

الفصل الثاني:

دور العضلة الميكلية المخططة في تحويل الطاقة

تمهيد:

يمكن كل من التنفس والتلعر من هدم المواد العضوية المستهلكة، وتحرير الطاقة الكامنة فيها، لتصبح على شكل ATP، قابل للاستعمال في مختلف الظواهر المستهلكة للطاقة، كالتفاعلات الكيميائية، مواجهة تغيرات درجة الحرارة، أو القيام بحركة.

يعتبر التقلص العضلي من الظواهر المستهلكة للطاقة.

ما مصدر الطاقة اللازمة للنشاط العضلي؟

ما هي البنيات المسؤولة عن التقلص العضلي؟

كيف يتم التقلص العضلي؟

كيف تستعمل الخلايا العضلية الكليكوز كمصدر للطاقة؟

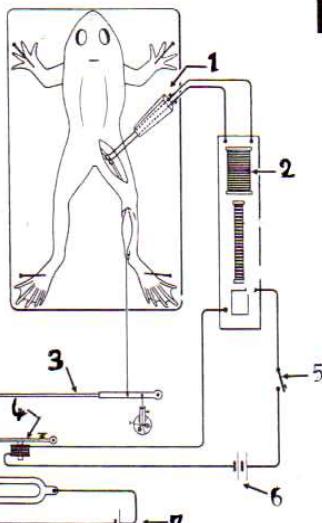
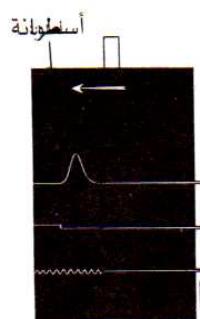
١ - الدراسة التجريبية للتقلص العضلي.

① تسجيل التقلص العضلي عند الضفدة

أ - التركيب التجريبي: انظر الوثيقة 1، الوثيقة 2، لوحة 6.

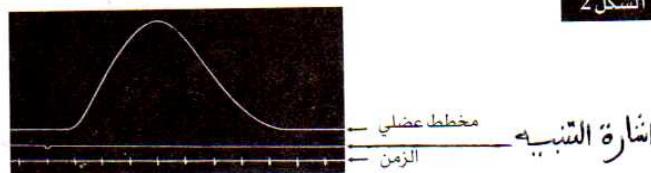
لوحة 6

الوثيقة 2:
عدة تجربة تسجيل
الظواهر الميكانيكية
المصاحبة للنشاط



الشكل 1

الشكل 2



الوثيقة 1:
لدراسة التقلص العضلي، يتم أخذ ضفدة، فيخرب دماغها ونخاعها الشوكي، لإزالته كل ردود الفعل الإرادية واللامارادية. بعد ثبيتها على لوحة خشبية، نشرح الطرف الخلفي لإبراز العصب الوركي: الوثيقة 2. نقطع وتر العقب لعضلة بطن الساق، ونوصله بجهاز تسجيل التقلص العضلي الشكل 1. نهييج العضلة إما مباشرة، بوضع الالكتروني المهييجين على سطحها، أو بصفة غير مباشرة، بوضع الالكتروني المهييجين على العصب الوركي. تهييج العضلة بواسطة مهييجات اصطناعية، تكون إما ميكانيكية، حرارية، كيميائية، أو كهربائية.



الوثيقة 1

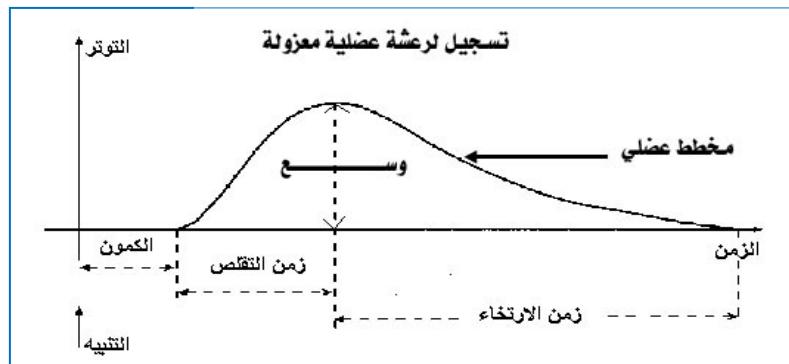
ب - استجابة العضلة للتبييج الكهربائي:

a - استجابة العضلة لاهاجة منفردة: انظر الوثيقة 2 الشكل 2 لوحة 6.

عند تسلیط اهاجة فعالة، تستجيب العضلة لاهاجة، فنقول أنها هيوجة، (Excitable) ولها خاصية الاهتیاجیة. كما تستجيب بالتشنج، فنقول أنها قلوصة، وتسمى هذه الخاصية بالقلوصیة. عند تطبيق اهاجة منفردة، نحصل على تقلص قصير الأمد، معزول، وبسيط، نتكلم عن رعشة عضلية (Secousse musculaire). والتي يمكن تقسيمها إلى ثلاثة مراحل:

هذا الملف تم تحميله من موقع : Talamid.ma

- فترة الكمون: هي الفترة الزمنية الفاصلة بين لحظة الاهاجة وبداية الاستجابة.
- مرحلة التقلص: يرتفع خلالها توتر العضلة.
- مرحلة الارتخاء: خلالها تأخذ العضلة أبعادها الأولية.

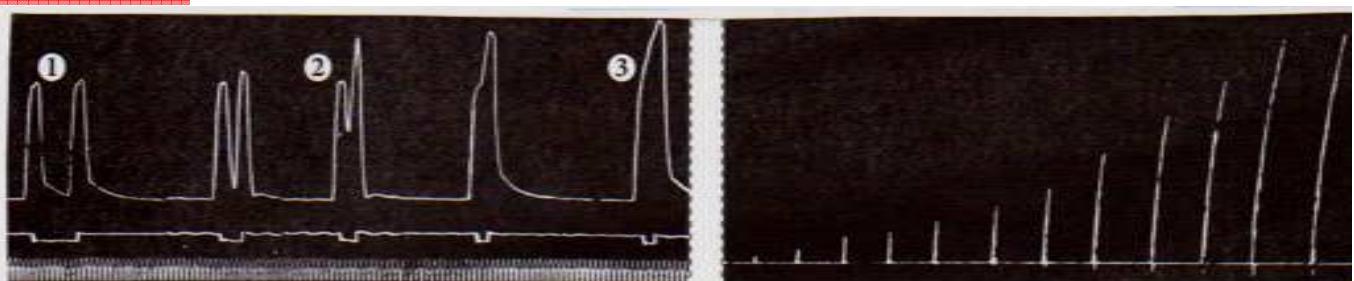


ملحوظات:

★ يتغير شكل التخطيط العضلي حسب سرعة الأسطوانة المسجلة.

★ انظر الوثيقة 3 لوحة 6 : عندما تخضع العضلة لاهاجات متباude، ذات شدة متباude، لا تظهر الاستجابة إلا عندما تكون شدة التهييج تساوي أو أكبر من قيمة معينة، تسمى عتبة الاهاجة (Seuil d'excitation)، أو الريوباز.

لوحة 6



b - استجابة العضلة لاهاجتين متتاليتين: انظر الوثيقة 4 لوحة 6.

تختلف الاستجابة في هذه الحالة حسب اللحظة التي تسلط فيها الاهاجة الثانية، وهكذا نميز ثلاثة حالات:

- ① إذا وقع التهييج الثاني بعد انتهاء الرعشة الأولى، تكون الرعشتان متماثلتين ومستقلتين.
- ② إذا وقع التهييج الثاني خلال مرحلة ارتخاء الاستجابة الأولى، يكون وسع الاستجابة الثانية أكبر من وسع الاستجابة الأولى، كما يبقى المنحنيان منفصلان. نتكلم عن الالتحام غير التام.

③ إذا وقع التهيج الثاني خلال مرحلة تقلص الاستجابة الأولى، يلاحظ تراكم المحنبيين. نتكلم عن الالتحام التام، يكون فيه وسع التوتر الاجمالي أكبر من وسع التوتر خلال رعشة معزولة.

c - استجابة العضلة لاهاجات متتالية: انظر الوثيقة 5 لوحدة 6.

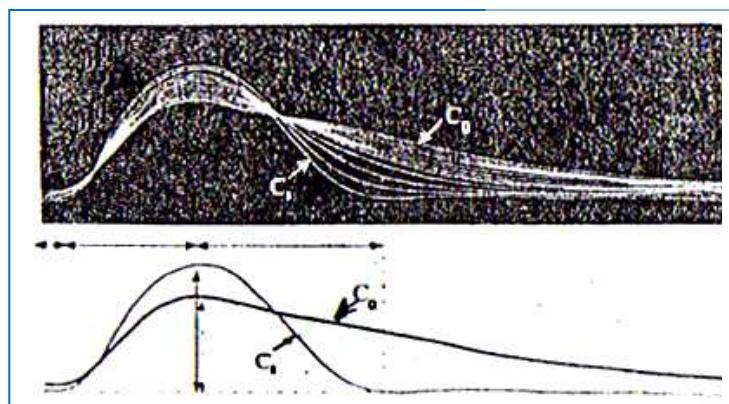
عند تطبيق سلسلة من الاهاجات المتتالية، نلاحظ حالتين:

الشكل 1: عندما يكون تردد التهيجات ضعيف، نحصل على تسجيل مكون من ذبذبات متتالية، نسمى هذا التقلص الكزار الناقص (Tétanos imparfait)، والذي يفسر بالتحام غير تام للرعشات العضلية، لأن كل تهيج يحدث خلال فترة الارتخاء للاستجابة السابقة.

الشكل 2: عندما يكون تردد التهيجات قوي، نحصل على تسجيل منبسط مستقيم، نسمى هذا التقلص الكزار التام (Tétanos parfait)، والذي يفسر بالتحام تام للرعشات العضلية، لأن كل تهيج يأتي في فترة التقلص للاستجابة السابقة.

ملاحظة: استجابة العضلة المتعبة.

عندما تصبح العضلة متعبة، بعد خضوعها لعدة اهاجات، فإن وساع الاستجابة يصبح ضعيفا، كما أن مدة الارتخاء تصبح طويلة.



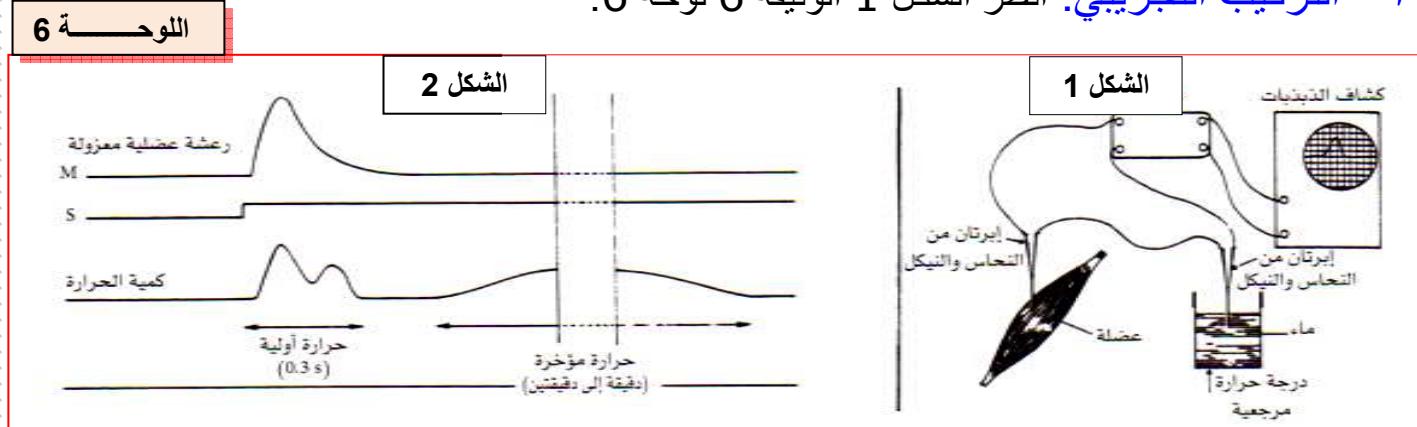
II - الظواهر التي تصاحب التقلص العضلي.

التقلص العضلي ظاهرة ميكانيكية ترافقها ظواهر حرارية، طافية وكيميائية.

① الظواهر الحرارية المرافقة للتقلص العضلي:

عند القيام بجهود عضلي، ترتفع درجة حرارة الجسم الداخلية، ويقاوم هذا الارتفاع بزيادة طرح الحرارة. هذا الطرح يختلف حسب شدة الجهد.

أ - التركيب التجريبي: انظر الشكل 1 الوثيقة 6 لوحدة 6.



نستعمل في هذه الدراسة تقنية العمود الحراري Thermopile. يتكون العمود الحراري من إبرتين كهروحراريتين، تتكون كل إبرة من معدنين مختلفين (نحاس و نيكل أو ذهب ونيكل).

إن اختلاف الحرارة بين الإبرتين، يولد فرق جهد كهربائي تتناسب شدته مع درجة حرارة العضلة المتقلصة.

ب - النتائج التجريبية: انظر أنظر الشكل 2 الوثيقة 6 لوحه 6.
انطلاقا من هذه النتائج، استخرج أنواع الحرارة المحررة من طرف العضلة في حالة نشاط.

ج - تحليل واستنتاج:

خلال التقلص العضلي تنتج الحرارة، ويتوزع إنتاجها على مرحلتين أساسيتين:

- الحرارة الأولية : هي الحرارة الابتدائية، وتحرر في جزأين: جزء خلال التقلص (حرارة التقلص)، وجزء خلال الارتخاء (حرارة الارتخاء)، وتندوم بعض أجزاء من الثانية.
- الحرارة المؤخرة: أو المتأخرة، وتحرر بعد التقلص العضلي، وتندوم من دقيقة إلى دقيقتين.

② الظواهر الكيميائية والطاقة :

أ - ملاحظات:

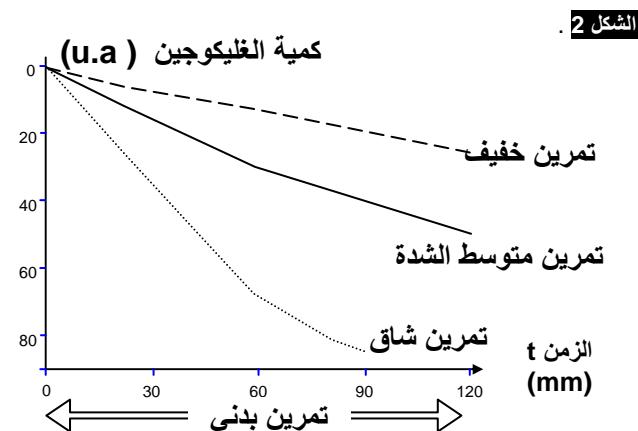
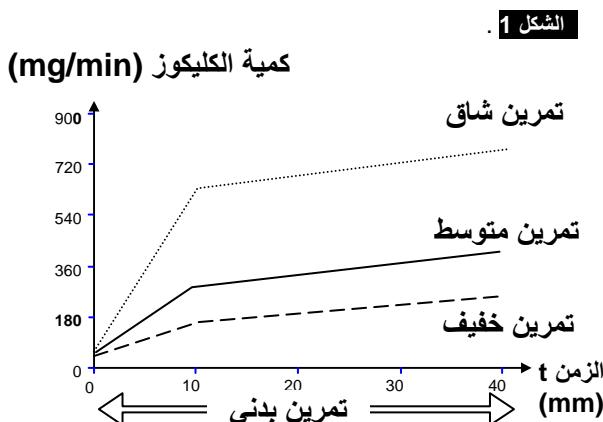
تبين الملاحظة المجهرية للنسيج العضلي، أنه غني بالشعيرات الدموية. يبرر التعرق الشديد للنسيج العضلي، بكون النشاط العضلي يرفع من حاجيات العضلة من القيت والأوكسجين، والتي تصل إلى العضلة عن طريق الدم.

ب - نتائج تجريبية:

انطلاقا من تحليل معطيات هذه الوثائق 1، 2، 3، لوحه 7، استنتاج متطلبات العمل العضلي

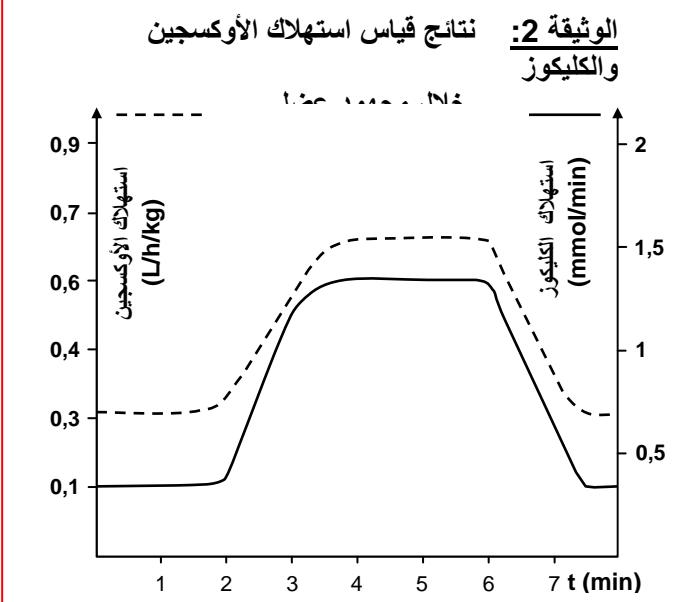
اللوحة 7

الوثيقة 1: قياس كمية الكليكوز (شكل 1) ، والغليكوجين (شكل 2) ، المستعملة من طرف عضلات الطرفين السفليين عند شخص خلال مجهد عضلي متزايد الشدة. (d'après manuel Hatier- mai 2000)
حل هذه المعطيات، واستنتاج متطلبات العمل العضلي.



الوثيقة 3:

خلال ساعة بالنسبة ل 1Kg من العضلة		حجم الدم الذي يعبر العضلة ب (l)
في حالة راحة	في حالة نشاط	
56.325	12.220	حجم الأكسجين المستهلك ب (l)
5.207	0.307	حجم ثاني أكسيد الكربون المطرود ب (l)
5.950	0.220	كمية الكليكوز المستهلكة ب (g)
8.432	2.042	البروتيدات المستهلكة ب (g)
0	0	الدهون المستهلكة ب (g)
0	0	الدهون المستهلكة ب (g)



ج - تحليل واستنتاج:

نلاحظ خلال المجهود العضلي، ارتفاع استهلاك الكليكوز، ويلاحظ في نفس الوقت، انخفاض مدخلات العضلة من الغليكوجين.

نلاحظ كذلك ارتفاع استهلاك الأوكسجين، عند المجهود العضلي، مع طرح المزيد من ثاني أكسيد الكربون.

انطلاقاً من هذه المعطيات، نستنتج أن الطاقة اللازمة للنشاط العضلي، تأتي من تفاعل أكسدة الكليكوز، الناتج عن حلمأة الغليكوجين.

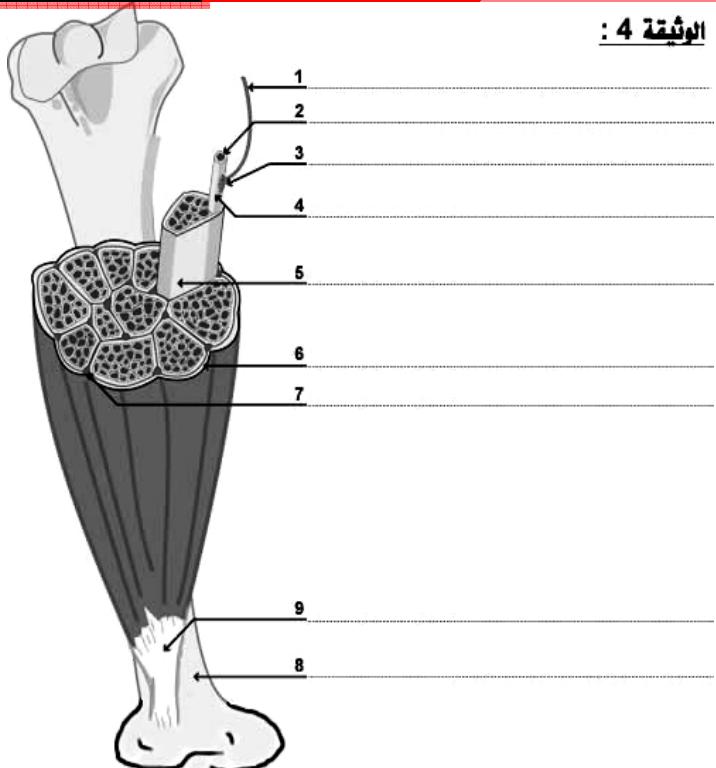
III - بنية فوق بنية النسيج العضلي.

① بنية العضلة الهيكيلية المخططة:

اللوحة 7

أ - ملاحظات بالعين المجردة: أنظر الوثيقة 4، لوحة 7

الوثيقة 4:



الوثيقة 5

تكون العضلات مثبتة على العظام، وتظهر جزأين: جزء أحمر مرن، يسمى بطن العضلة، وهو أحمر بوجود بروتين خاص يسمى الخضاب العضلي (Myoglobin)، وجزء أبيض لؤلؤي (nacré)، يوجد في نهايتي العضلة، ويسمى وتر عضلي (Tendon). تبين ملاحظة المقطع العرضي للعضلة أنها تتكون من كتل مفصولة عن بعضها بواسطة نسيج ضام، هي الحزم العضلية (Faisceau musculaire) يتبع من تأريب العضلة (Délacération) أنها ذات بنية ليفية.

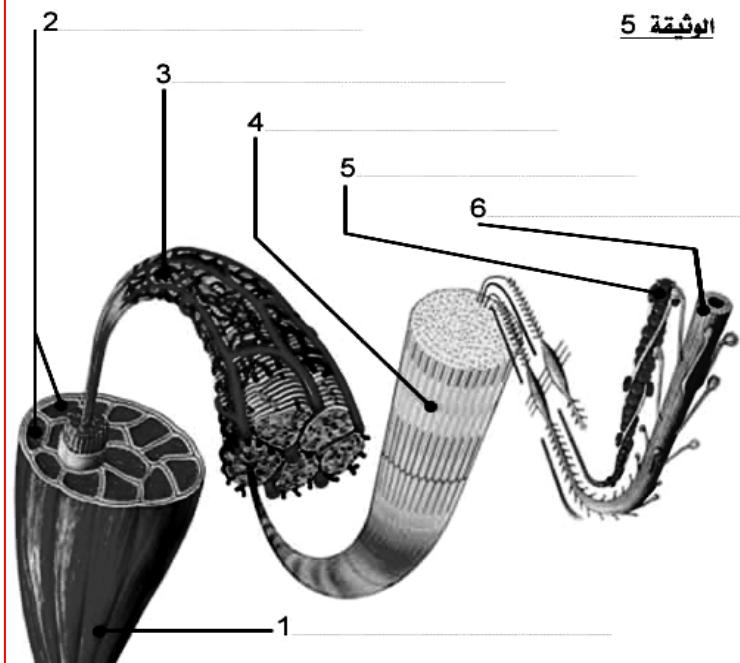
ب - ملاحظات مجهرية:

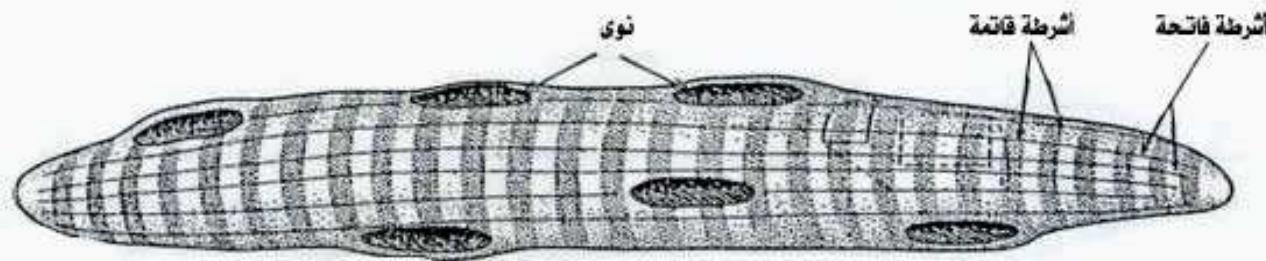
أنظر وثيقة 5، لوحة 7 (أنظر الرسم أسفله)

تبين الملاحظة المجهرية أن العضلة الهيكيلية المخططة تتكون من عدد كبير من الألياف، كل ليف هو عبارة عن خلية مستطيلة مخططة (طولها ما بين 0.1 م و عدة سنتيمترات). وتحتوي على عدة مئات من النوى مرتبة على المحيط، نتكلم عن مختلط خلوي.

كل ليف عضلي يكون محاطاً بغشاء سيتوبلازمي، يدعى ساركوليم، وتحتوي على سيتوبلازم يدعى ساركوبلازم.

تظهر الخلية العضلية (الليف العضلي) مخططة طولياً، لوجود ليفات عضلية داخل الساركوبلازم. وتظهر هذه الخلية مخططة عرضياً، تكون الليفيات العضلية تتكون من تناسب أشرطة قاتمة وأشرطة فاتحة.





خلية عضلية = ليف عضلي

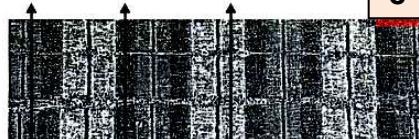
① فوق بنية الليف العضلي:

أ - الملاحظات بالمجهر الالكتروني:

انطلاقاً من معطيات الوثيقة 1، 2، 3، و4، لوحة 8، صف بنية المقاطع المستعرضة للليف العضلي، ثم بين أن الساركومير يعتبر الوحدة البنوية للليف العضلي.

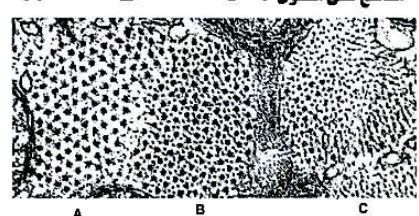
لوحة 8

مقطع طولي
للليفات عضلية
 $\times 15000$

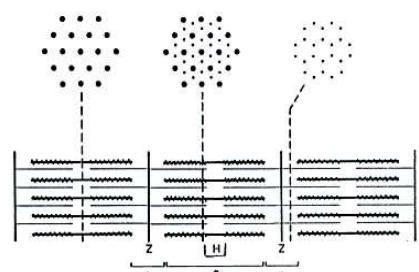


مقاطع على مستوى :

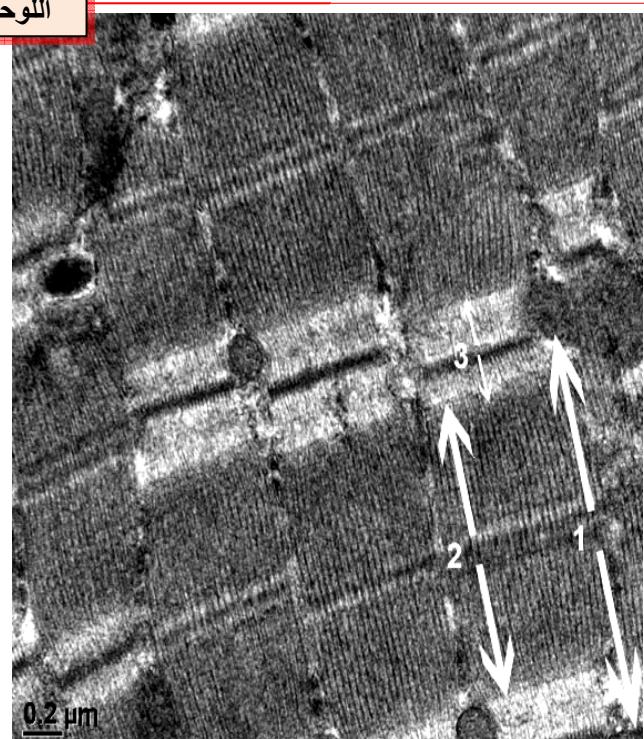
مقطع عرض
للليفات عضلية
 $\times 100000$



تفسير المقاطع
العرضية



تفسير بنية الساركومير
انطلاقاً من مقطع طولي



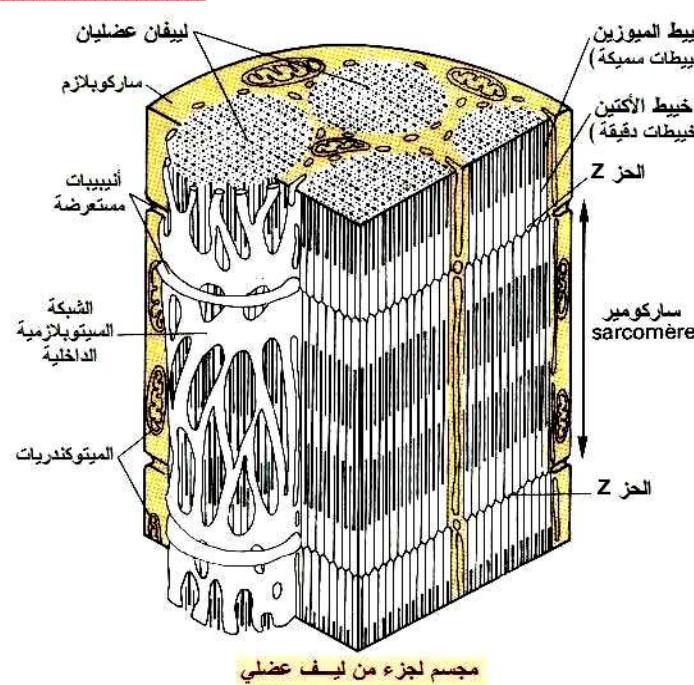
الوثيقة 2 : نقوم بمقاطع مستعرضة لليف عضلي على مستويات مختلفة : C , B , A

الوثيقة 1 : ملاحظة بالمجهر الالكتروني لنسيج عضلي.

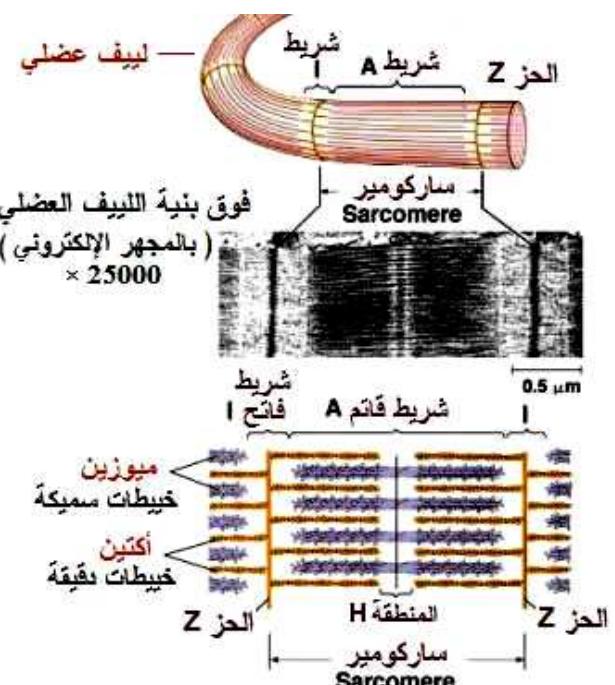
تبين هذه الملاحظة أن الليف العضلي تتكون من تناوب نوعين من الأشرطة:

- أشرطة فاتحة (Isotropique=I) تتكون من خيوط دقيقة من بروتين يسمى الأكتين (de l'allemand zwischen, signifiant "entre") (Strie Z.Z. (Actine)) ، ويتوسطها الحز Z.
 - أشرطة قاتمة (Anisotropique=A)، تتكون من خيوط الأكتين، وخيوط سميكة من بروتين يسمى الميوزين (Myosine)، ويتوسطها المنطقة H (de l'allemand heller, plus pâle)
- . التي تحتوي على خيوط الميوزين فقط.

اللوحة 8



الوثيقة 4 :



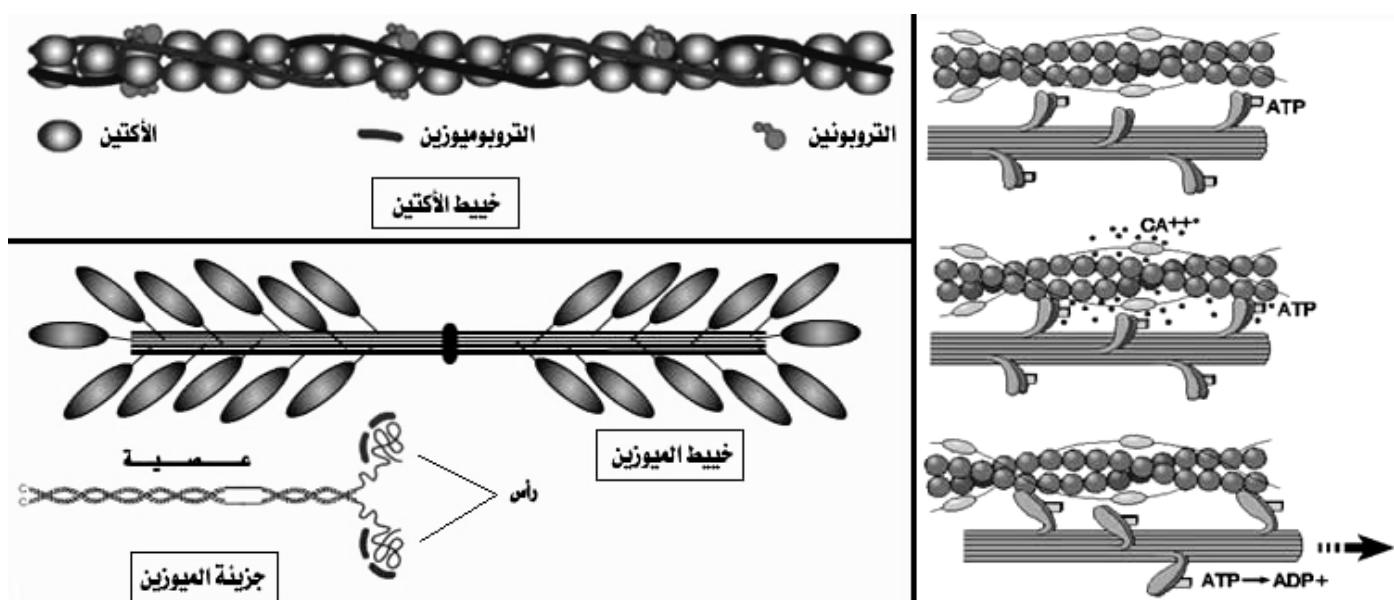
الوثيقة 3 :

يتكون كل ليف عضلي من وحدات متتالية تسمى الساركوميرات (Sarcomère)، توجد بين حزقي Z. ويعتبر الساركومير الوحدة البنوية للليف العضلي.
 يحتوي الساركومير على عدد كبير من الميتوكندريات، وكمية هامة من الغليوكوجين، كما يحتوي على شبكة ساركوبلازمية وافرة، تحتوي على كمية كبيرة من الكالسيوم.

اللوحة 9

ب - البنية الجزيئية لخيوط العضلية: انظر الوثيقة 1 لوحة 9.

الوثيقة 1 :



يتكون كل خيط دقيق، أو خيط الأكتين، أو بروتين يدعى الأكتين، وهو الطاغي، بالإضافة إلى بروتينين آخرين هما التروبونين والتروبوميوزين.

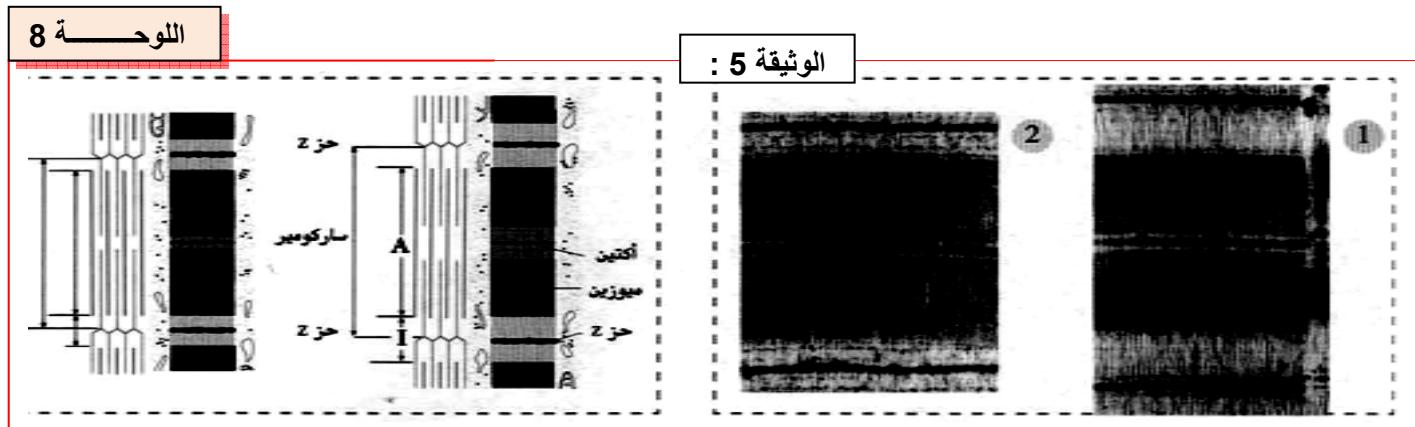
يتكون الخيط السميكي أو خيط الميوزين، من حزمة من جزيئات بروتين الميوزين، وكل جزيئة ميوزين تتكون من رأسين كرويين وعصبية.

IV - آلية التقلص العضلي.

① ماذا يحدث أثناء التقلص العضلي؟

أ - ملاحظات مجهرية:

☒ تم تجميد عضلة في حالة راحة، وعضلة متقلصة. بعد ذلك تم انجاز مقاطع على مستوى العضلاتين، لتم ملاحظتها بالمجهر الإلكتروني. تمثل الوثيقة 5 لوحة 8، نتيجة هذه الملاحظة.



حدد التغيرات الملاحظة على الليف المتقلص، ثم فسر هذه التغيرات.

☒ نلاحظ أن تقلص العضلة يصاحبه :

- تقصير على مستوى الساركوميرات (تقارب حزى Z) .
- ينقص طول الشريط الفاتح I ، والمنطقة H .
- يبقى طول الشريط القائم A ثابت .

ب - تفسير واستنتاج:

بما أن طول الأشرطة القاتمة يبقى ثابت، نستنتج أن التقصير الملاحظ في الساركومير ليس ناتجا عن تقصير في الخيوط العضلية، بل عن انزلاق هذه الخيوط بعضها بالنسبة لبعض، في اتجاه مركز الساركومير (انزلاق الأكتين على الميوزين)، فينتج عن ذلك اقتراب حزى Z واحتزال المنطقة H . نتكلم عن آلية انزلاق الخيوط. Glissement des filaments.

② آلية انزلاق الخيوط ؟

أ - معطيات تجريبية:

انطلاقا من معطيات الوثيقة 2، لوحة 9، استنتج دور كل من ATP و Ca^{++} في حدوث التقلص العضلي.

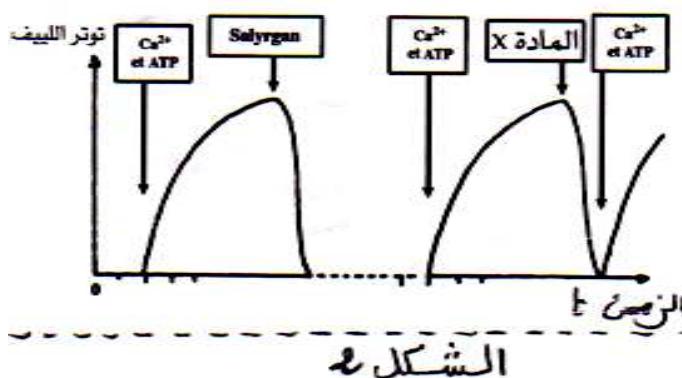
لقد بينت دراسات أخرى أن هناك تالف بين رؤوس الميوزين والأكتين، وبوجود أيونات الكالسيوم، ترتبط رؤوس الميوزين بالأكتين فيتشكل مركب الأكتوميوزين الذي يكون بناءً خاصاً تسمى القناطر المستعرضة (Ponts transversals) (الوثيقة 1 ، لوحة 9). بالاعتماد على المعطيات السابقة ومعطيات الوثيقة 1 ، لوحة 9 ، بين العلاقة بين أيونات الكالسيوم ونشوء القناطر المستعرضة.

الأستاذ : يوسف الأندلسي

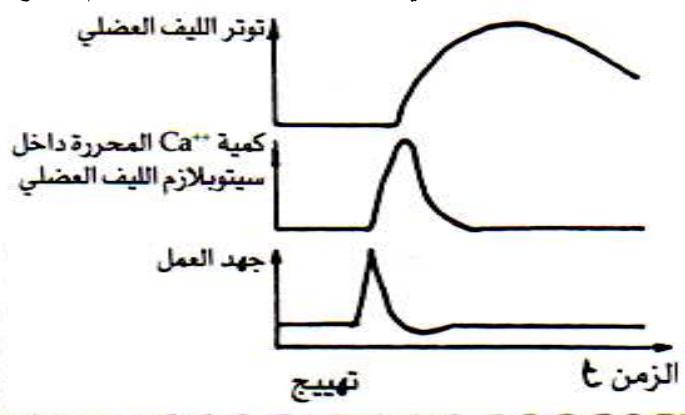
الصفحة : - 23 -

هذا الملف تم تحميله من موقع Talamid.ma

الوثيقة 2: يعطي مبيان الشكل 1، نتائج قياس كل من كمية Ca^{2+} داخل ساركوبلازم الخلية العضلية وتوترها بعد تهييجها. يعطي مبيان الشكل 2، نتائج تأثير وجود أو عدم وجود Ca^{2+} و ATP على توتر الليف العضلي. المادة X هي مادة كيميائية ترتبط بالكالسيوم وتنعف فعله. المادة Salyrgan، هي مادة كابحة لحلمة ATP.



الشكل 8



الشكل 1

لوحة 9

ب - تحليل واستنتاج:

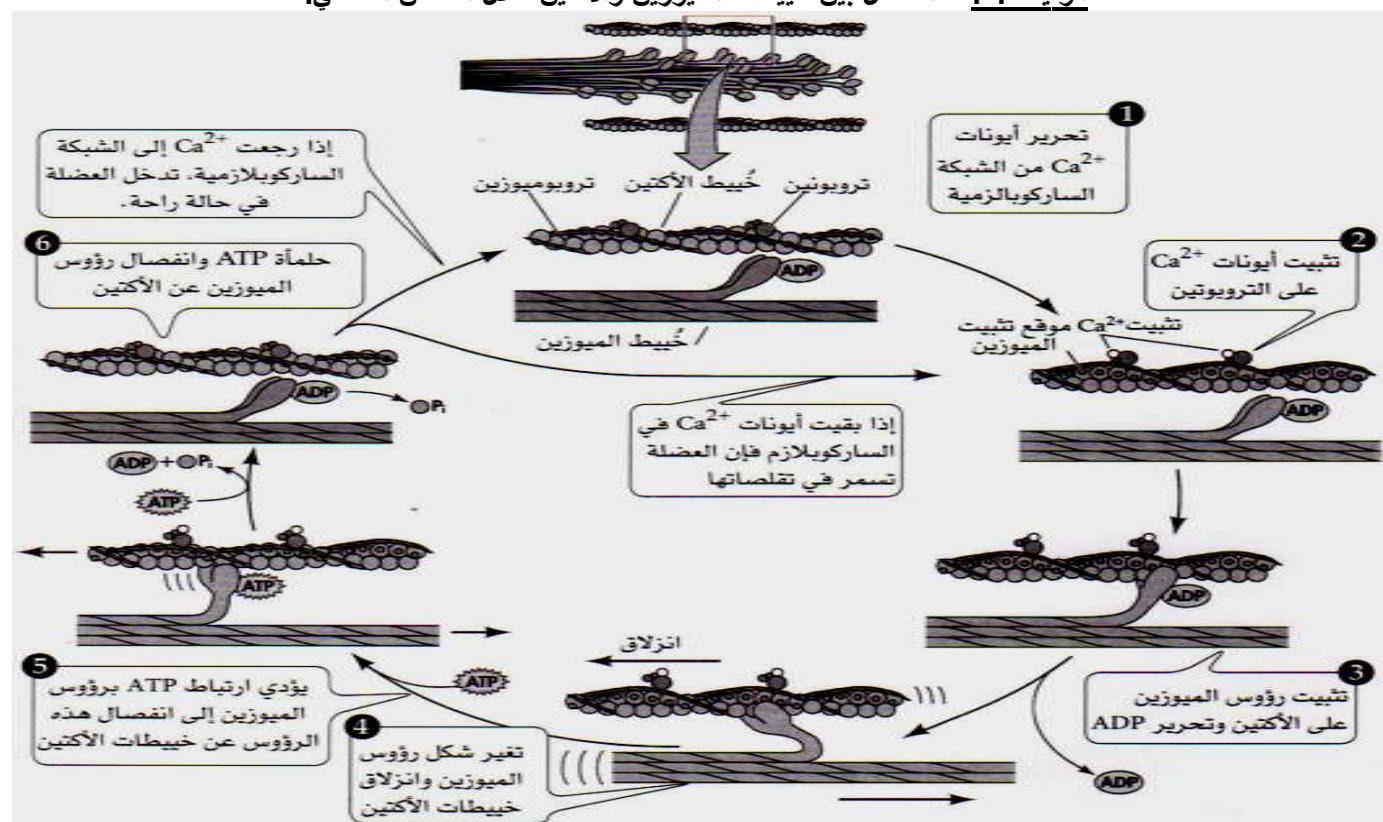
- الشكل 1 : بعد تهييج العضلة مباشرةً، نلاحظ ارتفاع تركيز الكالسيوم داخل ساركوبلازم الخلية العضلية، متبعاً بارتفاع توتر الليف العضلي.
 - الشكل 2 : نلاحظ أن الليف العضلي تقلص بسرعة عند وجود ATP، وايونات الكالسيوم. وعندما نمنع حلمة ATP بفعل Salyrgan، يختفي توتر الليف. أما عندما نمنع فعل Ca^{2+} ، يختفي توتر الليف، رغم وجود ATP.
- نستنتج من هذه المعطيات أن توتر الليف العضلي يتلزم وجود Ca^{2+} و ATP. هذا الأخير يعمل على تحرير موقع الارتباط بين الميوتين والأكتين، لتكون قنطرة مستعرضة.

لوحة 10

ج - خلاصة : آلية التقلص العضلي.

أنظر الوثيقة 1، لوحة 9، الوثيقة 1، لوحة 10.

الوثيقة 1: التفاعل بين خيطات الميوتين والأكتين خلال التقلص العضلي.



يتطلب التقلص العضلي وجود ATP، وايونات الكالسيوم، ويتم كما يلي:

- عند تنبيه الليف العضلي، تحرر الشبكة الساركوبلازمية ايونات الكالسيوم.
- بحضور Ca^{++} ، يتم تحرير موقع ارتباط رؤوس الميوزين على الأكتين، والتي كانت محوبة ببروتينات التروبوميوزين، فت تكون بذلك قنطر الأكتوميوزين.
- تلعب مركبات الأكتوميوزين دور أنزيم محفز لحملة ATP، وتحرير طاقة تؤدي إلى دوران رؤوس الميوزين في اتجاه مركز الساركومير، وهذا ما يؤدي إلى تقلصه.
- عند انتهاء التنبيه، يضخ Ca^{++} داخل الشبكة الساركوبلازمية، فترتبط جزئية أخرى لـ ATP برؤوس الميوزين، مما يؤدي إلى انفصال الأكتين عن الميوزين، وحدوث الارتخاء.

V - كيف يتم تجديد الطاقة اللازمة للتقلص العضلي ؟

أ - معطيات تجريبية:

تعطي الوثيقة 2، لوحة 10، تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة، قبل وبعد التقلص. قارن معطيات جدول الوثيقة، واقتراح تفسيرا لقيم ATP، قبل التقلص وبعده.

اللوحة 10

الوثيقة 2: تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة قبل وبعد التقلص..

الاستنتاجات	نتائج المعايرة		الملاحظات	التجارب
	قبل التقلص	بعد التقلص		
إهاجة العضلة كهربائية	1,21	1,62	تقلص العضلة	إهاجة العضلة كهربائية
	1,95	1,5	لمندة 3 دقائق	إهاجة عضلة بوجود الحمض
	2	2		الأيدوي الأستيك (مادة توقف
	1,5	1,5		انحلال الكليكوز)
إهاجة عضلة في نفس ظروف التجربة السابقة	1,62	1,62	تقلص العضلة	إهاجة عضلة بوجود الحمض
	1,5	1,5	في نفس	الأيدوي الأستيك (مادة توقف
	2	2	ظروف التجربة	انحلال الكليكوز)
	0,4	1,5	السابقة	
إهاجة عضلة بصفة عادية ثم تتوقف	1,62	1,62	العضلة تتقلص	إهاجة عضلة بوجود الحمض
	1,5	1,5	صفة عادية	الأيدوي الأستيك ومادة
	0	2	ثم تتوقف	مانعة للفوسفوكرياتين كيناز
	1,5	1,5		(أنزيم ضروري لانحلال الفوسفوكرياتين)

ب - تحليل واستنتاج:

نلاحظ خلال التجربة الأولى أن نسبة الغليكوجين تنخفض، ونسبة الحمض اللبني ترتفع، بينما نسبة ATP، والfosfokriatines، تبقى ثابتة.

يدل ثبات نسبة ATP في هذه التجربة، رغم استهلاكه خلال التقلص العضلي، على أنه يتجدد باستمرار. ويتم هذا التجدد بواسطة التخمر اللبني، حيث تمت حلمة الكليكوجين إلى كليكوز، يخضع هذا الأخير للتخمر ليعطي حمض لبني + ATP.

خلال التجربة الثانية، انخفاض نسبة الفوسفوكرياتين فقط. تدل هذه النتائج على أن تجديد ATP في هذه الحالة يتم بواسطة الفوسفوكرياتين، وهي مادة غنية بالفوسفات، تجدد ATP، حسب التفاعل التالي:



خلال التجربة الثالثة، توقفت العضلة عن النقلص بعد استنفاد مخزونها من ATP ، يدل هذا على عدم تجديد ATP.

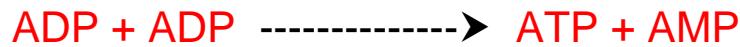
ب - طرق تجديد ATP:

حسب سرعة تدخلها يمكن تصنيف الطرق المجددة لATP، إلى ثلاثة أنواع:

a - الطرق اللاهوائية السريعة:

في أقل من 30 ثانية ينطلق تفاعلاً لتجديد ATP :

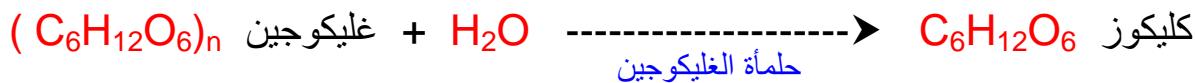
- بواسطة التفاعل بين ADP، تحت تأثير الإنزيم الميوكيناز MK (myokinase) (myokinase) MK



ويكون هذا التفاعل مصحوباً بتحرير حرارة، هي الحرارة الأولية.

b - الطرق اللاهوائية المتوسطة السرعة:

تتمثل في التخمر اللبناني، حيث تتم حلماًة الغليكوجين العضلي إلى كليوز، يخضع للانحلال في الجبلة الشفافة إلى حمض البيروفيك، الذي يتتحول إلى حمض لبنى.



التخمر اللبناني

+ حمض البيروفيك

c - الطرق الهوائية البطيئة:

تتمثل في التنفس الخلوي، حيث تتم حلماًة الكليوجين العضلي إلى كليوز، يتم هدمه بشكل تام بوجود الأوكسجين، ليتحول إلى CO_2 وماء، مع تحرير كمية كبيرة من الطاقة (ATP)، مع تحرير طاقة على شكل حرارة، هي الحرارة المؤخرة.