فيزيولوجيا العصب والعضلة

☒ خصائص التنبه (الاستثارية)

☒ المنبهات :

تعريف المنبه : Stemless : هو كل تغير فيزيائي أو كيميائي أو حيوي يحدث في أحد الوسطين الداخلي أو الخارجي للخلية الحية فينقلها من حالة الراحة الفيزيولوجية إلى حالة النشاط الفيزيولوجي.

☒ أنواع المنبهات :

1) منبهات آلية Mechanical : مثل الضغط والوخز والقرص والاهتزاز.
2) منبهات حرارية Thermal : مثل السخونة والبرودة، وتشكل السخونة منبهاً أقوى تأثيراً من البرودة.
3) منبهات صوتية : مثل صوت الجرس أو قرع الطبول أو تغريد الطيور.
4) منبهات إشعاعية : مثل الأشعة الضوئية المرئية والأشعة فوق البنفسجية.
5) منبهات كهربائية : وهي أفضل أنواع المنبهات التي تستخدم في المخبر وذلك لأننا نستطيع أن نتحكم بشدتها وزمنها، كما أنها لا تسبب الأذى للنسج الحية.
6) المنبهات الكيميائية Chemical : ويدخل في عدادها الهرمونات والحموض والقلويات والأملاح وتركيز الأوكسجين.
7) المنبهات البيولوجية : ويقصد بها الجراثيم والفيروسات والطفيليات كما تشمل حادثة الجوع والعطش والعاطفة.

☒ كما تقسم المنبهات تبعاً لشدتها إلى :

1) المنبهات ذات العتبة الدنيا : وهي المنبهات ذات الحد الأدنى للشدة والتي تستطيع إحداث التنبيه.
2) المنبهات تحت العتبة الدنيا : وهي المنبهات ذات الشدة الأدنى من العتبة الدنيا.
3) المنبهات فوق العتبة الدنيا : وهي المنبهات ذات الشدة الأعلى من العتبة الدنيا.

☒ النبضة العصبية : Nerve Impulse :

نتيجة إثارة العصب بمنبه ذي قوة مناسبة (عتبة التنبيه) تحدث التغيرات الكهربائية المؤقتة (الفعل الكامن) في هذه المنطقة المنبهة التي تشمل إزالة الاستقطاب وإعادة الاستقطاب. ويعتبر هذا التغيير في الكهربائية حول الغشاء الخلوي في حد ذاته منبهاً جديداً والذي يعمل على إثارة المناطق المجاورة ويؤدي إلى فتح قنوات الصوديوم في هذه المناطق ويحدث إزالة الاستقطاب فيها. وهكذا يمر التيار الكهربائي من منطقة إلى منطقة مجاورة ويمتد على طول العصب إلى نهايته، وتسمى هذه التغيرات الكهربائية المارة على طول العصب السيالة العصبية أو النبضة العصبية.

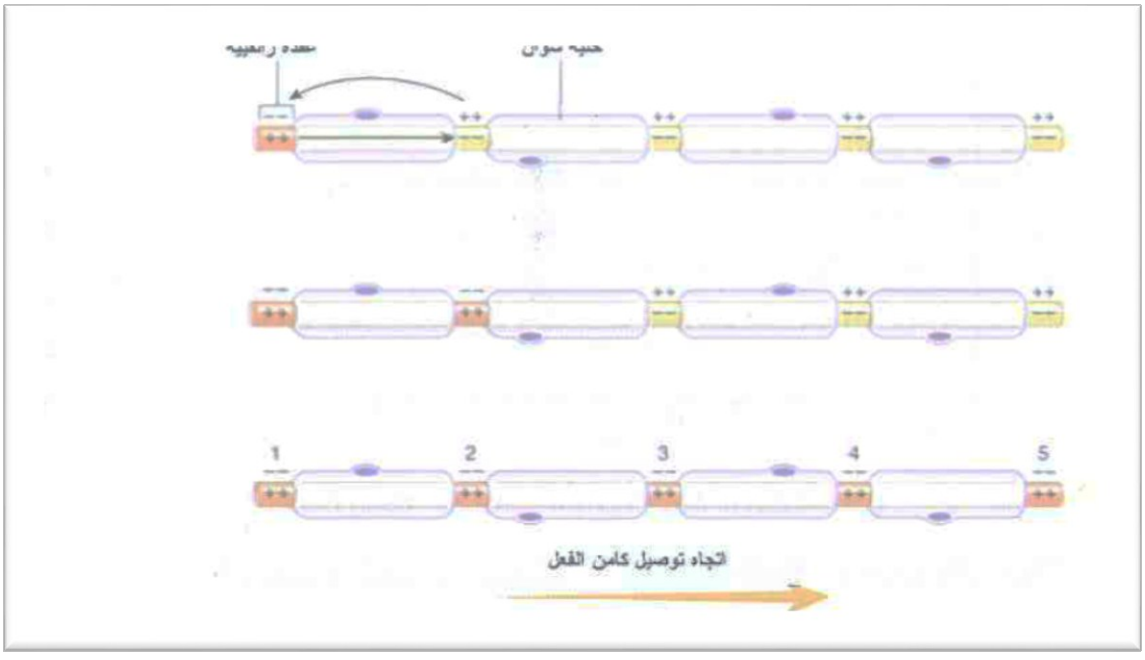
☒ انتقال السيالة العصبية عبر الأعصاب المختلفة:

تختلف سرعة مرور السيالات العصبية عبر الأعصاب حسب قطر العصب أو وجود الغلاف النخاعي المحيط بالعصب، فكلما زاد قطر الليفة العصبية زادت سرعة مرور السيالات العصبية فيها. وتصل سرعة مرور السيالات العصبية في الأعصاب الصغيرة العارية إلى حوالي 0.5 متر / الثانية وتزيد سرعة مرور السيالات العصبية في الأعصاب الكبيرة والنخاعية إلى 100 متر / الثانية.

في الأعصاب العارية (اللانخاعينية) تمر السيالات العصبية محدثة دائرة كهربائية موضعية تنتقل من مكان إلى المكان المجاور لها حيث تسمى المنطقة المزال استقطابها المنطقة المؤثرة أو الفعالة وفيها تنعكس الشحنة الكهربائية حول غشاء الليفة العصبية، وهي تعتبر منطقة منبهة للمنطقة المجاورة لها ومسببة في إزالة الاستقطاب بها، وينتج عن ذلك تيار موضعي ينتقل منها إلى المنطقة المجاورة، وهكذا تنتقل السيالات العصبية على طول الليفة العصبية.

أما في الأعصاب المغطاة بالغلاف النخاعيني، والذي يتكون من خلايا شوان والملتفة حول العصب. علماً أن أغشية خلايا شوان غنية بمادة السفيجنوميلين وهي مادة دهنية فوسفورية عازلة تؤدي إلى تقليل معدل تدفق الكهارل عبرها. هذا وتفصل خلايا شوان عن بعضها عقد رانفير، وفي هذه النقط يكون غشاء الخلية العصبية عارياً من الغشاء النخاعييني المكون من خلايا شوان مما يسمح بتبادل

وانتقال الكهارل عبر هذه المناطق فقط. ولذلك تقفز السيالات العصبية في الأعصاب النخاعينية من عقدة رانفير إلى عقدة أخرى على طول مسار العصب. ويطلق على هذا النوع من الانتقال التوصيل الوثبي، ونتيجة لهذا التوصيل الوثبي تزيد سرعة مرور السيالات العصبية في الأعصاب المغطاة بحوالي /50/ مرة مقارنة بالأعصاب العارية.



الشكل رقم (2-1) يبين التوصيل القفزي للسيالة العصبية في الألياف النخاعينية

☒ العوامل التي تؤثر على سرعة انتقال السيالات العصبية في الأعصاب:

1- درجة الحرارة : كلما زادت درجة الحرارة حول الليفة العصبية زادت سرعة انتقال السيالات العصبية فيها. فعند زيادة درجة الحرارة درجة مئوية واحدة تتضاعف سرعة مرور السيالات العصبية وعند درجة حرارة /45/ درجة مئوية يتوقف مرور السيالات العصبية ويسمى ذلك الشلل الحراري. وكذلك يتوقف مرور السيالات العصبية (حصر عصبي) عند درجة الصفر مئوية.

2- نقص الأوكسجين : إنّ نقص الأوكسجين عن الجسم يوقف مرور السيالات العصبية في الأعصاب نتيجة لإحباط الاستثارية في هذه الأعصاب.

3- التغذية : إن انخفاض المدد الدموي يقلل معدل مرور السيالات العصبية في الأعصاب.

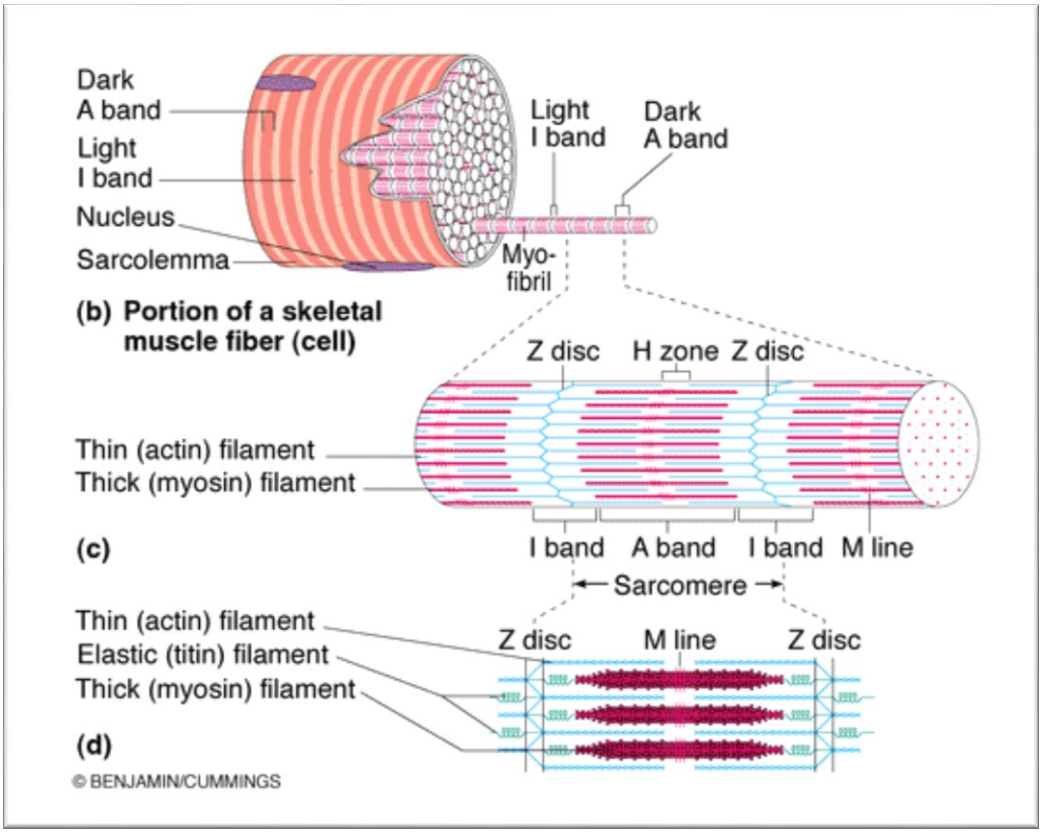
4- درجة PH الدم : إنّ القلوية في الدم تزيد من معدل مرور السيالات العصبية في الأعصاب بينما تخفض الحموضة من معدل مرورها في الأعصاب.

فيزيولوجيا العضلات

يوجد عند الحيوانات الفقارية ثلاثة أنواع للعضلات هي : العضلات الهيكلية، والعضلات الملساء والعضلات القلبية.

☒ أولاً : العضلات الهيكلية:

يطلق عليها اسم العضلات الهيكلية، لأنها ملتصقة بالعظام التي تكون الهيكل العظمي، أيضاً تسمى العضلات الإرادية لأنها تتحرك إرادياً من خلال سيالات عصبية قادمة من الجهاز العصبي المركزي ويطلق عليها أيضاً اسم العضلات المخططة لأن تركيبها النسيجي يبينها مخططة عرضياً بشرائط داكنة وفاتحة بصورة متبادلة تخترقها خطوط فاتحة وداكنة.

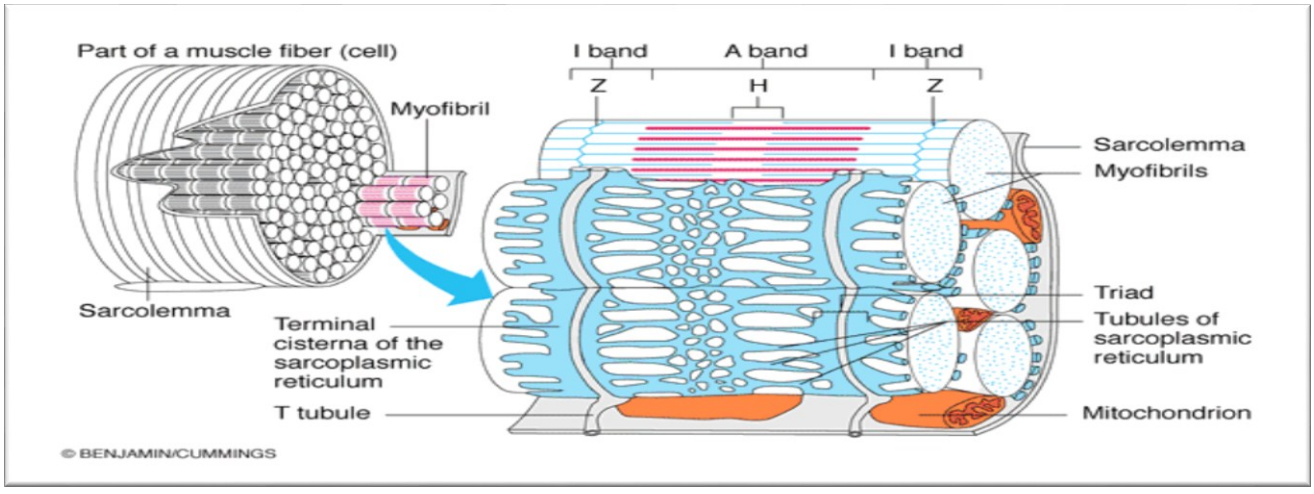


الشكل (2-2) يبين المظهر المخطط للألياف العضلية ومكوناتها

وتتكون العضلات الهيكلية من خلايا عضلية منفصلة (الألياف العضلية)، والخلية العضلية هي الوحدة التركيبية للعضلات، وكل عضلة تبدأ وتنتهي بالأوتار العضلية التي تصلها بالعظام.

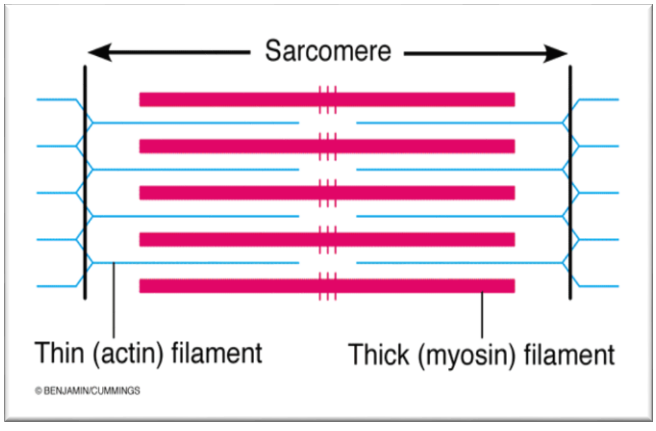
بنية الخلية العضلية (الليف العضلي):

- تتألف الخلية العضلية من غمد الليف العضلي(الغشاء الخلوي لليف العضلي) ويتألف من الغشاء الهيولي وغلالة خارجية، وداخل الخلية يوجد لييفات عضلية دقيقة تحيط بها سيتوبلاسما، غنية بالمتقدرات (مصنع ATP) مع كميات كبيرة من البوتاسيوم والمغنزيوم والفوسفات والإنزيمات البروتينية و شبكة سيتوبلاسمية باطنة هامة للتقلص تمثل مخازن الكالسيوم الضروري جداً لتقلص العضلة .



شكل (2-3) يبين مكونات الخلية العضلية(الليف العضلي)

تتكون الليفات العضلية الدقيقة من بروتينات عضلية قادرة على الانقباض والتقلص، تتنضد بشكل يعطي الليف العضلي مظهره المخطط كما في الشكل التالي:



الشكل رقم (2-4) يوضح بنية الليف العضلي

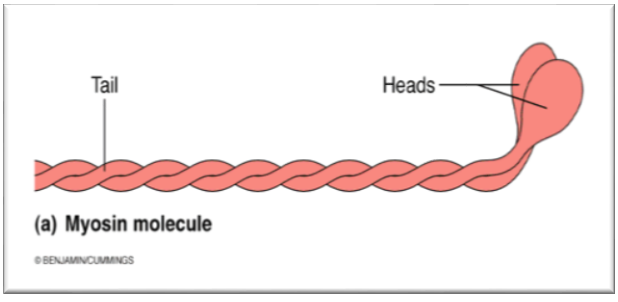
يظهر في الشكل السابق مايلي:

- الحزمة العاتمة A هي خيوط الميوزين الثخينة إضافة لنهايات خيوط الأكتين.
- الحزمة النيرة I هي خيوط الأكتين الرفيعة.
- الخط Z هو بروتينات ليفية رابطة لخيوط الأكتين على طول الليف.
- يطلق على المنطقة الواقعة بين خطين Z اسم (القسيم العضلي).

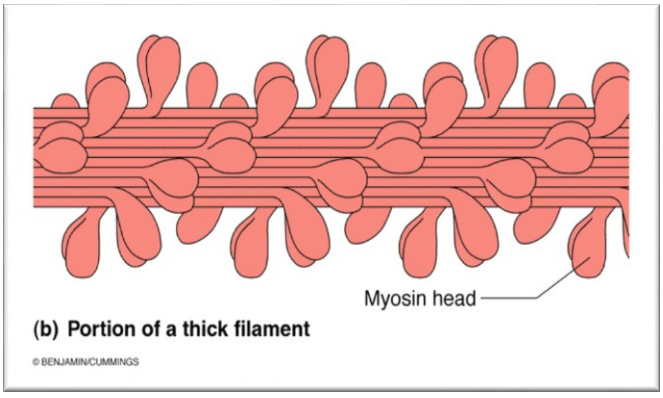
هذا ويوجد أربعة أنواع من البروتينات العضلية المكونة لليفات العضلية وهي:

1)- الميوزين : Myosin

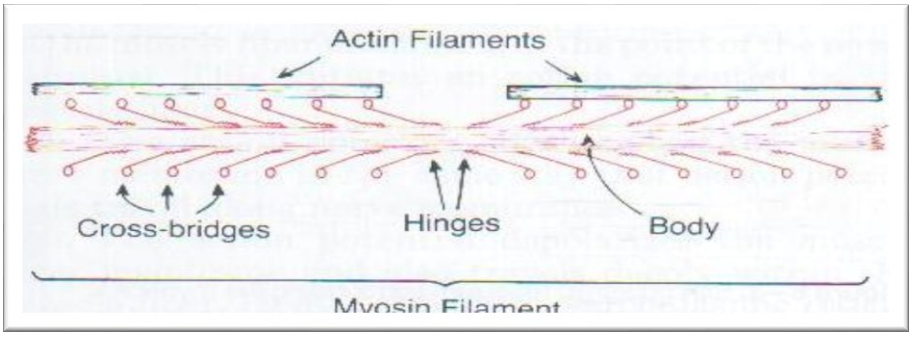
- يكوّن الألياف العضلية السميكة, وزنه الجزيئي كبير ويوجد في الليفة العضلية الواحدة حوالي /1500/ وحدة ميوزين، تتألف جزيئة الميوزين من سلاسل ببتيدية 2 ثقيلة و 4 خفيفة، وتقسم جزيئة الميوزين إلى **ذيل** مكون من السلسلتين الثقيلتين و **رأسان** مكونان من السلاسل الخفيفة و جزء من الثقيلة، يخرج قسم من الذيل قرب الرأس ليشكل **ذراعاً**، الرأس و الذراع يشكلان **الجسور المعترضة (cross bridge)** التي تمتد إلى أسفل لتلتصق على أماكن نشيطة من الأكتين، وتسمى هذه الجسور ميروميوزين الثقيل.والشكل التالي يوضح بنية الميوسين.



الشكل رقم (2-5) يوضح جزيئة الميوزين



الشكل رقم (2–6) يوضح بنية خيط الميوزين



الشكل رقم (2–7) يوضح ارتباط الجسور المستعرضة لخيط الميوزين بخيوط الأكتين

2)– الأكتين : Actin

ويكوّن الألياف العضلية الرفيعة وزنه الجزيئي صغير، ويوجد في الليفة العضلية الواحدة حوالي /3000/ وحدة أكتين، وهو على شكل كروي ويحتوى على أماكن نشيطة تلتصق بها الجسور المستعرضة التي تخرج من الميوزين. لاحظ الشكل بالأسفل.

3)– التروبوميوزين :

- وزنه الجزيئي صغير، وهو على شكل حبل مجدول يمتد على طول خيوط الأكتين، وهو يغطي المواقع الفعالة لجزيئات الأكتين G أثناء الراحة، لاحظ الشكل بالأسفل.

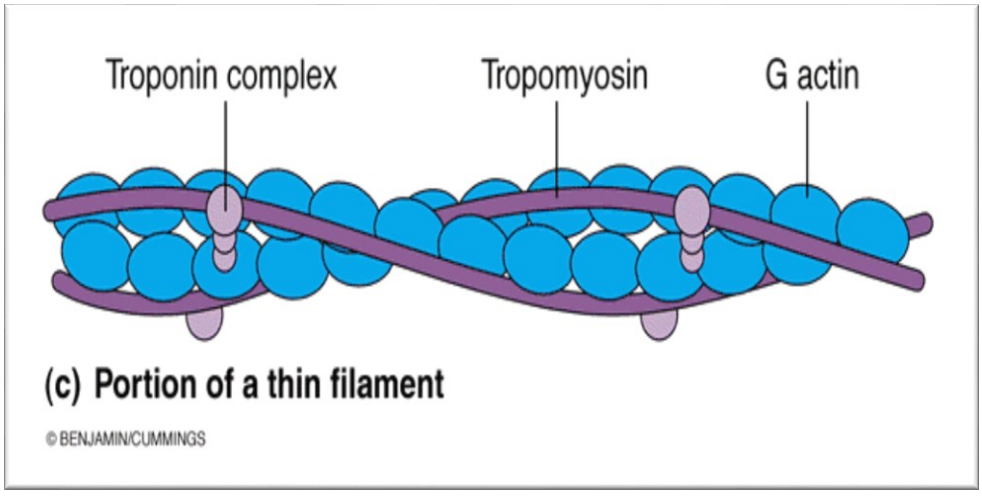
4)- التروبونين : Troponin

- وهو كروي الشكل وزنه الجزيئي صغير ويرتكز على سلسلتي جزيئات التروبوميوزين، ويعمل على ثبات التروبوميوزين في مكانه أثناء الراحة. لاحظ الشكل بالأسفل

يتألف من ثلاث وحدات (I–T–C) كل منها له وظيفة محددة:

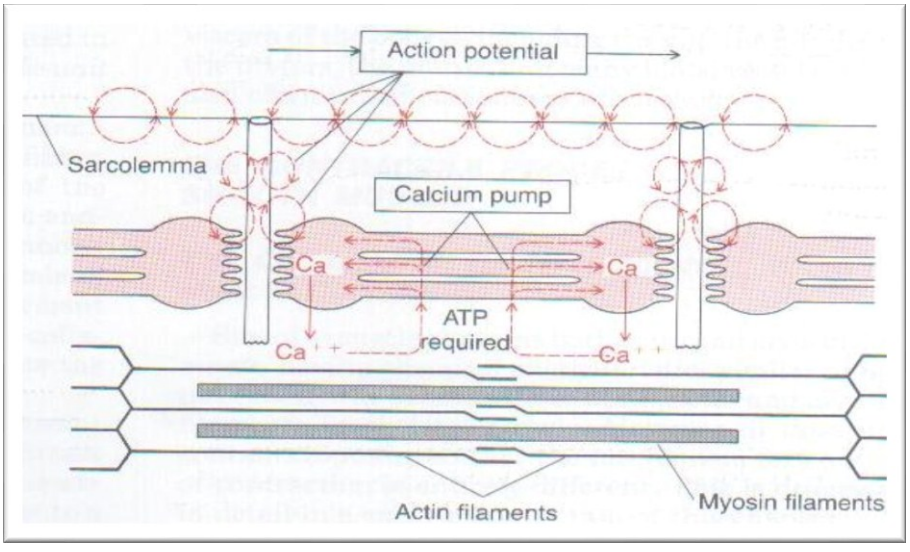
1) تروبونين C: شديد الألفة ل Ca^{++}
2) تروبونين I : شديد الألفة للأكتين
3) تروبونين T: شديد الألفة للتروبوميوزين

ويعتقد أن ارتباط تروبونين C بـ (Ca^{++}) عند التنبيه يؤدي إلى تحرر الموقع الفعال للأكتين فيتفاعل مع الميوزين وحدوث التقلص.



الشكل (2–8) يبين طريقة ارتباط جزيئات الأكتين والتروبونين مع خيط التروبوميوزين

وتحاط كل ليفة عضلية بغشاء عضلي Sarcolems. ويخترق هذا الغشاء بالعرض مجموعة من النبيبات المستعرضة وتسمى نبيبات /T tulule/ T وهي تمتد من غشاء الخلية العضلية في كل اتجاه مخترقة كامل الخلية العضلية، وتمتلئ هذه النبيبات بالسائل النبيبي. ومسار نبيبات /ت/ من خلال الخلايا العضلية يمر بين الجزئين الكرويين المكونين لنهايات الشبكة الهيولية للخلايا العضلية، لاحظ الشكل بالأسفل.



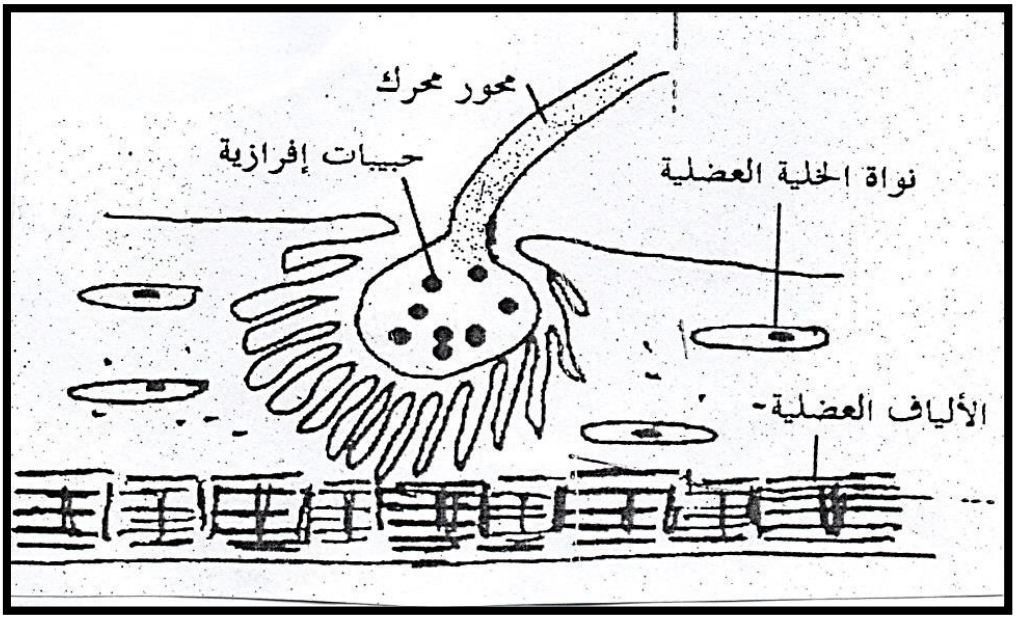
الشكل رقم (2–9) يوضح أنابيب (ت) في العضلات وعملية تحرر الكالسيوم من النهاية الكروية للشبكة الهيولية وبدء الانقباض العضلي.

وهنا تعمل نبيبات /ت/ على سرعة وصول السيالات العصبية إلى جميع أجزاء الخلية العضلية بينما تحتوي الشبكة الهيولية على مخزون من الكالسيوم اللازم للانقباض العضلي.

☒ آلية الانقباض في العضلات:

تتصل نهايات الأعصاب المحركة (القادمة من الجهاز العصبي المركزي) والمغذية للعضلات مع الألياف العضلية في مكان يسمى الصفيحة الانتهائية المتحركة (شكل رقم). تحتوي النهايات العصبية على حويصلات إفرازية تحتوي على الهرمون الموضعي المسؤول عن بدء الانقباض العضلي، وهذا الهرمون هو الأستيل كولين.

فعند وصول السيالة العصبية إلى النهاية العصبية يتحرر الأستيل كولين في مكان التشابك العصبي العضلي ويتحد مع مستقبلات خاصة له تسمى مستقبلات النيكوتين والتي توجد على رأس قنوات الصوديوم في غشاء الخلية العضلية.



الشكل رقم (2–10) الصفيحة الانتهائية المحركة بين نهاية العصب المحرك والليف العضلي

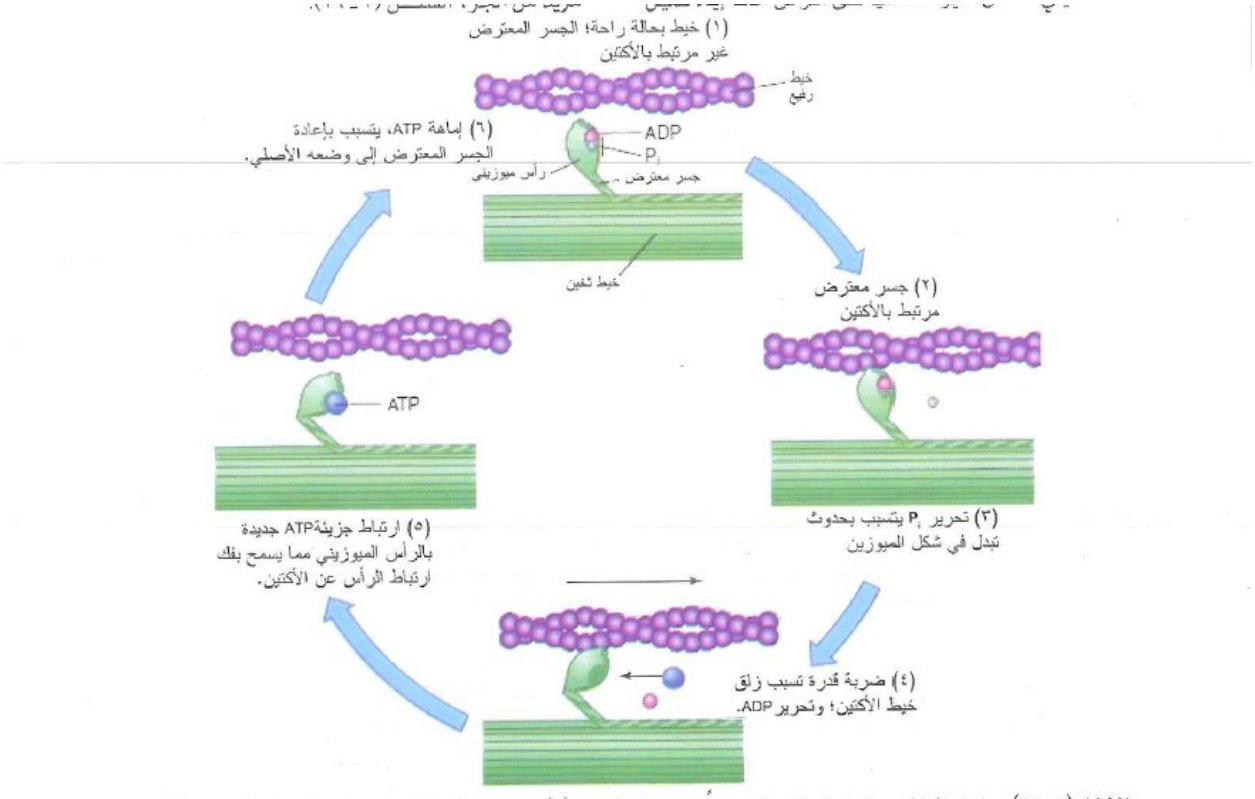
تفتح قنوات الصوديوم نتيجة ذلك وتزيد نفاذية أغشية الخلايا للصوديوم مما يؤدي إلى إزالة الاستقطاب في الخلية العضلية، وتمر سيالة عصبية على طول غشاء الخلية العضلية.

تمر هذه السيالة عبر نبيبات /ت/ إلى داخل الخلية العضلية. ونظراً لمرور نبيبات /ت/ قرب الجزء الكروي المكون للشبكة الهيولية في الخلايا العضلية يتحرر الكالسيوم في هيولى الخلايا العضلية ويتحد مع تروبونين /C/ .

تحرك خيط التروبوميوزين نتيجة التصاق الكالسيوم بالتروبيونين كاشفاً الأماكن النشيطة على الأكتين التي سرعان ما تتصل بالجسور المستعرضة التي تخرج من الميوزين مكونين معاً الأكتوميوزين، وينزلق الأكتين متحركاً على طول خيوط الميوسين نتيجة اتحاد وانفصال متوال ومتتابع للجسور المستعرضة والأماكن النشيطة على طول خيوط الأكتين ويحدث انقباض للعضلة. عند انتهاء التقلص تعيد مضخة الكالسيوم شوارد Ca^{++} إلى مخازنها ← الاسترخاء .

ويحتوي كل جزء من الميوسين على حوالي /300/ جسر مستعرض، وكل منها يتحد وينفصل مع الأماكن النشيطة على الأكتين حوالي خمس مرات في الثانية الواحدة أثناء الانقباض العضلي.

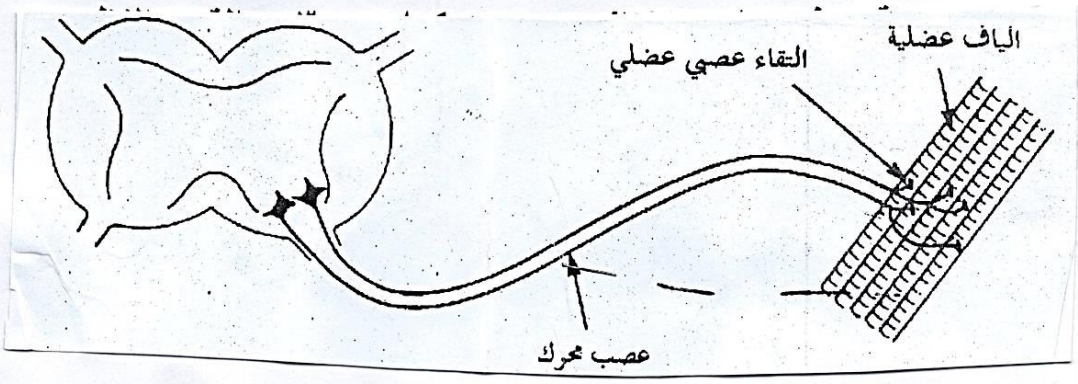
إنّ اتحاد الجسور المستعرضة مع الأماكن النشطة على الأكتين ينشط أنظيم الـ ATPAS الذي يحطم جزيء الـ ATP منتجاً طاقة حرارية تستعمل في اتحاد وانفصال الجسور المستعرضة على طول خيوط الأكتين وانزلاق الأكتين على الميوزين وحدوث الانقباض العضلي.



الشكل (٢ - ١٩) مراحل التقلص العضلي الهيكلي بدءاً من حالة الراحة (١)، مرورا بارتباط الجسور التصالبية بالأكتين (٢)، ثم التغيرات الشكلية في رأس جزيئة الميوزين (٣)، فضربة القدرة (٤)، فارتباط ATP جديد وانفصال رأس الجسر عن الأكتين (٥)، وأخيراً شطر جزيئة الATP وعودة الجسور التصالبية إلى الوضع الأصلي.

☒ الوحدة الحركية Motor Unit :

وهو عدد الألياف العضلية التي يغذيها ليفة عصبية محركة واحدة. ويختلف عدد الألياف العضلية التي تغذى بمحور عصبي واحد حسب وظيفة العضلة. ففي العضلات السريعة التي تحتاج إلى الانقباض والارتخاء بسرعة مثل عضلات العين تكون النسبة (1-3)%، بينما عضلات الظهر المسؤولة عن حفظ توازن الجسم قد تصل النسبة إلى (1- 2000)%. وتقوم الوحدة الحركية الصغيرة بمهام سريعة ودقيقة، ولكن تصاب بالتعب بسهولة. مثل هذه الوحدات الحركية توجد في اليد عند الإنسان. أما الوحدات الحركية الكبيرة قادرة على القيام بمهامها لفترة طويلة ولا تعاني من التعب العضلي السريع.



الشكل رقم ( ) يبين تركيب الوحدة الحركية من أعصاب محركة ومجموعة من الألياف العضلية.

☒ خواص العضلات الهيكلية :

1) الاستثارة Exutation :

وهي قدرة العضلة على الاستجابة لمنبه خارجي بالانقباض.

2) نقل وتوصيل الاستثارة في العضلات :

تنتقل الاستثارة في الألياف العضلية بشكل معزول، أي لا تنتقل من ليف عضلي إلى ليف عضلي آخر مجاور. وتتوضع المشابك العصبية – العضلية بشكل أساسي في وسط الليف العضلي لذلك تنتشر الاستثارة في كلا الاتجاهين وبسرعة تشمل كل أنحاء العضلة وتسبب تقلصها في آن واحد. ولكن انتشارها في الألياف العضلية البيضاء والحمراء مختلفة فهي في الألياف البيض تصل إلى /12 – 15/ م /ثا وفي الحمراء /3–4/ م /ثا.

3) التمدد : Ditemtion

إذا علق إلى عضلة ثقل ما فإنها تتمدد. وخاصة العضلة تحت تأثير الثقل تسمى التمدد. وتتعلق درجة تمدد العضلة بقيمة الثقل. وتمدد الألياف الحمراء أكبر من تمدد الألياف البيضاء. والعضلات ذات الألياف المتوازية تتطاول أكثر من المريشة. وعند تمديد العضلات المسترخية تظهر فيها

خواص المرونة ويتطور فيها التوتر. حيث يرتفع فيها التوتر المرن بشكل متزايد مع التمديد. وتمتلك العضلات الهيكلية حتى في حالة الراحة في جسم الحيوان والإنسان التوتر الضعيف، حيث تكون متطاولة أو ممدودة قليلاً.

4) المرونة : Elartiuty :

وهي مقدرة الجسم المشوّه Delorming على العودة إلى وضعه البدئي (الأصلي) بعد إزالة القوة المسببة للتشوه. وتدرس مرونة العضلات بتمديدها بأوزان. وتتصف الألياف العضلية البيضاء الهيكلية بالمرونة الأعلى من الألياف الحمراء بعد إزالة الثقل تحاول العضلة العودة إلى الحجم الأول ولكنها لا تستطيع العودة دائماً إلى الطول المبدئي. والعضلة تبقى بعد التمدد الطويل أو تأثير الثقل الطويل أو تأثير الثقل الكبير متطاولة قليلاً، حيث أنها لا تمتلك المرونة المطلقة.

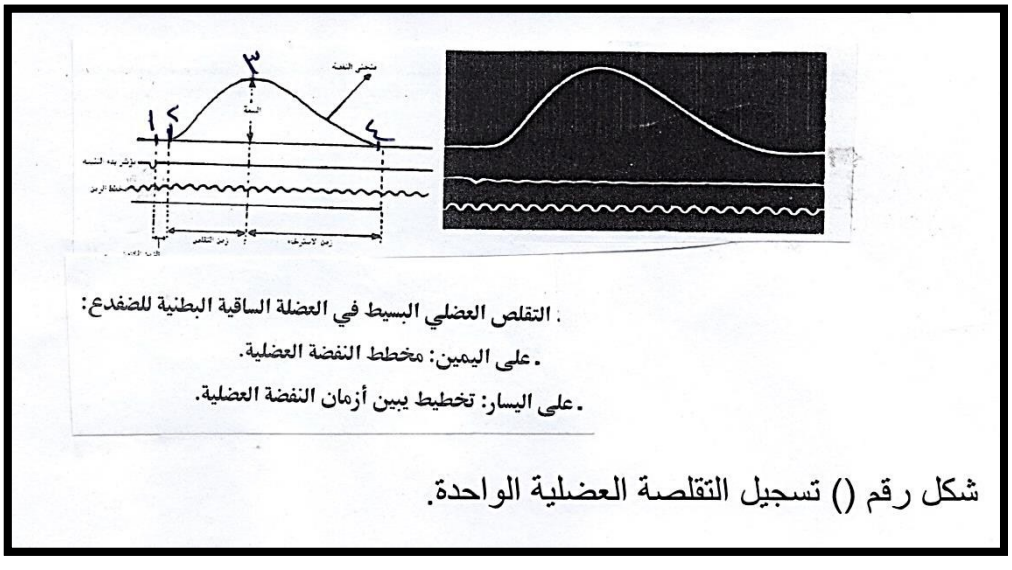
☒ انقباض / تقلص العضلات : Musculor :

النشاط النوعي للنسيج العضلي هو التقلص كرد فعل على الإثارة أو التنبيه. ونميز في تقلص العضلات: التقلصة المفردة الواحدة للعضلة، والتقلص التكززي.

أ- التقلصة الواحدة للعضلة / النفضة العضلية :

تجيب العضلة على التنبيه المفردة القصيرة زمنياً (مثل تنبيه التيار الكهربائي) بتقلصة واحدة مفردة ويلاحظ عند تسجيل هذه التقلصة على الكيموغراف ثلاثة اطوار:

1) طور الكمون (latent) وهو من لحظة التنبيه إلى بداية التقلص.
2) طور التقلص (contraction prcod) وهو طور تقاصر العضلة.
3) طور الاسترخاء (relaxation).



شكل رقم () تسجيل التقلصة العضلية الواحدة.

1- لحظة التنبيه – 2- بداية التقلص

1- 2 الزمن الكامن. 2- 3 طور التقلص. 3-4 طور استرخاء.

وتستمر التقلصة الواحدة لعضلة بطن الساق للضفدع / 0.1 / ثانية. يهدر من هذا الزمن /10/ ميلي ثانية على طور الكمون و /40/ ميلي ثانية على طور التقلص و/50/ ميلي ثانية على طور

الاسترخاء. ويحدث في العضلة في فترة طور الكمون العمليات التي تتحرر بنتيجتها الطاقة اللازمة للتقلص العضلي.

ب- التقلص التكززي للعضلة : Tutanuic untraction :

إذا طبقنا على ليف عضلي أو على كامل العضلة مجموعة من التنبيهات متساوية الشدة شدتها تفوق الريوباز وتفصل بينها فترات زمنية متساوية، فإننا نحصل على تقلص عضلي قوي وطويل الأمد، يدعى التقلص التكززي وعموماً تفوق سعة التقلص التكززي عدة مرات سعة النفضة العضلية الواحدة.

وعند تعريض العضلة للتنبيهات المفردة الذاهبة الواحدة تلو الأخرى وعلى فترات زمنية مختلفة نلاحظ الأشكال المختلة للتقلص كما في الشكل بالأسفل. فعندما تكون التنبيهات متباعدة عن بعضها البعض بفترات زمنية تزيد عن زمن حدوث التقلصة الواحدة فإنه تنشأ التقلصات الأحادية المفردة. وإذا كانت التنبيهات أكثر كثافة بحيث يطبق التنبيه على العضلة في اللحظة التي تكون فيها قد بدأت بالاسترخاء – نلاحظ حدوث التقلص التكززي غير الكامل أو المسنن.

وإذا كانت التنبيهات كثيفة لدرجة أنها تطبق على العضلة قبل بدء استرخائها فإنه يحصل التقلص العضلي الطويل المستمر – التقلص التكززي الكامل أو الأملس.

☒ الإجهاد العضلي (التعب العضلي):

الإجهاد (التعب العضلي) هو الانخفاض المؤقت أو التوقف المؤقت لعمل العضلة أو العضو ككل نتيجة لنشاطه وعمله الطويل. وتنخفض أثناء الإجهاد العضلي الخواص الوظيفية للعضلة : الاستثارة، التقلص، وينخفض ارتفاع تقلص العضلة تدريجياً. وتصبح التقلصة الواحدة للعضلة راحة ممددة طويلة زمنياً على حساب إطالة طور الاسترخاء بشكل أساسي. وتجهد العضلات الهيكلية قبل العضلات الملساء.

ولتوضيح الإجهاد العضلي اقترح العالم شيف نظرية الجوع أو السغاب والتي ترجع السبب في حدوث الإجهاد إلى نضوب مخزون مواد الطاقة في العضلة (الغليكوجين والـ ATP وفسفات الكرياتين).

وقد ثبت في الدراسات العلمية للإجهاد العضلي في ظروف كامل الجسم أنه يظهر في العضلة المجهدة نواتج استقلاب المواد وينخفض محتوى الغليكوجين والـ ATP وفسفات الكرياتين. كما تحصل التغيرات أيضاً في البروتينات التقلصية للعضلة حيث ينخفض مستوى الارتباط بين بروتين الأكتين والميوسين.

ويظهر الإجهاد في العضلة المعزولة بشكل أسرع من العضلة الموجودة في الجسم بفضل التروية الدموية وقد أثبت العلماء بتجارب على مستحضر العصب والعضلة بأن العضلة المنبهة من خلال العصب ستتعب وستتوقف عن الانقباض، ولكن تنبيه العضلة فيما بعد وبشكل مباشر يتجدد تقلصها ونشاطها. وبعد الأخذ بعين الاعتبار بأن العصب لا يجهد فعلياً، فقد استنتج أن المشابك العصبية هي التي تتعب.

وسبب الإجهاد السريع للمشابك العصبية هي العوامل التالية : أثناء التنبيه الطويل ينخفض في النهايات العصبية احتياطي الوسيط الكيميائي والتخليق له لا يكفي للإثارة والتنبيه ونشوء كمون العمل. إضافةً إلى ذلك, تخفض نواتج الاستقلاب المتراكمة في العضلة حساسية الغشاء بعد المشبكي للأستيل كولين ولذلك تنخفض قيمة الكامن بعد المشبكي.

ويحصل الإجهاد في حلقات القوس الانعكاسي المختلفة في الجسم في المراكز العصبية أولاً وخاصة في خلايا قشرة المخ، ويمكن إزالة الإجهاد أو تأخير حدوثه في العضلات بمساعدة التمارين الرياضية.

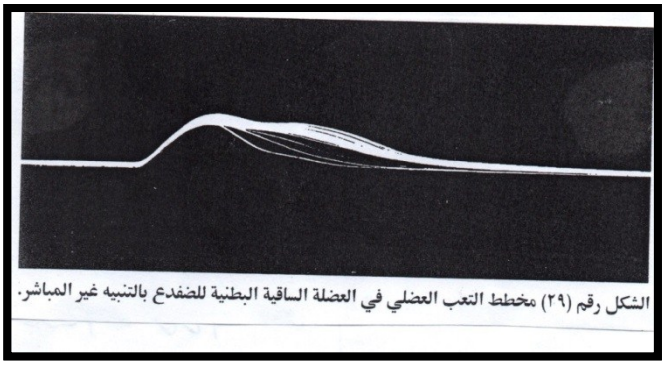
☒ توتر العضلات Muscle Tonus :

للعضلات الهيكلية المقدرة على التواجد الطويل على هذا المستوى أو ذاك للتوتر تحت تأثير التنبيهات القليلة النادرة. هذا النوع للنشاط العضلي يسمى التوتر العضلي. ويرتبط تحقيق توتر العضلات الهيكلية بوظائف الوحدات الحركية البطيئة للألياف الحمر للعضلات. والخاصة المميزة للألياف الحمر هي السرعة البسيطة لتقلصها واسترخائها. ونتيجة لذلك فإن النظم النادر للتنبيه كافٍ للحفاظ على تلك الألياف العضلية في حالة تقلص.

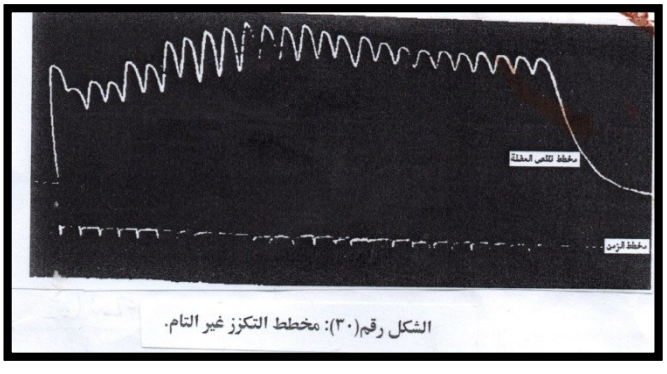
ويرتبط توتر العضلات الهيكلية مع وصول الدفعات العصبية النادرة القليلة إلى العضلات، ونتيجة لذلك لا تستثار كل الألياف العضلية في وقت واحد ولكن بالتناوب مبدلة بعضها البعض. وتصل هذه الدفعات العصبية إلى العضلات من العصبونات الحركية للنخاع الشوكي نفسه.

ويلعب توتر العضلات الهيكلية الدور الهام في الحفاظ على وضعية محددة للجسم في الفضاء وعلى نشاط الجهاز الحركي والتقلصات التوترية للعضلات اقتصادية ولا تترافق بالاستقلاب المرتفع والهدر الكبير للطاقة لذلك لا تتعب العضلات فعلياً أثناء التوتر.

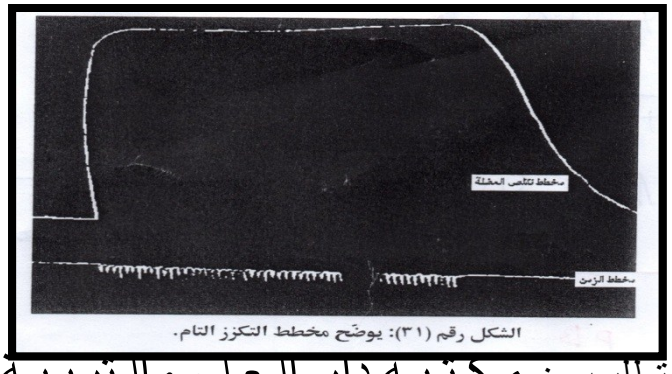
نهاية المحاضرة الثانية



الشكل رقم (٢٩) مخطط التعب العضلي في العضلة الساقية البطنية للضفدع بالتنبيه غير المباشر.



الشكل رقم(٣٠): مخطط التكزز غير التام.



الشكل رقم (٣١): يوضّح مخطط التكزز التام.