الحبات الإنتهائية boutons Terminal أو البصلة النهائية bulbs End على العديد من المتقدرات والحويصلات المشبكية الكروية النيرة التي يبلغ قطرها حوالي /40/ نانومتر والتي تحتوي على الناقل العصبي الأستيل كولين . Acetylcholine
ويوجد بين المحوار والليف العضلي فراغ يدعى بالشق المشبكي cleft Synaptic الذي يحوي مطرقاً عديم الشكل

- وعندما يحصل التنبيه يتحرر الأستيل كولين ، ويعبر الشق المشبكي ليستقر على المستقبلات الخاصة الموجودة على الغشاء العضلي ، ويؤدي ذلك إلى تغير النفوذية للصوديوم وإلى زوال استقطاب الغشاء ، بعدها يتحطَّم الأستيل كولين بواسطة إنظيم الكولين استيراز مما يلغي إطالة زمن التقلُّص . يبدأ زوال الاستقطاب في اللوحة المحركة ويمتد على طول سطح الخلية ، وإلى الداخل عن طريق أجهزة T والمثلَّث ، ويمر التنبيه إلى الشبكة الهيولية العضلية ، ويؤدي إلى تحرير الكالسيوم الضروري من أجل الإنقباض

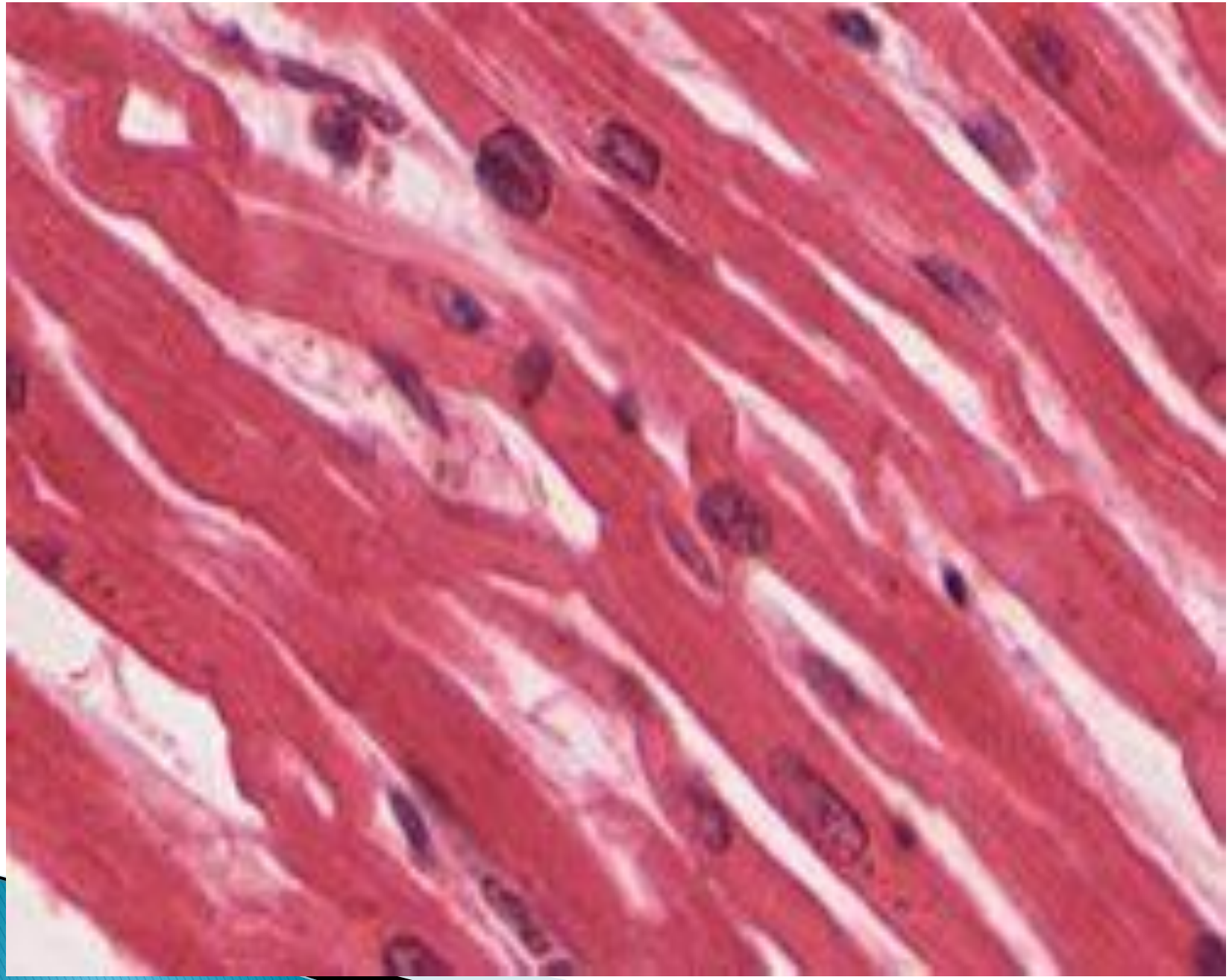
System of energy production جهاز انتاج الطاقة

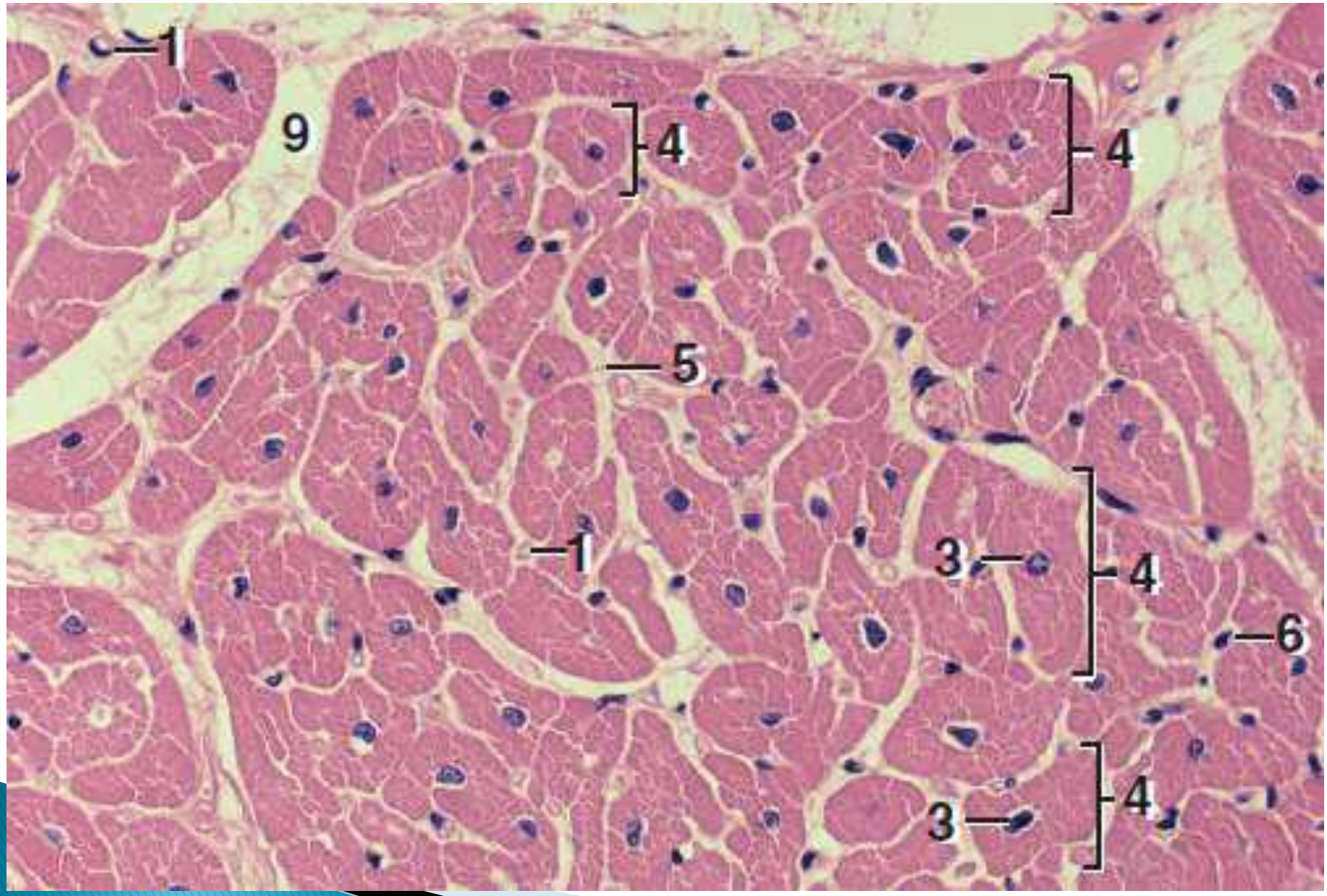
- تعتبر الألياف العضلية الهيكلية شديدة التأقلم مع العمل الميكانيكي المتقطِّع الذي يحدث بفضل تحرر الطاقة الكيميائية المخزنة في الجسم . وتخزن الطاقة اللازمة في الجسم على شكل مركَّبات فوسفاتية غنية بالطاقة من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ، Adinosine Triphosphate ATPوالفوسفوكرياتين Phosphocreatin بالإضافة إلى مستودعات الغليكوجين التي تشّكل حوالي / 0.5-1 /%من وزن العضلات . ويتم تخزين الطاقة الناتجة عن تحطُّم الأحماض الدسمة داخل المركَّبات الفوسفاتية بعد أن تتحول إلى أسيتات بواسطة إنظيم β-oxidation الذي يتوضع داخل مطرق المتقدرات ، ويتم بعد ذلك أكسدة الأسيتات بواسطة حمض الستريك acid Citricالذي ينتج الطاقة التي تختزن على شكل ATP. عندما تخضع العضلات للتدريب لفترة قصيرة يحصل استقلاب سريع للغلوكوز الموجود داخل العضلات ويتحول إلى لاكتات مما يسبب التشنج والألم في العضلات الهيكلية

- تصنيف الألياف العضلية المخططة الأرادية إلى النموذج I البطيء والنموذج الثاني II السريع ، تكون ألياف النموذج I غنية بالهيولى العضلية التي تحوي على الميوغلوبين المسؤول عن اللون الأحمر العاتم لهذه الألياف ، وترتبط هذه الألياف بالإنقباض المديد ، وتستمد هذه الألياف الطاقة من الأكسدة الفوسفورية للأحماض الدسمة . بينما ترتبط ألياف النموذج II بالإنقباض السريع ، وتحوي على كميات أقل من الميوغلوبين مما يكسبها اللون الأحمر الفاتح .

2- العضلة القلبية muscle Cardiac

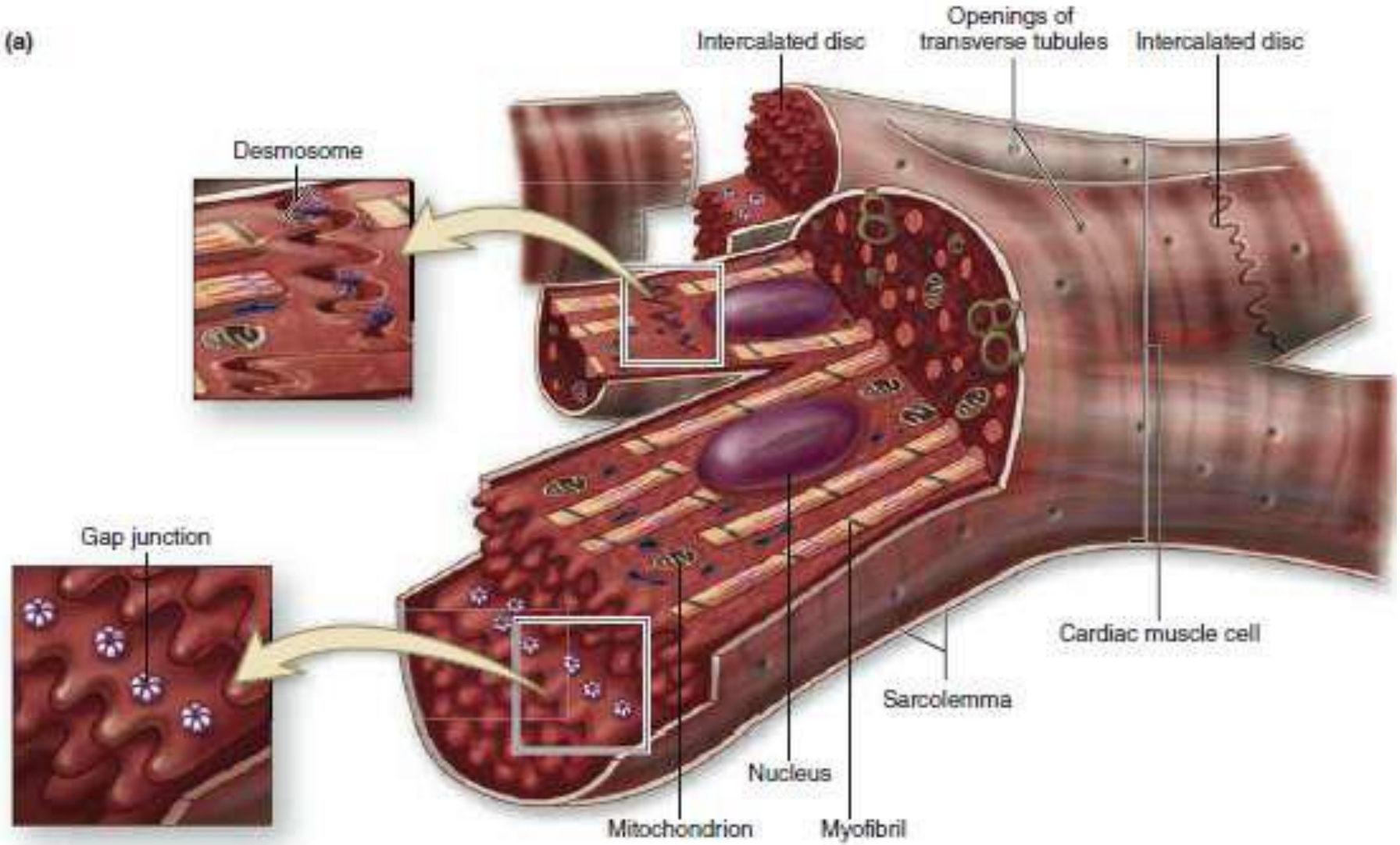
- تتقلَّص العضلة القلبية بشكل آلي منظَّم وغير إرادي ، وقد توجد بعض الألياف العضلية القلبية في الأوعية الدموية الكبيرة المتَّصلة بالقلب ، وتكون هذه الألياف العضلية القلبية مخطَّطة وتكون غالباً متفرعة ، ويتراوح طول الليف بين / 100-85/ميكرومتر ، وقطر حوالي /15 /ميكرومتر ، وتتَّصل الألياف مع بعضها البعض بنقاط إتِّصال خاصة تدعى بالأقراص البينية . disks Intercalated كما يوجد كمية بسيطة من النسيج الضام بين الألياف العضلية الذي يشّكل غمد الليف ، ويحوي غمد الليف شبكة غنية من الشعيرات الدموية المتطورة ، كما تغزر الأوعية اللمفية أيضاً ، ويمكن مشاهدة بعض الألياف العصبية الذاتية .




1
9
4
4
5
1
3
4
6
3
4

- تبدي الألياف العضلية القلبية بـالمقطع الطولي تخطيطات عرضية من الأقراص A,I,H والخطوط Z,M مشابهة لتلك الأقراص والخطوط الموجودة في العضلات الهيكلية ولكنَّها أقل وضوحاً ، كما تكون نوى الألياف القلبية متطاولة وحيدة أو ثنائية ومركزية التوضع . ويوجد حول النوى مناطق مغزلية الشكل من الهيولى العضلية تحوي العديد من المتقدرات ، ويتوضع جهاز غلجي في أحد أقطاب النواة كما تتوضع بعض القطيرات الشحمية ، ومع تقدم العمر نلاحظ وجود حبيبات صباغية من الليبوفوشينLipofuscinبالقرب من النواة،

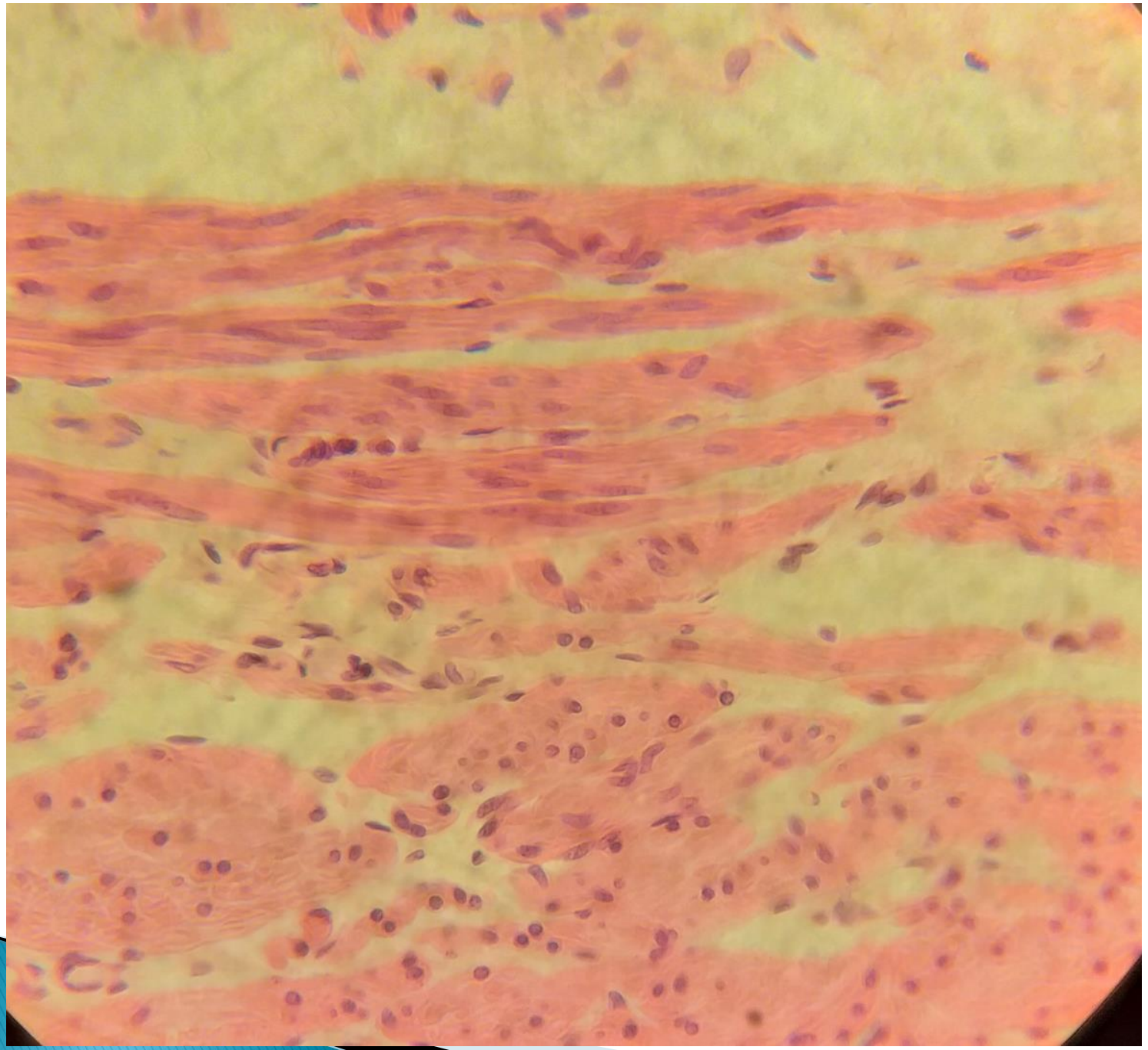
- كما تحوي الهيولى كمية أكبر من الغليكوجين بالمقارنة مع العضلات الهيكلية . تتميز الألياف العضلية القلبية بوجود خطوط عاتمة عرضية وبفواصل غير منتظمة تدعى بلأقراص البينية disks Intercalatedأو بالخطوط السلمية التي تتوضع في مستوى الخطوط Z ، وتمثِّل هذه الأقراص معقَّدات اتصال خاصة بين الألياف القلبية ، ويمكن أن تظهر كخطوط مستقيمة أو على شكل درجSteplike، الذي يمكن أن نميز فيه جزء مستعرض portion Transverse، وجزء جانبيLateral Portin الذي يتوضع بشكل موازي لليفات ،


(a)
Intercalated disc
Openings of transverse tubules
Intercalated disc
Desmosome
Gap junction
Cardiac muscle cell
Sarcolemma
Nucleus
Mitochondrion
Myofibril

Smooth muscles العضلات الملساء

- تتركَّب العضلات الملساء من خلايا تأخذ الشكل المغزلي المتطاول، ولاتبدي أية تخطيطات بالمجهر الضوئي ولذلك دعيت بالملساء، رغم وجود خيوط الأكتين والميوزين، تحاط هذه الألياف بصفيحة قاعدية إيجابية التفاعل بطريقة PAS وتترابط هذه الألياف بشدة مع بعضها البعض بواسطة النسيج الضام الغني بالألياف الشبكية والألياف المرنة ، وتوجد هذه العضلات في : **الطبقة العضلية من الأنبوب الهضمي من منتصف المريء وحتَّى المستقيم، الطبقة العضلية للجهاز البولي التناسلي، الجهاز التنفسي، أدمة الجلد، وفي القزحية والجسم الهدبي من العين، كما توجد أيضاً في جدار القناة الإفراغية للحويصل المراري إضافةً إلى الطبقة العضلية فيها، وفي العضلات الناصبة للأشعار Erroctor pili muscles، وفي جدار معظم الأوعية الدموية.**

- يختلف طول الألياف العضلية الملساء حسب أماكن وجودها فهي بطول /20/ ميكرومتر حول الأوعية الدموية الصغيرة، ولكن طولها يصل إلى أكثر من/0,5/ مم في جدار الرحم الحامل، تتوضع النوى البيضاوية أو الإسطوانية المحتوية على نوية أو عدة نويات في مركز هذه الألياف، حيث يكون القطر أعظمياً ويصل إلى / 6/ميكرومتر، وتكون الهيولى حمضية وذات مظهر متجانس.
- توجد الألياف بشكل مفرد أو على هيئة مجموعات صغيرة مرتبطة بشدة مع بعضها البعض بحزم من الألياف الشبكية والألياف المرنة، وتتوضع الألياف الملساء بشكل منسجم مع المحور الطولي، وعند وجود أكثر من طبقة خلوية فإنّها تتوضع بشكل متعامد أو مائل على بعضها البعض، حيث تنطبق المنطقة الواسعة من الليف العضلي مع النهايات الضامرة للألياف المجاورة. ولذلك تبدو بالمقاطع العرضية بأحجام مختلفة تظهر النوى في بعضها فقط وتحديداً داخل الألياف ذات الأقطار الكبيرة، وترتبط الحزم العضلية ببعضها بواسطة النسيج الضام.



البنية الدقيقة Ultrastructure

- يظهر المجهر الإلكتروني وجود العديد من المتقدرات في الهيولى العضلية بالقرب من قطبي النواة، كما يوجد بعض عناصر الشبكة الهيولية الباطنة والعديد من الريباسات الحرة بالإضافة إلى جهاز غلجي صغير، كما يمكن ملاحظة بعض حويصلات الإحتساء بالقرب من السطح الخلوي. وتحتل الخيوط العضلية المساحة المتبقية من الهيولى العضلية، وتتوضع هذه الخيوط التي تتكون من الأكتين والميوزين بشكل ينسجم مع المحور الطولي، ويمكن أن يظهر السطح الخلوي بعض البروزات الإصبعية الشكل المطابقة لإنخماصات في السطح الخلوي للخلية المجاورة ، حيث تأخذ هذه الأماكن اسم النيكسوس Nexusأو الموصل الفضوي junction Gap،

تجدد النسيج العضلي Regeneration of muscle tissue

- تملك النماذج الثلاثة من العضلات قدرات مختلفة على التجدد عند الأعمار الكبيرة بعد الأذى الذي يمكن أن يصيبها. ففي الحقيقة لا تستطيع العضلة القلبية التجدد منذ مراحل الحياة المبكِّرة، حيث يتم تعويض الأذى الناتج عن الإحتشاء مثلاً بتكاثر النسيج الضام الليفي الذي يشكِّل ندبة العضلة القلبية.

- كما أن نوى الألياف الهيكلية لا تستطيع الإنقسام، ولكن يمكن أن تخضع هذه العضلات لتجدد محدود، حيث يعتقد وجود خلايا تابعة Satellite cellsوحيدة النوى ذات شكل مغزلي مبعثرة داخل الصفيحة القاعدية المحيطة بكل ليف عضلي ناضج. ولا يمكن تمييزها إلا بالمجهر الإلكتروني بسبب توضعها الملاصق لسطح الألياف العضلية، وتعتبر هذه الخلايا كأرومات عضلية غير فعالة بعد تمايز الألياف العضلية، ولكن بعد الأذى أو التنبيه فإن هذه الخلايا الساكنة يمكن أن تنشط وتنقسم وتتكاثر لتشكِّل ألياف عضلية جديدة بشكلٍ مشابه لما يحدث أثناء التضخُّم العضلي حيث تندمج الألياف العضلية لتزيد من الكتلة الخلوية بعد التدريب. بينما تكون قدرة العضلات الملساء على التجدد فعالة بعد الأذى الذي يمكن أن يصيب هذه العضلات بفضل الخلايا العضلية وحيدة النوى وكذلك بفضل الخلايا حول الشعرية التي يمكنها أن تعوض النسيج العضلي المتأذي.