**الفصل الثالث**

**الجهاز العضلي**

**الواضح أن العضلات هي مصدر الحركة في الإنسان، لأنها هي مصدر القوة المسببة للحركة، ولقد أوضحت الدراسات المتخصصة في التشريح وعلم الحركة كيف يمكن أن تحدث الحركة في ظل المواصفات التشريحية والقوانين الميكانيكية، وحيث أن الجهاز العضلي هو المصدر الأول للقوة فمن المهم أن نوضح أن هذا المصدر يمر في مراحل متعددة حتى يكتمل، بعضها يحدث قبل الولادة والبعض الآخر بعد الولادة. ففي مرحلة قبل الولادة تبدأ الرحلة بخروج البويضة من أحد المبيضين حيث تسير عبر قناة فالوب لتستقر في مكان معين أعلى الرحم حيث تلتقي بالحيوان المنوي للذكر لتتم عملية التلقيح، ثم تبدأ البويضة المخصبة في الدخول في بعض المراحل المتعددة حتى تصل إلى مرحلة تتكون فيها ثلاث طبقات هي: 1. الطبقة الأولى وهي الإكتومورف وهي الطبقة التي ستكون الجلد فيما بعد.  
2. الطبقة الثانية وهي الميزومورف وهي التي ستكون الجهاز العضلي فيما بعد.  
3. الطبقة الثالثة وهي الإندومورف وهي التي ستكون الأجهزة الداخلية فيما بعد. يحتوي جسم الإنسان على 600 عضلة تقريبا ، وأن الوزن الكلي لهذا العدد يساوي وزن نصف الجسم تقريباً ،حيث تشكل نسبة 43% تقريبا" من وزن الجسم للرجال و نسبة 38% تقريبا" من وزن الجسم للنساء ، والعضلات مسؤولة عن كل الحركات والأعمال التي تعد وظيفية بالنسبة له سواء منها الإرادية كما هو عند مسك الأشياء والمشي والجري والكلام ، أو تلك التي تحدث دون تدخله ، أو الوظائف المتعلقة بأجهزة الجسم الوظيفية كالجهاز الدوري والتنفسي والهضمي والبولي ، فهي بذلك تلعب دوراً مهماً في حياة الإنسان منذ لحظة الولادة حتى لحظة توقف عضلة القلب عن النبض .**

**من**

**ان لجميع العضلات القدرة على الحركة وعلى إنتاج هذه الحركة ، وعندما تنقبض الخلايا العضلية تحرك أنسجة أخرى مرتبطة بها فنجد أن الأنقباض العضلي يحرك الجسم ( العضلات الهيكلية ) ويحرك الدم ( القلب ) ويحرك الأعضاء البعيدة مثل الرحم والمعدة والعضلات الملساء وغيرها .كما ان الأنسجة العضلية تساعد على اعطاء شكل الجسم وتنتج الحرارة وان مقدارا" كبيرا" من الحرارة ينتج عن طريق الأيض وعن طريق أنسجة العضلات . أنواع من الخلايا ( الليفية ) تنقبض بحركات (أميبية) ، بينما تدفع خلايا الحيامن نفسها بحركات سوطيه . وفي كل حالة من هذه الحالات تتضمن الحركة تحويل طاقة كيمياوية ATP) ) إلى طاقة ميكانيكية .**

**أنواع العضلات :**

**يحتوي جسم الإنسان على ثلاثة أنواع من العضلات هي :**

**1 . اللاإرادية ( الحشوية ) ، وتسمى أيضا بالعضلات الغير مخططة أو الملساء. وتحيط بجميع الأعضاء المجوفة مثل الأمعاء والقصبة الهوائية والأوعية الدموية ، وهذا النوع من العضلات ينمو قبل غيره . وتخضع هذه العضلات لسيطرة جهازين معاً هما الجهاز العصبي الودي والجهاز العصبي نظير الودي .**

**2 . عضلة القلب ، وهي عضلة لا إرادية تتأثر سرعة النبض فيها بنوعين من الألياف العصبية ، العصب الودي الذي يسبب زيادة سرعة نبضات القلب وزيادة قوتها . والعصب نظير الودي يخفض فعالية القلب ويخفض من سرعته . وتنقبض عضلة القلب خلال الحياة ثلاثة بلايين نبضة تقريباً ويضخ ما يزيد عن 50 مليون غالون من الدم تقريباً .**

**3 . الإرادية ، سميت بالإرادية لأنها تخضع لإرادة الإنسان وتسمى أيضاً بالعضلات المخططة أو الهيكلية لأنها ترتبط بعظام الهيكل العظمي بواسطة أربطة ( tendon ) نسيجية قوية غير معرضة للتلف تعرف بالأوتار .**

**رغم أن كل نوع من الأنواع الثلاث للعضلات متميز في مظهره وخصائصه فإنها جميعاً تستخدم آلية الانقباض ذاتها .**

**خصائص للأنسجة العضلية والأتزان البدني :**

**هنالك أربعة خصائص للأنسجة العضلية تلعب دورا" مهما" في المحافظة على الأتزان البدني وهي كما يأتي :**

**1. القدرة على الأستجابة واستلام التحفيزات الأتية :**

**آ. تحفيز الأسيتيل كولينAcetylcholine (ACh) للعضلات الهيكلية للأنقباض .**

**ب. التحفيز الكهربائي : استعمال التحفيز الكهربائي بين القلب والخلايا العضلية الملساء مسببا" انقباضها أيضا" استعمال الصدمة الكهربائية للعضلات الهيكلية مسببا" الأنقباض.**

**ت. التحفيز الهرموني : استعمال التحفيز الهرموني للعضلات الملساء في رحم المرأة للأنقباض كما هو عند الولادة والطلق .**

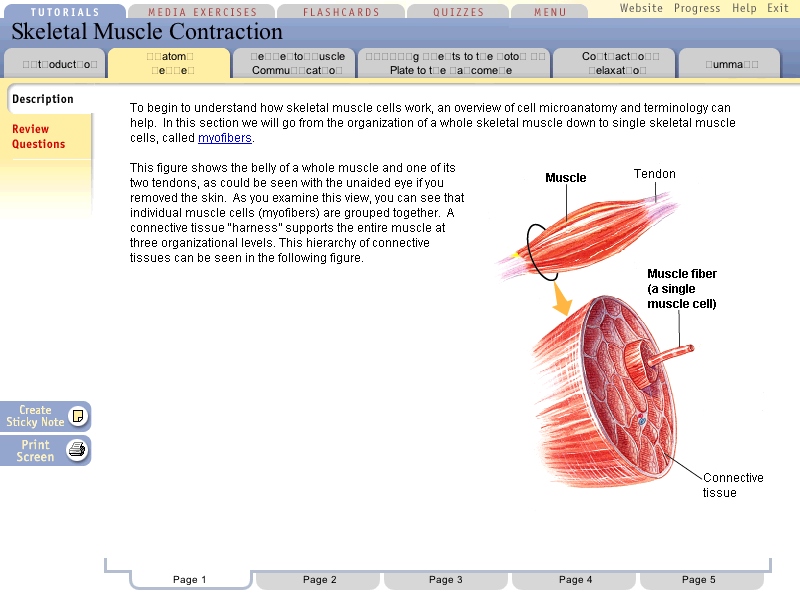
**2. الأنقباضية :القدرة على الأطالة والتقصير .**

**3. القابلية على التمدد :القدرة على التمدد من غير ضرر.**

**4. القابلية على التمطية والمرونة والرجوع الى الوضع الطبيعي .**

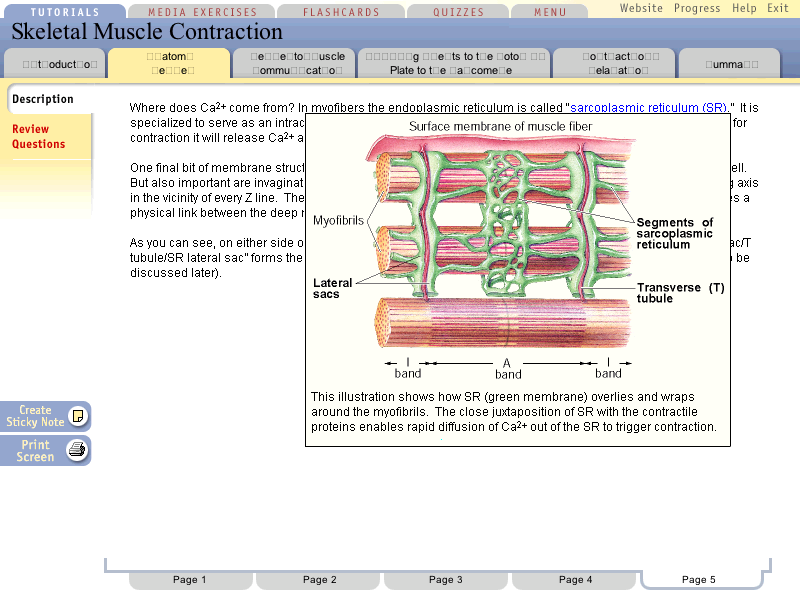
**تركيب النسيج العضلي :**

**تتكون العضلة ( Muscle )الواحدة من مجموعة من الوحدات ذات الخاصية الانقباضية تسمى الألياف ( Fibers ) ، وتتكون كل ليفة واحدة من عدد من الخلايا العضلية ( Muscle cells ) ويوجد حوالي ( 6 ) بلايين ليفة في مجموع عضلات الجسم المختلفة وهذه الألياف مزودة بالأعصاب ، تحيط بها نوع من الأنسجة تسمى بالأنسجة الضامة ( Connective tissue ) كما يظهر في الشكل (12) . ومن صفات الألياف العضلية أنها يمكن أن تكون مرتبه أو متتابعة خلف بعضها البعض في تسلسل ، أو تكون متجاورة إلى جانب بعضها البعض متوازية .**

****

**شكل (15) مقطع عضلةهيكلية**

**تتألف العضلة ( العضلة الهيكلية كنموذج ) من عدد من الألياف العضلية المفردة وكل ليف عبارة عن خلية متعددة النوى يبلغ قطرها من 20 – 100 um .**

** تمتد الألياف العضلية منتظمة في صفوف متوازية من أحد طرفي الخلية إلى الطرف الأخر في السايتوبلازم ( الساركوبلازم ٍSarcoplasm ) كما يظهر في الشكل ( 13 )، ويتألف كل ليف عضلي من عدد من اللييفات تدعى Myofibrils) ) مايوفيربل تؤلف شكلا منتظماً يتكون من حزم داكنة وفاتحة على التناوب تدعى حزم A و I على التوالي .**

الأنبوب الناقل

الجانبي

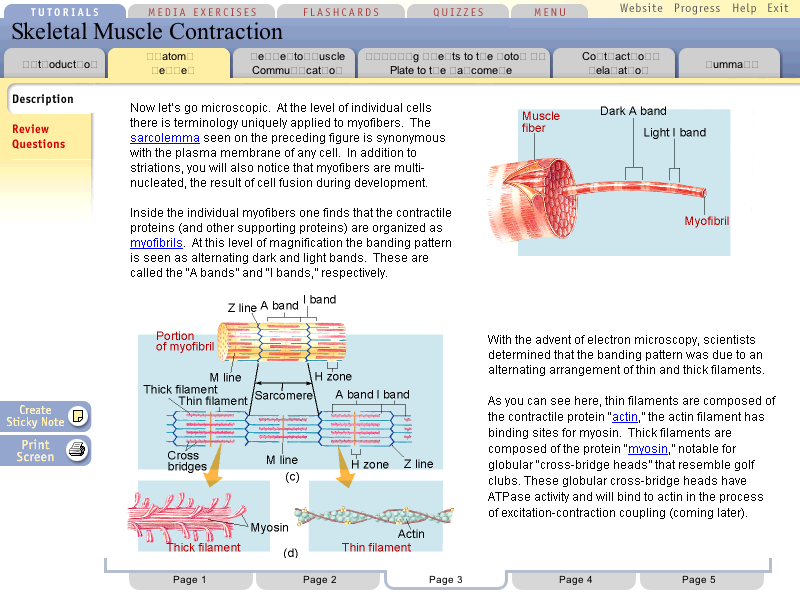
**شكل (16)**

**مقطع ساركوبلازم العضلة الهيكلية**

**ويشطر كل حزمة من حزمات (I) خط (Z) وكل حزمة من حزمات(A) خط (M) يشكل ما يدعى ساركومير ، و أن نموذج الحزم والخطوط يتكرر بواسطة مجموعة كبيره من الساركوميرات المكررة ، وهي الوحدات الأساسية لانقباض العضلات . وتسمى الساركومير بالقسيمة اللحمية كما سيأتي توضيحها.**

**تركيب الساركومير Sarcomere :**

**لقد كشفت أبحاث العالم ( هسنكلي ) عن التركيب الدقيق لخلايا العضلة وتبين أن القسيمة اللحمية Sacromere تتالف من نوعين من الخيوط البروتينية أحدهما رفيع والأخر غليظ وهما :**

****

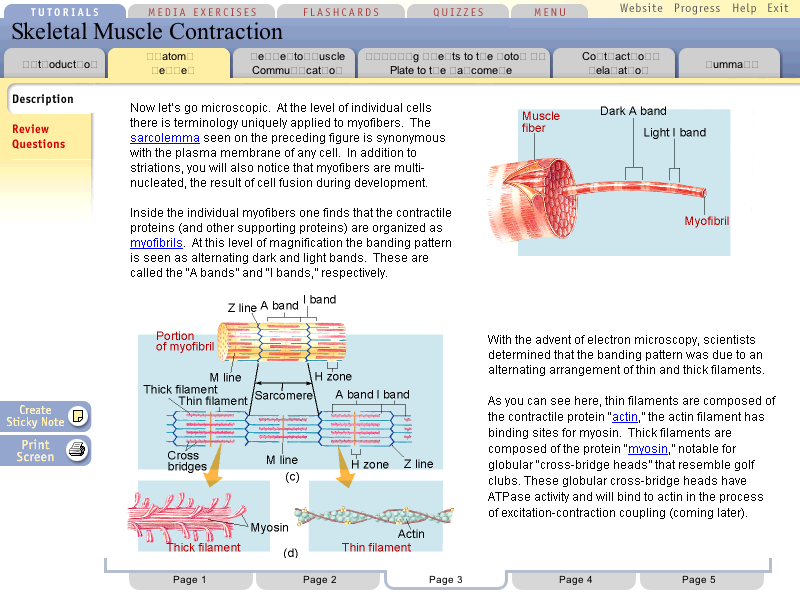
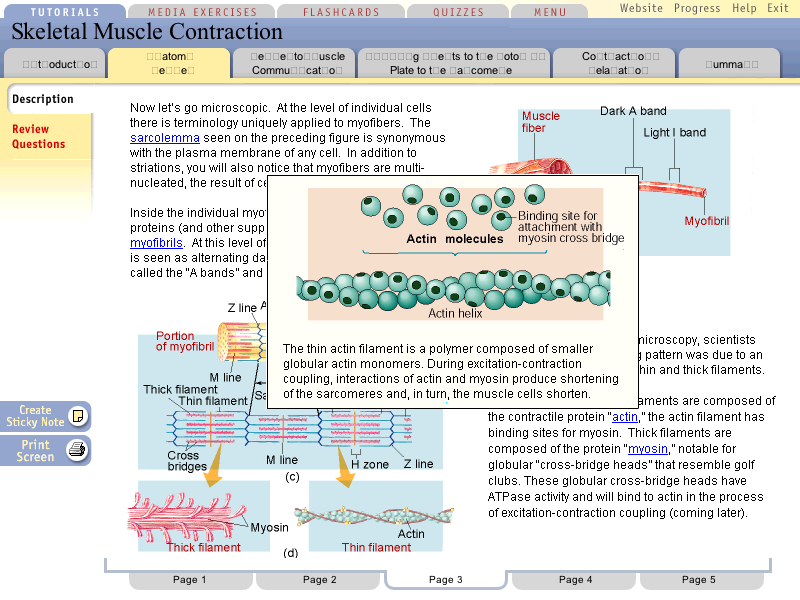
**شكل (17)**

**ليف العضلة الهيكلية**

**1. الأكتين ( ِActin )**

**وهو بروتين كروي محبب له وزن جزيئي 45000 دالتون . تحدث له بلمرة تحت ظروف حيوية في السايتوبلازم ليتحول إلى ألياف حلزونية مزدوجة تكون قلب الخيط الرفيع .**

**يرتبط بألياف الأكتين الحلزونية بروتين أخر يسمى تربومايوسين Tropomyosin) ) وهو بروتين له شكل القضيب يشبة في تركيبة ذنب المايوسين ( Myosin ) .**

** شكل (18)الأكتين والمايوسين للعضلة الهيكلية **

منطقةH

خطZ

خطM

مقطع لويف

خطM

الخيط الرفيع

حزمةI حزمةA

منطقة H

خط Z

حزمةI حزمةA

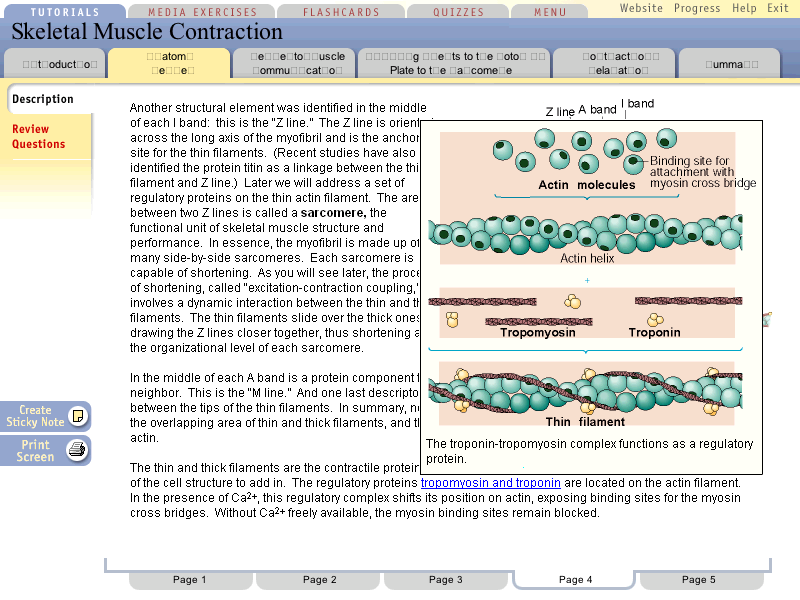
الخيط السميك

منطقة ربط الجسور

المستعرضة

**شكل (19)**

**خيط الأكتين للعضلة الهيكلية(المصدرين51،64 )**

****

**شكل (20)**

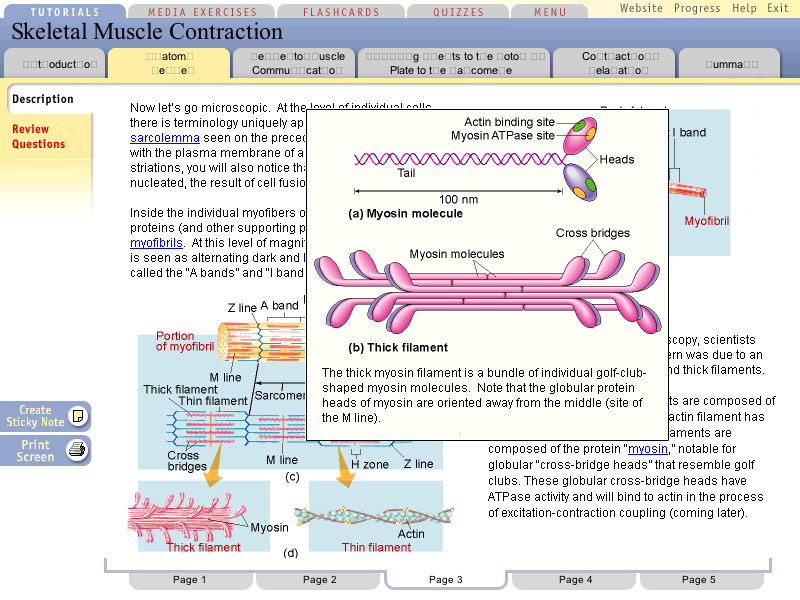
**خيط الأكتين للعضلة الهيكلية**

**يتفاعل كل جزء من ( Tropomyosin ) مع ( 7 ) وحدات أحادية من الأكتين في الخيط الرفيع تحتوي خيوط العضلات الهيكلية والقلبية أيضاً على بروتين أخر يدعى ( Troponin ) تروبونين، ويحتوي هذا البروتين على ثلاث وحدات فرعية تدعى c و I و t . وتفتقر خيوط العضلات الملساء الرفيعة إلى ( Troponin ) .**

**2 . المايوسين ( Myosin )**

**وهو الخيط الغليظ ( Thic filament ) ، ويقدر طوله (100 nm ) ، كما في الشكل ( a ) وهو بروتين كبير يقدر وزنة الجزيئي 47000 دالتون يتكون من ستة سلاسل متعددة الببتيدات ، وتؤلف هذه السلاسل معاً تركياً له ذنب ( Tail ) صلب ورأسان كرويان Heads ) ( ، يحتوي كل منهما على موقعين الأول موقع ربط المايوسين بالأكتين ( Actin binding site ) ، والثاني موقع جزيئة ( Myosin ATPase site ) ( ATP )).**

**تتجمع جزيئات المايوسين تلقائياً عبر أجزائها الذنبية لتشكل خيوطاً سميكة كما في الشكل 18 d) ( ويؤلف كل 200 جزيء مايوسين حزمة تعرف الخيط السميك Thick myofilaments . وتأخذ جزيئات المايوسين عند أي طرف من طرفي الخيط اتجاها معاكساً لبعضها البعض لذلك نجد الخيط السميك ثنائي القطبية . وتنطبق الرؤوس الكروية لجزيئة المايوسين مع الجسور العرضية**

****

المايوسين

موقع انزيم ATP

موقع ربط الأكتين

**شكل (21)**

**مكونات خيط المايوسين للعضلة الهيكلية**

**Cross bridges )) التي تبرز إلى الخارج من الخيوط السميكة . وبينما نجد جزيئات المايوسين كلها تمتلك الهيكل العام نفسة ، نجد أنواعا متميزة من المايوسين في العضلات الهيكلية والقلبية والملساء. إن الاختلافات في جزيئات المايوسين تكمن جزئيا وراء الخواص المتباينة لأنواع العضلات الثلاث.**

**آلية الانقباض :**

**توجد ، وفقاً لنظرية انزلاق الخيوط ، جسور مستعرضة تمتد من خيوط المايوسين وتصلها بخيوط الأكتين . وإن الانقباض العضلي يحدث عندما تعمل هذه الجسور المستعرضة كخطاطيف تسحب بمساعدة الطاقة المجموعات المتجاورة من خيوط الأكتين باتجاه بعضها البعض مما ينتج عنه قصر اللييفات العضلية أي انقباضها.**

**وبذلك فإن خيوط المايوفبريل تعد مكونات فعالة للألياف العضلية ويعود لها السبب في انقباض وانبساط العضلة .**

**إن انقباض العضلة لا يكمن في الانزلاق العادي لخيوط الأكتين بين خيوط المايوسين وانما باتحاد الأكتين مع المايوسين اتحاداً وقتيا لتكوين مركب معقد يعرف بالأكتومايوسين والذي يعد من البروتينات الفعالة ويلعب دوراً أساسياً في عمل العضلة وقابلتي الانقباض والانبساط .**

**من جهة أخرى ، عندما تنقبض عضلة ما تصبح الساركومير أقصر ، ولكن أطوال الخيوط السميكة والرفيعة لن تتغير . وتصبح الساركومير أقصر لأن الخيوط الرفيعة تنزلق بمحاذاة الخيوط السميكة نحو مركز الساركومير . وتقترب خطوط z من بعضها البعض أثناء هذه العملية .**

**وفي كل رأس مايوسين توجد منطقة يمكن للـ (ATP ) الارتباط بها والتحلل مائياً . وإن تحلل( ATP) يتم ببطأ شديد لأن ناتجي التفاعل (ADP) والفوسفات يبقيان مرتبطين بالموقع الفعال . وترتبط جزيئة (ATP) أخرى عندما يصبح الموقع الفعال خالياً . وإن ربط (ATP ) يفضل فك المركب المعقد ( أكتين – مايوسين ) بنفس الأسلوب . ويسمح تحلل (ATP ) المائي اللاحق للأكتين بالارتباط مرة أخرى وتكون هذه التفاعلات مجتمعة دورة آلية الانقباض .**

**إن أهم ما يميز آلية الانقباض العضلي ما يلي :-**

**1 . تفاعل الأكتين ( Actin ) والمايوسين ( Myosin ) مكوناً مركب معقد يسمى الأكتيمايوسن (Myosin - Actin) .**

**2 . التحلل المائي لجزيئة ( ATP ) بعد ارتباط هذه الجزيئة بالموقع الفعال على رأس كل مايوسين ، حيث يتم التحلل ببطأ شديد ويكون ناتج التفاعل:**

**ATP ADP + Pi**

**ويبقى pi و ADP مرتبطين بالموقع الفعال حتى ارتباط Actin و Myosin الذي يؤدي إلى فك هذه النواتج ويصبح الموقع الفعال خاليا عندها ترتبط جزيئة ATP أخرى وتتكرر عملية التفاعل والارتباط والفك .**

**من ذلك يفهم أن بدء الانقباض يصاحبه نوعين من الأفعال هما :**

**1 . الفعل الكيمياوي :**

**وهو تحول الطاقة المتولدة من المركبات الكيمياوية الموجودة في الألياف العضلية مثل (PC ، ATP فوسفات الكرياتين وثلاثي فوسفات الأدينوسين) وتسمى مركبات عالية الطاقة .**

**تتحول هذه الطاقة إلى طاقة حركية من خلال فهم المميزات التالية :-**

**أ . كيف يكون مصدر وشكل الطاقة الكيمياوية الناتجة وما هي مسؤليتها في بناء الطاقة الحركية.**

**ب . كيفية حصول الانقباض والانبساط العضلي ودور الألياف العضلية في هذه العملية .**

**جـ . ملاحظة تحول الطاقة الكيمياوية إلى حركية ، وكيفية ملاحظتها من الوجهة الفيزياوية .**

**2 . الفعل العصبي :**

**تبدأ التفاعلات الكيمياوية المعقدة والتي تحقق بدورها الانقباض العضلي بعد وصول الإشارة العصبية إلى الخلية العضلية بوساطة نهايات الأعصاب الحركية الداخلية في الخلايا العضلية ، حيث تنتقل الإشارة العصبية من الجهاز العصبي المركزي إلى المخ والحبل الشوكي وعن طريق مسارات الألياف العصبية ثم إلى نهايات الأعصاب الحركية.**

**يلاحظ في كل عضلة عصبين يتشابهان في الوظيفة ونقل الإشارات العصبية وكالأتي وكما مر ذكره في فصل الجهاز العصبي :-**

**أ . عصب حسي ، وهو العصب الوارد من الجهاز العصبي .**

**ب . العصب الحركي ، وهو العصب الصادر.**

**أسئلة المحاضرة :**

1. **ما هي أنواع العضلات من حيث الشكل والموقع والوظيفة ؟**
2. **عرف الساركوميرومم يتركب .**
3. **تكلم عن ألية الانقباض العضلي .**
4. **ما هو دور الكالسيوم في حدوث الانقباض العضلي ؟**
5. **ما هي الأفعال المصاحبة للانقباض العضلي؟**
6. **ما هي مميزات الانقباض ؟**