المحاضرة الرابعة عشر: النظام الحركي

1- التشريح العصبي والفسيولوجية:

الوظيفة الرئيسية للجهاز العضلي هي تمكين الجسم من القيام بمختلف أنواع الحركات الميكانيكية اللازمة للقيام بوظائف الجسم حيث أن توقف بعض العضلات عن العمل يؤدي إلى الموت المحقق للإنسان . لأن كل أجهزة الجسم الحيوية تتشكل من عضلات تسمح لها بأداء وظائفها. كما أن العضلات المحركة للأيدي والأرجل التي تساعد الإنسان على التنقل والعمل، وأيضا لها وظيفة تغطية الهيكل العظمي وما يحويه من أعضاء بطبقة من اللحم تحميه من المؤثرات الخارجية كالمؤثرات الميكانيكية والحرارة والبرودة وغيرها. وعلى الرغم من أن الجسم مغطى بما يزيد عن ستمائة عضلة بمختلف الأشكال والأحجام إلا أنه قد تم ترتيبها فوق بعضها البعض بشكل بالغ الإتقان بحيث يبدو الشكل الخارجي للجسم في منتهى التناسق والجمال وذلك بعد تغطيتها بطبقة رقيقة من الجلد.

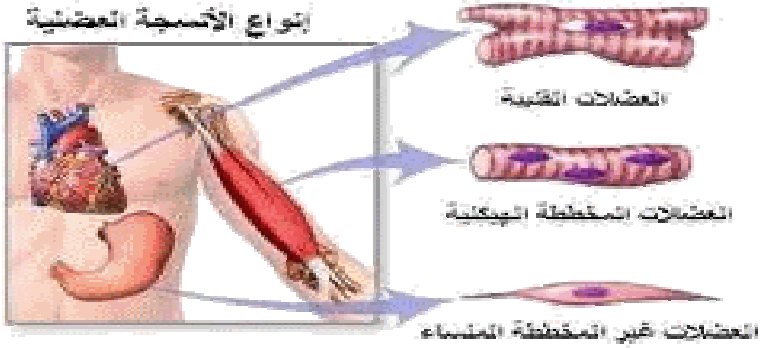
1.1- **أنواع العضلات:** تنقسم العضلات إلى ثلاثة أنواع:

أ- **العضلات الهيكلية المخططة:** هي عضلات تتكون من حزمة من الألياف الرفيعة مثل عضلات الرأس والجذع والأطراف وهي تتيح الحركة وتسمى كذلك عضلات إرادية.

ب- **العضلة القلبية:** وهي عضلة غير إرادية ولكنها أقرب في البنية إلى العضلة الهيكلية وتوجد فقط في القلب.

ج-العضلات الملساء: تتكون من خلايا وألياف مستطيلة وهي غير متصلة بالهيكل العظمي مثل العضلات المخططة وهي تحيط بالأعضاء المجوفة مثل الأمعاء والقصبة الهوائية والأوعية الدموية، وتسمى عضلات لا إرادية.

وتشكل العضلات الإرادية 40% من وزن الجسم، بينما تشكل العضلات الملساء وعضلة القلب من (5-10%) من وزن الجسم.

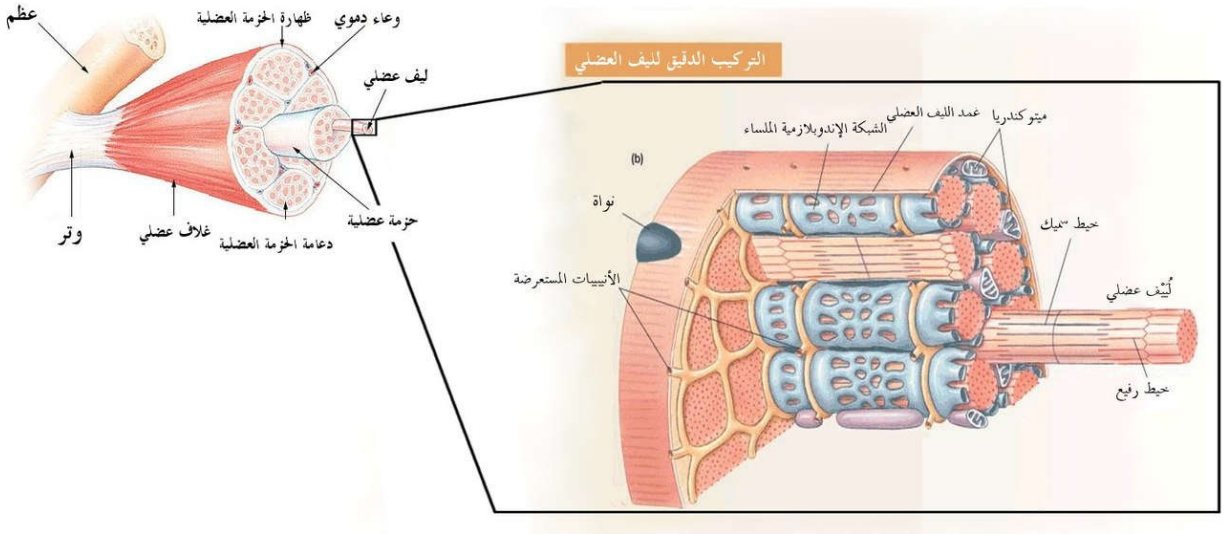


الشكل(61): أنواع العضلات http://biology-pro.blogspot.com/p/blog-page_872.html

2.1- بنية العضلة:

تتكون العضلة من ألياف عضلية تتجمع في شكل حزم عضلية Fascic Fiberulus's و يتحدد عدد هذه الألياف خلال الأربعة أو الخمسة أشهر الأولى بعد الولادة ولا يتغير هذا العدد طوال العمر، غير أن التدريب الرياضي يزيد سمك هذه الألياف و بالتالي يزيد سمك العضلة ككل.

تحاط كل ليفة من هذه الألياف بغشاء رقيق يعرف بالساركوليما Sarcolemma يفصل بين محتويات الليفة وسائل ما بين الخلايا. و تضم الليفة عددا من اللويفات Myofibuls يجري بينها سائل الساركو بلازمSarcoplas يملأ فراغ الخلية من الداخل و تتعلق بهذا السائل وتسبح فيه العديد من الجسيمات الصغيرة التي تسمى عضيات الخلية العضلية، فكل ليف من الألياف العضلية الهيكلية خلية عضلية واحدة أسطوانية الشكل طويلة للغاية.



الشكل(62): تركيب العضلة

https://ar.wikipedia.org/wikiSkeletal_muscle_and_fiber.jpg

يضم كل ليف عضلي عدة مئات إلى عدة ألاف من الليفات العضلية تكون موازية لمحور الليف العضلي، و هي غير متجانسة حيث تتألف من حوالي (1500) خيطا سميكا من بروتين الميوسين و(3000) خيطا رفيعا من بروتين الأكتين مصطفة بجانب بعضها. وهي المسؤولة عن التقلص العضلي.

وبفضل هذا التركيب المتناوب للنوعين من الخيوط البروتينية للميوسين والأكتين تظهر الليفة العضلية بمنظر متناوب لأقراص نيرة وأخرى قاتمة و تبدو مخططة عرضيا، حيث توجد في القطعة العضلية منطقة واحدة في الوسط مكونة من خيوط الميوسين السميكة فقط، ومنطقتين حولها يوجد فيها خيوط الأكتين والميوسين المتداخلة ومن ثم منطقتين عند الأطراف لا يوجد فيها إلا خيوط الأكتين الرفيعة .

وعند النظر إلى الليفة العضلية بالمجهر نجد أنه يظهر على طولها بشكل دوري مناطق داكنة اللون يليها مناطق باهتة أو فاتحة اللون .(Dark and light Bands) حيث :

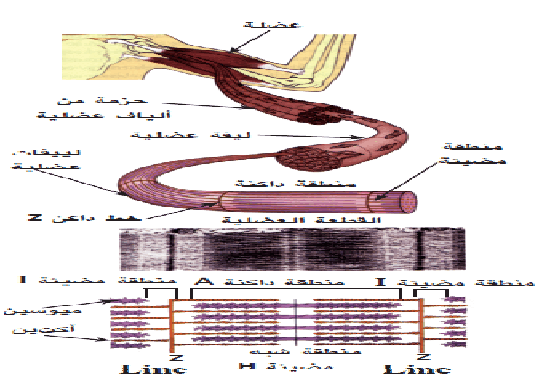
- الجزء الداكن أو القاتم يمثل منطقة تواجد فيها خيوط الميوسين السميكة ويطلق عليها اسم شريط (A band) أو المنطقة (A) . والجزء في منتصفها الذي يحتوي على خيوط الميوسين السميكة فقط يسمى المنطقة H (H-zone) وهي تتيح المجال لإنزلاق خيوط الأكتين الرفيعة عند انقباض الليفة العضلية، وأيضا في منتصف هذه المنطقة(A) يظهر خط باهت يمثل غشاء يمتد عموديا على الألياف لتثبيتها يعرف بغشاء هانس (Hanes's membrane)أو خط M (M line) .

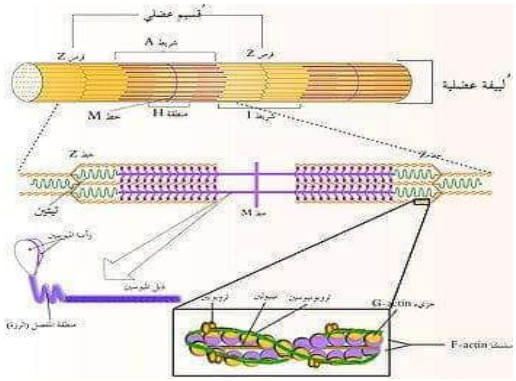
- الجزء الباهت أو النير فهو منطقة تواجد خيوط الأكتين الرفيعة ويطلق عليها شريط (I) أو المنطقة (I) (band I) . و في منتصفها المنطقة يظهر خط داكن وهو غشاء يعرف بغشاء كراوس (Krause membrane) أو قرص (Z disk) Z وحوافه مثبتة بالغشاء الخلوي لليفة العضلية.

-يمتد فيما بين خط M وقرص Z خيوط طولية مكونة من جزيئات التينين (Tinin) العملاقة تقع فيما بين خيوط الميوسين والأكتين، وهي عبارة عن خيوط مرنة تعمل على إعادة الليفة العضلية إلى وضعها الطبيعي بعد انتهاء فترة الانقباض

-ويعرف الجزء من الليفة العضلية بين خطي Z متتاليين بإسم "القطعة العضلية" (ساركومير) (Sarcmere) ، وهي تعتبر الوحدة الإنقباضية لليفة العضلية الهيكلية.

وهكذا يكون للعضلة مناطق نيرة و أخرى قاتمة معطية اللون والمنظر المخطط الملاحظ في العضلات الهيكلية والقلبية. و يلاحظ هذا أكثر في العضلة المسترخية، ويزداد قصر الساركومير كلما اشتد التقلص العضلي، بينما يبقى القاتم(A) خلال التقلص العضلي ثابتا.

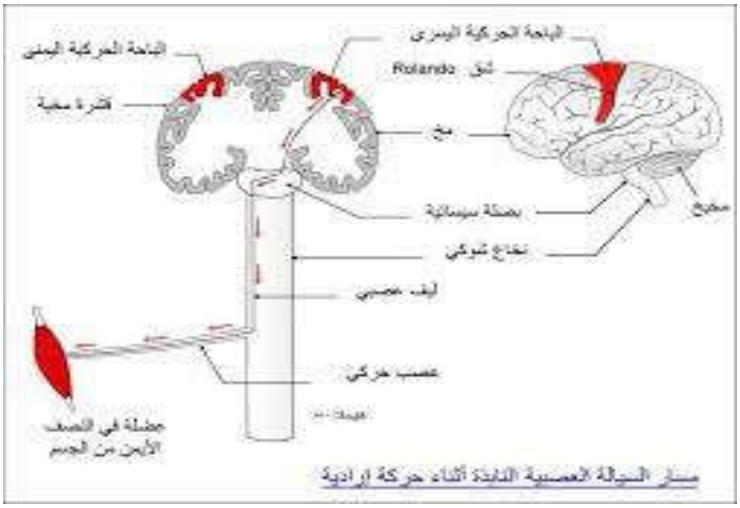




الشكل(63): تركيب الليف العضلي https://ar.wikipedia.org/wiki

2-آلية التقلص العضلي:

الآلية التي يستخدمها الدماغ لترجمة إرادة الإنسان للقيام بتحريك أحد أعضاء جسمه لا تزال مجهولة عند العلماء رغم تحديدهم لمركز الإرادة والتصور والتفكير والتي تقع في مقدمة الدماغ. رغم أن البرامج التي تقوم بتحريك مختلف عضلات الجسم يتم برمجتها وتخزينها في مراكز الدماغ المسؤولة عن من خلال التدريب خلال حياة الإنسان بما يسمى بالبرمجة العصبية. فعندما يولد الإنسان تكون هذه المراكز مبرمجة برمجة مبدئية تمكن الإنسان من القيام بالحركات الأساسية ومن ثم يتم تحسين هذه البرامج من خلال التدريب كما هو الحال في تدريب عضلات الفم واللسان على النطق بالأحرف والكلمات وتدريب عضلات اليد على الكتابة وكذلك الحال مع بقية عضلات الجسم.



الشكل(64): تركيب الليف العضلي https://www.google.com/search?

عندما يبدي الرغبة للقيام بحركة ما فإن يلزم تحريك جميع العضلات اللازمة لذلك وخلال هذه الفترة الزمنية يتم إرسال مئات الملايين من الإشارات العصبية من

مركز الحركات الدماغ لهذه العضلات اليد ومن هذه الأخيرة إلى الدماغ يتم من خلالها تحديد العضلات المراد تحريكها ومقدار شدها في كل لحظة زمنية حيث:

-يربط الليف العصبي باللليفة العضلية من خلال المشتبك العصبي العضلي (neuromuscular junction)، حيث تنتشر الفروع الصغيرة خاص لليف العصبي على سطح الليفة العضلية. وينتهي كل فرع في حفرة متناهية الصغر تسمى ميزاب المشتبك أو الصفيحة الانتهائية.

- بوصول النبضة العصبية الحركية إلى نهاية الفروع الصغيرة فإنها تفرز مرسل عصبي هو إنزيم الاستيل كولين (acetylcholine) داخل الحفر والذي يبدأ بالانتشار عبر غشاء الليفة العضلية مما يؤدي إلى إزالة استقطاب غشائها الخلوي فيطلق نبضة عضلية كهربائية تؤدي إلى سلسلة من التفاعلات الكيميائية في داخل الليفة تعمل على انقباضها حيث:

- إزالة الاستقطاب عند مكان الصفيحة الانتهائية يولد جهد الفعل (action potential) في ذلك المكان وهذا يولد بدوره نبضة كهربائية تسمى النبضة العضلية (muscle impulse) تبدأ بالانتشار على طول جدار الغشاء الخلوي وستسري بالطبع في جدران الأنيبيبات المستعرضة (T- tubules) والتي يوجد منها اثنان حول كل قطعة من القطع العضلية. ويوجد في جدارها مستقبلات تسمى ثنائيات هيدروبيريدين ((dihydropyridine – DHP) والتي ترتبط بمستقبلات (ryanodine receptors) التي تتحكم بقنوات إطلاق الكالسيوم-(calcium release channels) الموجودة في حويصلات الشبكة الإندوبلازمية الملساء (sarcoplasmic reticulum) .

- تصل النبضة العضلية إلى هذا المستقبل يتغير شكله فيقوم بفتح قنوات إفراز الصوديوم على الشبكة الإندوبلازمية الملساء مما يؤدي إلى فتح الحويصلات المملؤة بأيونات الكالسيوم والذي ينساب ليصل إلى خيوط الميوسين والأكتين.

- يرتبط الكالسيوم بجزيئات التروبونين (Troponin-C) والمرتبطة بدورها بجزيئات التروبوميوسين فيؤدي هذا الارتباط إلى سحب التروبونين إلى داخل الفراغات الموجودة بين سلسلتي الأكتين الملتفتين حول بعضهما (F-actin) مما يعني كشف مواقع ارتباط

رؤوس الميوسين بالأكتين .(binding sites) فالتروبوميوسين كما ذكرنا سابقا يغطي في حالة الارتخاء مواقع الارتباط وبالتالي لا يسمح بارتباط الأكتين بالميوسين وعند إزاحته عن مواقع الارتباط سوف يسمح بارتباطهما مما يؤدي إلى قيام رؤوس الميوسين أو ما يسمى بالجسور المعترضة بسحب خيوط الأكتين باتجاه خط الوسط بطريقة أشبه ما تكون بحركة مجاديف القارب.

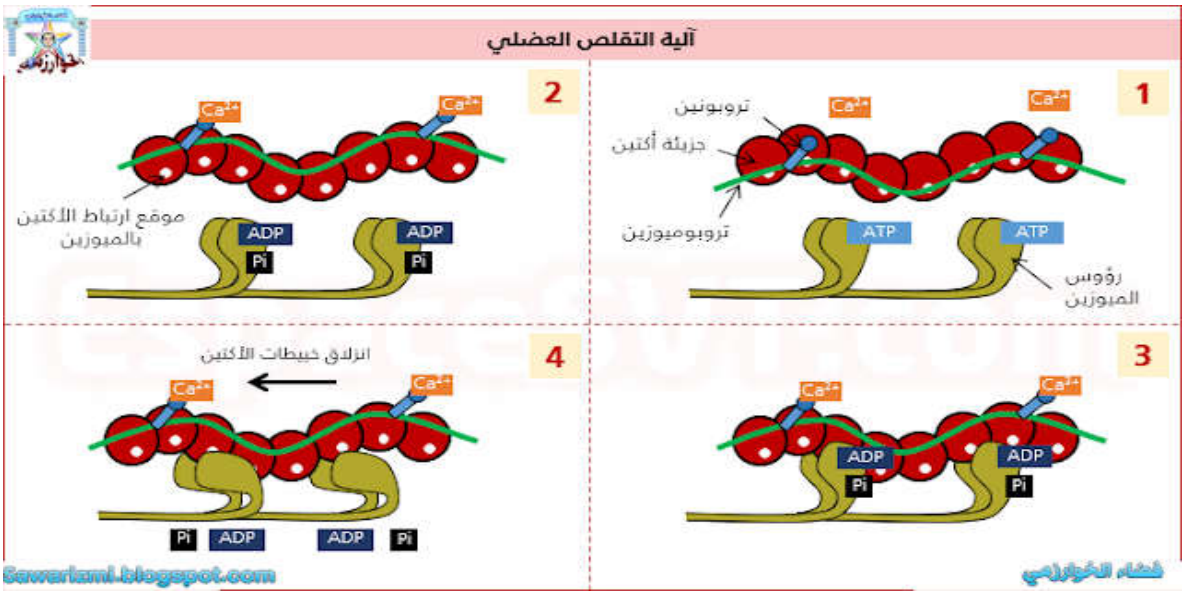
- تحتاج الليفة العضلية عند انقباضها وكذلك عند انبساطها لكمية معينة من وحدات الطاقة (ATP) وذلك لعدة أغراض أولها تحريك الجسور العرضية (crossbridges) لإحداث عملية انزلاق الخيوط الرفيعة والسميكة فوق بعضها وذلك أثناء الانقباض أما اثناء الانبساط فتحتاج الطاقة لإعادة ضخ أيونات الكالسيوم إلى الحويصلات الموجودة في الشبكة الإندوبلازمية وكذلك لفصل الجسور عن مواقع الارتباط .إن جزيئات الطاقة (ATP) الحرة المتوفرة في العضلة لا تكفي إلا لعدة انقباضات ولذلك لا بد من تزويدها بالطاقة من مصادر أخرى وهي أولا تحويل فوسفات الكرياتين (Creatine Phosphate) الذي يتراكم في العضلات أثناء فترة الراحة إلى الكرياتين وكمية من وحدات الطاقة (ATP) وهو مصدر سريع ولكنه لا يكفي إلا لعدة ثواني. أما المصدر الثالث فهو النشأ الحيواني أو بروتين الجلايكوجين (Glycogen) والذي يتحلل بمساعدة أنزيمات خاصة إلى سكر الجلوكوز والذي يتحلل بدوره ليعطي كمية كبيرة من وحدات الطاقة(ATP) .

- الانقباض في الليفة العضلية لا يستمر طويلا حيث يوجد في داخل الحفر أنزيم آخر يسمى كولين استريز (Cholinesterase) يعمل على تحليل أنزيم الاستيل كولين مما يؤدي إلى إعادة استقطاب الغشاء مرة أخرى وبالتالي انبساط الألياف العضلية ومن ثم ارتخاء العضلة .

والآلية التي يتم من خلالها انقباض الألياف العضلية فيعتقد أكثر العلماء على أنها تعتمد على ما يسمى بنموذج الألياف المنزلقة (The sliding-filament model) أو ما يسمى أيضا بفرضية الألياف المتشابكة الأصابع المنزلقة (Sliding Interdigitating Filament Hypothesis) ووفقا لهذا النموذج فإن خيوط الأكتين الرفيعة تنزلق عند إثارتها نحو خط

الوسط أي خط M الموجود في منتصف المنطقة الداكنة وذلك من الجهتين فتصغر بذلك منطقة H وقد تختفي تماما.

وعند إنزلاق خيوط الأكتين الرفيعة نحو خيوط الميوسين السميكة فإن المسافة بين قرصي Z الواقعين حول خط M تقل وبذلك يقل طول جميع القطع العضلية (Sarcmere) وبالتالي يقل طول الليفة العضلية ككل بسبب أن حواف قرص Z مثبتة على غشائها فتنقبض بانقباضها. إن انقباض الليفة العضلية يتم نتيجة سلسلة متتالية من العمليات الكيمائية المعقدة والتي تحدث بعد وصول النبضة العصبية (Nerve impulse) إلى مكان إلتقاء الليف العصبي مع الخلية العضلية.



الشكل(65): تركيب الليف العضلي post_31.html

http://www.5awarizmi.com/2017/02/blog-

العلاقة الوطيدة بين الجهازين العضلي والعصبي، تتحقق من الجهاز العصبي المركزي والأعصاب الحركية فضلا عن مجموعة من المستقبلات الذاتية في ا العضلات (المغازل عضلية)، الأوتار(جهاز كولجي)، المفاصل(كبيبات باسينيان) حيث تقوم بتحسس المدى الحركي والشد على الأوتار وكذلك الضغط على المفاصل ومن خلال هذا الإحساس يتم إرسال إشارات عن طريق الأعصاب المحركة إلى

العضلات والأوتار والمفاصل للقيام بالحركة اللازمة وبالمدى المطلوب، أو القيام برفع ثقل ما إذا كانت قدرة العضلات كافية وإعطاء الأوامر لعملية الرفع، أي إن وظيفة الجهاز العصبي هي الاستجابة لما يرد إليه من الجهاز الحركي للعضلات للقيام بالجهد المطلوب استجابة لذلك.