المحاضرة السابعة

الية الانقباض العضلي

آلية التقلص العضلي:

نظرية الخيوط المنزلقة:

- **المبدأ الأساسي** :يحدث انقباض العضلة نتيجة **انزلاق خيوط الأكتين فوق خيوط المايوسين**، مما يؤدي إلى تقارب خطي Z من بعضهما البعض.
- **النتيجة** :أثناء الانقباض:
  - **يقصر الساركومير** في الطول.
  - **تتقاصر** منطقة I ومنطقة H.
  - **يبقى** طول الحزمة A **ثابتًا** (حيث أن طول خيوط المايوسين لا يتغير).

الارتباط الاستثارة-تقلص(Excitation-Contraction Coupling)

هي العملية التي تربط الإشارة الكهربائية (جهد الفعل) على الساركوليما بالعملية الميكانيكية (التقلص) داخل الليف.

الخطوات الرئيسية:

١. **نقل الإشارة (جهد الفعل)** :ينتقل جهد الفعل عبر **الساركوليما** ثم إلى الداخل عبر نظام من الأنابيب يسمى **الأنابيب المستعرضة(T-tubules)** ، والتي تصل إلى عمق الليف العضلي بالقرب من خط.Z

٢. **تحرير الكالسيوم** :يؤدي وصول جهد الفعل عبر الأنابيب T إلى تحفيز **الشبكة الساركوبلازمية** - **(Sarcoplasmic Reticulum)**وهي الشبكة الإندوبلازمية في الخلية العضلية - **لتحرير أيونات الكالسيوم (Ca^{2+})** إلى الساركوبلازم.

٣. **بدء التقلص** :ترتبط أيونات الكالسيوم ببروتين تنظيمي على خيوط الأكتين (التروبونين)، مما يسبب تغييرًا conformational يسمح لرؤوس المايوسين بالارتباط بالأكتين وبدء عملية الانزلاق والتقلص.

٤. **البنية المساعدة :يتكون النظام الثلاثي (Triad System)** من أنبوبة T واحدة محاطة بصهريجين من الشبكة الساركوبلازمية، وهو ضروري للتوصيل السريع للإشارة وتحرير الكالسيوم.

البروتينات التقلصية:Contractile protein

تحتوي الألياف العضلية بالإضافة إلى البروتينات الاعتيادية (الأنزيمية وغير الأنزيمية) على أربعة بروتينات خاصة بالجهاز التقلصي في الليف العضلي **وهي**: مايوسين Myosin واكتين Actin وتروبومايوسين Tropomyosin وتروبونين Troponin. يشكل مايوسين مادة الخيوط السميكة، أما اكتين وتروبو مايوسين وتروبونين فتوجد في الخيوط الرفيعة. يقوم تروبونين(T) بوظيفة ربط الوحدات الثانوية الأخرى إلى تروبومايوسين ويقوم تروبونين(I) بمنع اتحاد مايوسين مع اكتين (اثناء الانبساط)، أما تروبونين(C) فإنه يحتوي على مواقع ربط ايونات الكالسيوم تلك العملية التي هي بداية عملية التقلص العضلي.

الانقباض العضلي:_Muscle contraction

تتم هذه العملية من خلال نظرية فسيولوجية معروفة وهي النظرية (الانزلاقية)، وتنص تلك النظرية أن عملية الانزلاق تتم من خلال جسور متقاطعة تصل الأكتين بالميوسين حيث تكون متجهة للخارج قبل الانقباض العضلي، وعندما تتحرر مواد الطاقة الموجودة بالدم والمختزنة بالعضلات فإن هذه الطاقة تؤدي إلى تحريك تلك الجسور المتقاطعة إلى الداخل وانزلاق الخيوط لإتمام عملية الانقباض العضلي.

الارتخاء العضلي: Muscle relaxation

يحدث الارتخاء العضلي بعودة الألياف العضلية إلى ما كانت عليه قبل الانقباض. أي أنه يحدث فك بالجسور المتقاطعة وتتجه الجسور المتقاطعة إلى الخارج وتتم هذه العملية بعد توقف العصب الحركي عن توصيل الإشارات العصبية إلى الألياف العضلية، وعليه يتوقف إنتاج الطاقة الكيميائية الحرارية التي كانت سببا في تشابك جسور التقاطع وتظهر أهمية الارتخاء أنه يعطي فرصة للعضلة لكي تحصل على احتياجاتها من الطاقة.

آلية عمل العضلة: Mechanism of Muscle Function

يتم عن طريق إشارة كهربائية عصبية تنتقل من الدماغ الى خلايا العضلات وعندها تستجيب العضلة للانقباض والارتخاء محدثة الحركة.

انزلاق خيوط الميوسين على خيوط الاكتين يتم بواسطة الطاقة. تستمد العضلات طاقتها بواسطة مادة كيماوية في الجسم كله، تسمى ثالث فوسفات الأدينوسين (ATP) .

تحفيز عصبي يحلل هذه المادة إلى مادة كيماوية أبسط تسمى ثاني فوسفات الأدينوسين (ADP) + طاقة. تقوم هذه الطاقة بتحريك الليفات العضلية للعضل التي تقلص الألياف العضلية.

مصدر طاقة التقلص :

تحتوي العضلات على ١٪ كلايكوجين و٠,٥٪ فوسفات الكرياتين و٠,٠٢٥٪ ثالث فوسفات الأدينوسين وهذه المواد الثلاث هي مصادر الطاقة لعملية التقلص العضلي. يعتبر ATP المصدر الفوري للطاقة الضرورية لعملية التقلص كما هو الحال في جميع الأفعال الحيوية الأخرى. بما أن كمية ATP في العضلة ضئيلة جدا لذا فان فوسفات الكرياتين الذي يوجد بكميات أكبر هو احتياطي ثاني للطاقة الفورية، ولكن كميته في العضلة محدودة أيضا الأمر الذي يؤدي إلى نفاذ هذه المادة بعد عدد من التقلصات. أما الكلايكوجين فنسبته عالية في العضلات فضلا عن تكون كمية جديدة منه باستمرار من الكلوكوز الذي يحمله الدم إلى العضلات. تتحرر كمية كبيرة من الطاقة بتمثيل الكلوكوز في عملية التنفس الخلوي، يستهلك قسم منها في تكوين ATP الذي يزود بدوره الطاقة التي تساعد على تكوين فوسفات الكرياتين.

وتحدث عملية انقباض العضلات كما الآتي:

اليه الانقباض العضلي: Mechanism of muscle contraction

الطريقة التي تنقل بها الخلايا العصبية الرسائل إلى الألياف العضلية لتحفيزها على الانقباض تشبه تمامًا الطريقة التي تنقل بها الخلايا العصبية الرسائل إلى بعضها البعض، حيث يحدث كلاهما عبر المشابك العصبية .المشابك العصبية هي الوصلات بين خليتين عصبيتين أو بين الخلية العصبية والمستجيب.

١- عندما يصل جهد الفعل إلى الطرف المحوري للخلية العصبية الحركية، فإنه يزيل استقطابه. وهذا يعني أن الفضاء داخل غشاء العصبون الحركي يصبح مشحونًا بشكل أكثر إيجابية من

الفضاء الخارجي، وهو عكس حالة الراحة. وهذا يحفز قنوات أيونات الكالسيوم ذات الجهد الكهربائي في الغشاء على الانفتاح، وتنتشر أيونات الكالسيوم في الخلايا العصبية الحركية.

حيث تبدأ عملية الانقباض الإرادية بنبضات كهربائية، تحدث عند التقاطع العضلي العصبي وذلك عند وصول الإشارات العصبية من النخاع الشوكي إلى النهايات العصبية والتي تؤدي لفتح قنوات الكالسيوم وإطلاق أيوناته.

٢- الأيونات التي تنتشر في الخلية العصبية الحركية تحفز الحويصلات التي تحتوي على الأسيتيل كولين للتحرك نحو الغشاء البلازمي للخلية العصبية الحركية. تندمج هذه الحويصلات مع غشاء البلازما وتطلق الناقل العصبي في الشق التشابكي.

حيث تندمج الحويصلات الموجودة في نهاية العصبون مع الغشاء لإطلاق الناقل العصبي أستيل كولين (Acetylcholine) ، الذي يرتبط بمستقبلاته الموجودة على العضلات والتي تفتح قنوات الصوديوم ليؤدي دخوله إلى تغيرات في كهرباء العضلة وتسبب حركة تنتشر على غشاء العضلة.

٣- بما أن قنوات الصوديوم هذه تقع فقط على غمد الليف العضلي وليس على الزر المتشابك للخلية العصبية الحركية، فإنها تضمن أن السيالة العصبية تنتقل في اتجاه واحد فقط وعدم تحفيز الخلية العصبية مرة أخرى.

٤- تطلق أيونات الكالسيوم المخزنة في الشبكة الساركوبلازمية والتي ترتبط ببروتين اسمه تروبونين سي ومن ثم يتم إزالة جزيء التروبوميوسين من مكانه، وهو المسؤول عن إعاقة ارتباط خيوط الأكتين بالميوسين فيحدث الارتباط بينهم.

٥- يوفر الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يُنتج في الميتوكندريا ويُخزن على شكل ثنائي الفوسفات ، والفوسفات في مواقع معينة على رؤوس خطوط الميوسين كمصدر طاقة لهذا الانكماش والتقلص.

انبساط العضلات: Muscle relaxation

استكمالًا لتوضيح كيفية انقباض وانبساط العضلات، فإن عملية الانبساط تكون كالآتي:

١- يقوم إنزيم معروف بإنزيم الكولين إستريز (Cholinesterase)الموجود في المساحة بين العضلة والعصبون بتدمير الأستيل كولين المتبقي.

٢- يؤدي هذا الأمر إلى إعادة استقطاب الألياف العضلية وإغلاق بوابات إطلاق الكالسيوم، ما يؤدي لإعادة حماية وإغلاق مواقع ربط الأكتين على خطوط الميوسين فتفقد العضلة توترها وتنبسط.

التركيب الكيمائي للعضلات: Chemical Composition of Muscles

العضلات عبارة عن أنسجة معقدة تتكون أساسًا من الماء والبروتينات المتخصصة التي تسمح لها بالانقباض والاسترخاء، بالإضافة إلى مكونات أخرى تدعم هذه الوظيفة وتوفر الطاقة اللازمة لها.

١- **الماء :** يشكل الماء حوالي ٧٥٪ من وزن العضلة، وهو ضروري للعديد من العمليات الخلوية، بما في ذلك نقل الأيونات والجزيئات الأخرى الضرورية لانقباض العضلات واسترخائها.

٢- **البروتينات :**تمثل البروتينات حوالي ١٨,٥٪ من وزن العضلة، وهي المكونات الوظيفية الرئيسية. تشمل البروتينات الرئيسية في العضلات:

- **بروتينات الليفات العضلية : Myofibrillar proteins**

- الأكتين والميوسين : Actin and Myosin وهما البروتينان الرئيسيان المسؤولان عن انقباض العضلات. يشكل الميوسين حوالي ٥٥٪ من البروتين الكلي في العضلات الهيكلية، بينما يعتبر الأكتين أكثر البروتينات وفرة في معظم الخلايا حقيقية النواة. تتفاعل هذه البروتينات معًا لتوليد القوة والحركة.

- التروبوميوسين والتروبونين : Tropomyosin and troponin: وهما بروتينات تنظيمية تتحكم في تفاعل الأكتين والميوسين.

- بروتينات أخرى :مثل بروتين C وبروتين M والتيتين، والتي تلعب أدوارًا هيكلية ووظيفية في الليفات العضلية.

وظيفة العضلات في جسم الإنسان:

١- الحركة: تعد الحركة هي الوظيفة الأساسية للجهاز العضلي مثل: المشي، والسباحة، والكتابة، والتكلم وتعبير الوجه.

٢- الاستقرار والثبات: تساهم أوتار العضلات الممتدة فوق مفاصل الركبة والكتف في استقرار الجسم.

٣- الدورة الدموية: تعد عضلة القلب هي العضلة المسؤولة عن ضخ الدم لجميع أنحاء الجسم. كما تلعب العضلات الملساء الموجودة في الشرايين والأوردة دورًا في الحفاظ على ضغط الدم والدورة الدموية.

٤- التنفس: يعد الحجاب الحاجز هو العضلة المسؤولة عن عملية التنفس.

٥- عملية الهضم: تتحكم العضلات الملساء الممتدة من الفم لفتحة الشرج في عملية الهضم.

٦- التبول: توجد العضلات الملساء والهيكلية في المثانة، والكلى، والبروستات، والحالب، والإحليل، والمهبل، والتي تعمل مع الأعصاب لإكمال عملية التبول.

٧- الولادة: تتقلص وتتوسع العضلات الملساء في الرحم لتساعد على إتمام عملية الولادة.

٨- الرؤية: تتحكم ٦ عضلات هيكلية محيطة بالعين في حركة العين للحفاظ على استقرار الصورة وتتبع الأجسام المتحركة.

٩- تنظيم درجة الحرارة: تأتي ٨٥٪ من الحرارة التي تتولد في جسم الشخص من تقلص العضلات.

١٠-حماية الجسم: تحمي عضلات الجذع الأعضاء الداخلية للجسم.

الخواص الوظيفية للعضلات الهيكلية: Functional Properties of Skeletal Muscles

-قابلية التهيج: أو التنبيه excitability

يقصد بذلك استقبال المنبهات والاستجابة لها وتكون تلك المنبهات غالبا مادة كيمائية كالنواقل العصبية.

-الانقباضية أو التقلص: contractility

أي ان الخلايا العضلية لديها القدرة على أن تقصر من طولها إذا ما تم تنبيهها بالمنبه المناسب.

-قابلية التمدد: extensibility

الخاصية التي تتميز بها العضلة بتغيير بنيتها حسب العمل المنجز والتأقلم مع نوع الجهد اذ يمكن شد الخلايا العضلية لتأخذ طولا أكبر من طولها الطبيعي أثناء الراحة.

-المطاطية: elasticity هي عودة النسيج العضلي إلى طوله الطبيعي بعد توقف الانقباض.

أنواع التقلص العضلي: Muscle contraction

تترتب العضلات الجسمية عادة بطرق بحيث تكون مجموعات متضادة الأفعال Antagonistic actions فيما بينها وتصنف العضلات تبعا لنوع الحركة التي تحدثها الى عضلات مقلصة وأخرى باسطة وعضلات مقربه وأخرى مبعده وعضلات خافضه أو رافعة أو دوارة.

ويوجد نوعان للتقلص العضلي هما:

١- **التقلص متساوي الطول: Isometric contraction** وفيه لا يحدث تغيير في طول العضلة وإنما يزداد الضغط أو التوتر بداخلها كما هو الحال عند فشل العضلة في رفع ثقل معين.

٣- **التقلص متساوي التوتر: Isotonic contraction** ويحدث تغيير في طول العضلة بينما الضغط أو التوتر على حالة بداخلها.