المحور الرابع: فيزيولوجية الجهاز العضلي Le système musculaire

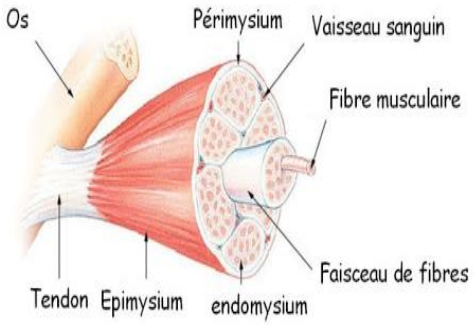
يشتمل جسم الانسان على عدد كبير من العضلات(600 عضلة تقريبا) منها حوالي: 434 عضلة هيكلية، تشكل الهيكل الخارجي للجسم، والباقي عضلات ملساء وعضلة القلب، بحيث أنها تمثل 40-50% من وزن الجسم. والعضلة عبارة عن نسيج قادر على توليد قوة وتحويلها. وتنقسم إلى ثلاث أنواع رئيسية:

- العضلات الهيكلية أو المخططة أو الارادية: سميت كذلك لأنها: تبدو تحت المجهر الالكتروني مخططة، أي خلاياها مخططة طوليا وعرضيا، وتنقبض بصورة إرادية، وهيكلية لأنها ترتبط بالهيكل العظمي للجسم.

- العضلات الملساء أو اللاإرادية: تنقبض بصورة إرادية ولا تبدو فيها الخطوط كما في العضلات المخططة، مثال: العضلات المبطنة لجدران الأوعية الدموية والمعدة.....الخ، تخضع للجهاز العصبي الذاتي.

- عضلة القلب: وهي تجمع بين مواصفات العضلات الملساء والمخططة: ملساء في استجابتها(لاإرادية)، ومخططة في شكلها.

1- بنية العضلات الهيكلية La structure de muscle squelettique: تتكون العضلات من مليارات من الخلايا ذات الشكل الأسطواني، تسمى الألياف العضلية، تتجمع هذه الخلايا لتعطينا حزمة متوازية غنية بالبروتينات الليفية(Fibroprotéine).



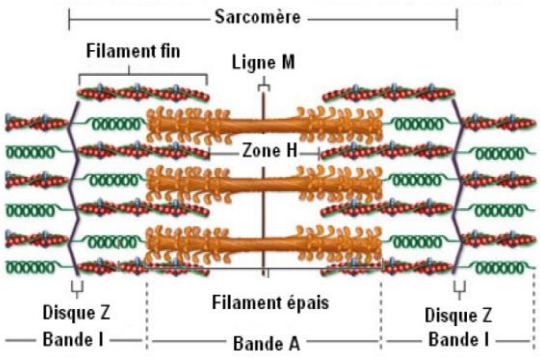
تحاط كل ليفة عضلية بغشاء يعرف بـ: Sarcolemme، يفصل بين محتويات الليفة: سائل ما بين الخلايا، وتضم الليفة عددا من الليفات Myofibriles يجري بينها سائل السايتوبلازم Sarcoplasme، تسبح في هذا السائل العديد من الجسيمات الصغيرة تسمى: عضيات الخلية(النواة، الميتوكوندري، أجسام كولجي، الشبكة الاندوبلازمية، الأجسام المركزية، .....)(أنظر محاضرة فيزيولوجية الخلية الحيوانية).

- تتألف الليفة العضلية من ملايين من الخيوط البروتينية(وهي العناصر الأساسية ذات الأهمية الكبرى من الناحية الوظيفية لأنها تعتبر العناصر المسؤولة عن الانقباض العضلي) وتتمثل في: - خيوط الاكتين(Actine) الرفيعة(Fin): تتكون كذلك من: التروبونين Troponineوالتروبوميوزين Tropomyosine .

- خيوط الميوزين Myosine الثخينة Epais : تتكون من 300-400 جزيء ميوزين، ينتهي خيط الميوزين بجزء منتفخ يسمى: رأس الميوزين.

تنتظم هذه الخيوط بعضها على بعض، بحيث أن كل خيط ميوزين يحاط بستة خيوط أكتين.

- عند مشاهدة العضلة بالمجهر الالكتروني نلاحظ وجود تناوب بين منطقتين(Bande): منطقة مضيئة(Claire) ومنطقة مظلمة أو عاتمة(Sombre) يفصل بين هاتين المنطقتين خط يسمى: خط Z.



- المناطق المضيئة Bande I نسبة إلى Isotrope: تسمح بمرور الضوء، تتكون من الأكتين والميوزين.

- المناطق المظلمة أو العاتمة Bande A نسبة إلى Anisotrope تتكون من الميوزين.

- المنطقة المحصورة بين خطي Z تسمى: الساركومير Sarcomère(الوحدة الوظيفية الانقباضية للخلية العضلية Unité contractile)، يحدث على مستواها التداخل بين خيوط الاكتين والميوزين(وذلك وفقا لنظرية الانزلاق لـ: Hygh Huxley & Jean Hanson) يؤدي إلى قصر طول الساركومير Un raccourcissement du sarcomère

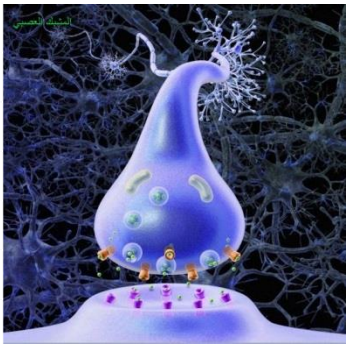
- يوجد داخل سارموبلازم الخلية العضلية شبكة من القنوات الغشائية Réseau de canaux membranaires تحيط بشكل متواز كل ليفية عضلية، مجموع هذه القنوات يشكل ما يشبه الشبكة Filet(Réticulum) يسمى Réticulum Sarcoplasmique تنتهي هذه الشبكة بحويصلات Saccules تشبه إلى حد ما الجيوب تخزن على مستواها شوارد الكالسيوم (Ca^{2+}) Calcium.

- يوجد نوع آخر من القنوات وهي القنوات المستعرضة Tubules transverses تنتشر على طول الليفة العضلية لها دور أساسي في عملية الانقباض العضلي

- الأغشية الضامة التي تغلف مختلف أجزاء العضلة: - Endomysium : الغشاء الذي يحيط بكل ليف عضلي(يفصل بين الألياف بعضها عن بعض)،

- Périmysium : الغشاء الذي يحيط بكل حزمة عضلية، - Epimysium : الغشاء الذي يحيط بكل عضلة.

2- الوحدة الحركية: يغذي كل عضلة عصبان أحدهما حركي والأخر حسي، يتصل الليف العصبي بواسطة تفرعات تحيط بعدد كبير من الألياف العضلية تسمى بالوحدة الحركية، وهي عبارة عن ليف عصبي يتحكم في عدد من الألياف العضلية المتصلة به.



- يتراوح عدد الألياف العضلية في الوحدة الحركية ما بين 5-200 ليف عضلي، وتتحدد قوة وسرعة الانقباض العضلي في العضلة الواحدة بعدد الألياف العضلية التي تستجيب للتنبيه العصبي وبعدد الوحدات الحركية المستجيبة.

- لا يوجد اتصال مباشر بين غشاء الليفين العصبي والعضلي على مستوى المشبك synapse، وإنما يفصل بين الخليتين العضلية والعصبية فراغ يسمى الفراغ المشبكي، والذي يضمن انتقال السيالة العصبية بين الغشاءين هي مادة الأستيل كولين Acétylcholine، والذي يلعب دور الناقل Neurotransmetteur

3- الانقباض العضلي Contraction musculaire:

- من بين أهم الخصائص المميزة للعضلة أنها: تستجيب للمنبهات العصبية الصادرة عن الجهاز العصبي المركزي(ج ع م) (SNC) (Système Nerveux Central). وعندما تتنبه تنقبض وينشأ عن هذا الانقباض قوة.

أ- أنواع الانقباضات العضلية Types contraction musculaire : تتحدد مختلف أنواع الانقباض العضلي وفقا: - للتغيرات التي تطرأ على طول العضلة، - ثبات سرعة(الحركة) الانقباض أو عدمه.

1. إذا كان النشاط البدني يؤدى بصورة حركية Dynamique فإنه يمكن تحديد نوعين من الانقباض العضلي:

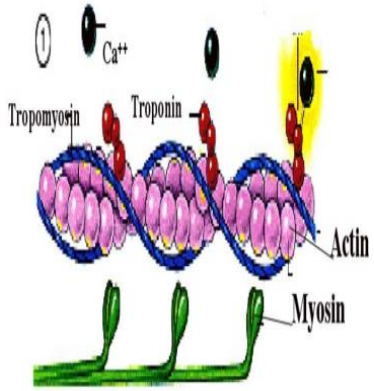
* الانقباض المركزي Concentrique: يحدث في هذا النوع من الانقباض قصر في طول العضلة، بحيث تتقارب نهايات العضلة Les extrémités du muscle se rapprochent.

* الانقباض اللامركزي excentrique: يحدث في هذا النوع من الانقباض زيادة في طول العضلة، بحيث تتباعد نهايات العضلة Les extrémités du muscle s'éloignent.

2. إذا كان النشاط البدني يؤدى بسرعة ثابتة نسبيا، بحيث يؤدي إلى تغير في طول العضلة بسرعة ثابتة فإننا نتحدث هنا عن: الانقباض الإزوسينتيك Iso cinétique (Iso : même, cinétique : vitesse).

- إذا كان النشاط البدني السابق لا يؤدى إلى تغير في طول العضلة(زيادة أو نقصان) فإننا نتحدث عن انقباض عضلي ثابت(إيزومتري) Isométrique .

4- ميكانيزم الانقباض العضلي: تمر عملية الانقباض العضلي بـ: 03 مراحل، وتحدث خلالها مجموعة من التغيرات الكهربية والكيميائية والفيزيائية، وهي: - مرحلة التنبيه العصبي(Excitation)، - مرحلة المزاوجة بين التنبيه والانقباض(Excitation couplage) - مرحلة الانقباض(Contraction).



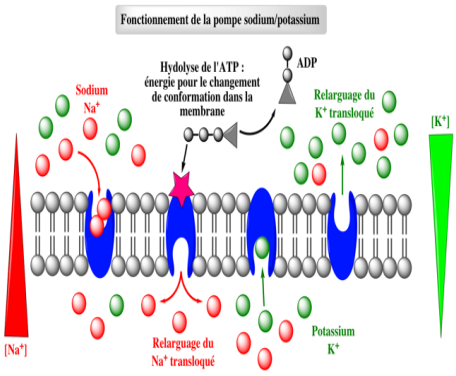
- تتم عملية الانقباض العضلي وفقا لنظرية فيزيولوجية تدعى: نظرية الانزلاق(انزلاق خيوط الاكتين على الميوزين)، بحيث تنشأ جسور تقاطع تصل بين هذه الخيوط، تدور وتلتف إلى محاور جديدة إلى الداخل لإتمام عملية الانزلاق، وحدوث الانقباض، وذلك في وجود مواد طاقوية مخزنة بالعضلات أو تصل إليها عن طريق الدم.

1. عند مرور السيالة العصبية على طول العصب الواصل إلى نهايته التي تمتد إلى الألياف العضلية، تعمل على تحرير وافراز مادة الأستيل كولين Acétylcholine، على مستوى المشابك العصبية- العضلية.

2. يرتبط الأستيل كولين مع مستقبلاته(Récepteurs) على مستوى غشاء الليف العضلي.

3. عند وصول السيالة العصبية إلى الليف العضلي تنفتح قنوات بروتينية تسمح بمرور الصوديوم(Na^+) والبوتاسيوم(K^+)، بكميات مختلفة بحيث تسمح بدخول كميات كبيرة من شوارد الصوديوم(Na^+)، وخروج كميات قليلة من أيونات البوتاسيوم(K^+)، وهذا يؤدي إلى حالة من ازالة استقطاب غشاء الليف العضلي.

4. تتحرك موجة زوال الاستقطاب(Dépolarisation) على طول الليف العضلي، وتتجه عبر القنوات المستعرضة عميقا داخل الليف العضلي، وعندما تصل إلى الشبكة الاندوبلازمية Réticulum Sarcoplasmique تتنبه وتتحرر منها أيونات الكالسيوم(Ca^{2+}) المخزنة على مستواها.



5. تتثبت أيونات الكالسيوم(Ca^{2+}) على بروتين التروبونين(Troponine) وتتسبب في تغير وضعية التروبوميوزين(Tropomyosine)، هذا يؤدي إلى انكشاف مواقع الترابط النشطة في بروتين الأكتين(Sites Actifs)، جاهزة للارتباط برؤوس الميوزين التي تحمل جزيء ATP وإنزيم ATPase.

6. عند ارتباط رؤوس الميوزين على المواقع النشطة في خيوط الأكتين، يتشكل ما يسمى مركب أكتوميوزين(Complexe actomyosine)

تدور بعدها رؤوس الميوزين نحو الداخل(مركز العضلة) مؤدية إلى تداخل(انزلاق) خيوط الأكتين.

7. تتوقف عملية الانقباض عندما يتوقف التنبيه العصبي.

8. يعاد امتصاص الكالسيوم(Ca^{2+}) إلى الحويصلات في الشبكة الاندوبلازمية، عن طريق مضخة خاصة، وبعد ذلك تعود رؤوس الميوزين إلى وضعيتها الابتدائية، ويتم إماهة جزيء ATP آخر، وتنفك الروابط والجسور بين خيوط الأكتين والميوزين، ليحدث انبساطا للعضلة.

5- تصنيف الألياف العضلية: تقوم هذه التصنيفات على الخصائص الكيميائية، والقوة الناتجة عن مختلف أصناف الخلايا العضلية:

أ- الألياف السريعة Fibres rapides Glycolytiques : وتسمى أيضا: Fast Glycolytic(FG) أو الألياف نوع ب(b2)، وتتميز هذه الألياف بالخصائص التالية:

- لها عدد قليل من الميتوكندري.
- ميتابوليزم هوائي ضعيف.

- أقل مقاومة للتعب.

- غنية بالغليكوجين وإنزيم هدم الغليكوجين(قدرات لاهوائية حمضية كبيرة).

بـ - الألياف البطيئة Fibres Lentes Oxydatives: وتسمى أيضا: (Slow Oxydatif(SO، أو ألياف نوع I، وتتميز بالخصائص التالية:

- تحتوي على عدد أكبر من الميتوكندري.

- محاطة بالكثير من الشعيرات الدموية مقارنة مع الألياف الأخرى.

- تحتوى على الميوغلوبين(بروتين عضلي) يقوم بتخزين الأكسجين.

- مقاومة للتعب(وذلك بسبب استعمالها للأكسجين في إعادة بناء ATP).

* التركيز العالي للميوغلوبين، والعدد الكثير من الميتوكوندري، وعدد الشعيرات الدموية المحيطة بهذا النوع من الألياف، يؤدي إلى التزود بكمية معتبرة من الأكسجين.

جـ - الألياف الوسطية Fibres musculaires intermédiaires: وتسمى كذلك : الألياف السريعة- البطيئة(Fibres rapides Glycolytiques Oxydatives)(Fast Oxydativ-Glycolitic(FOG أو ألياف نوع II a وهي ألياف تجمع بين خصائص الألياف السريعة والبطيئة.