الدكتور عبد الحميد الملقي

فيزيولوجيا العضلات ١

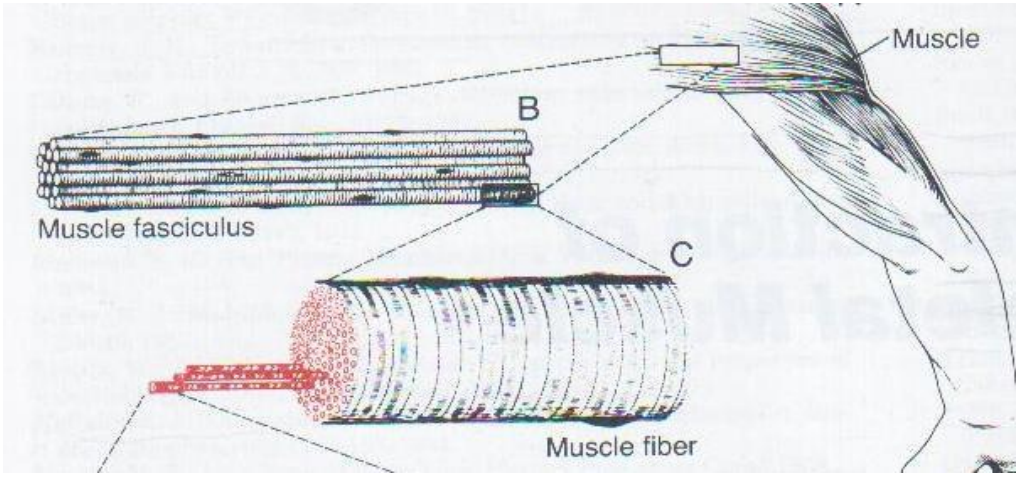
أنواع العضلات

- العضلات الهيكلية: مخططة إرادية **تتقلص استجابة للتنبيه العصبي الحركي**
- العضلات الملساء: **لاإرادية، منبع التنبيه ذاتي**، و **تثار بمنبهات مختلفة عصبية (ودية و لاودية) و كيميائية**
- القلب: عضلة مخططة **لاإرادية، تنبيهها ذاتي المنشأ**، و **تثار أيضا بمنبهات مختلفة**
- بنيتها الأساسية متشابهة: ألياف عضلية تحوي الليفات العضلية، **العنصر الجزيئي للتقلص هو ألياف الأكتين و الميوزين**

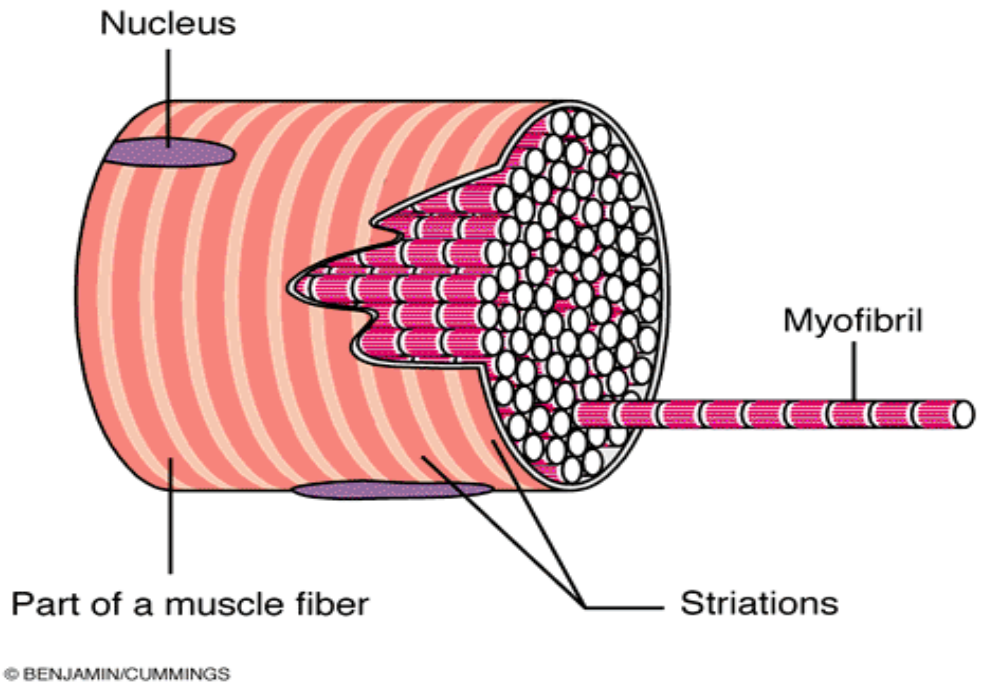
العضلات الهيكلية

- ٤٠% من وزن الجسم، مرتبطة بالهيكل،مخططة، إرادية (تحت سيطرة الجهاز العصبي المركزي)
- تتألف من ألياف عضلية أسطوانية (تمثل الخلايا) **كل منها قابل للتقلص بمفرده بمعزل عن بقية الألياف** (خلافا للعضلة القلبية)
- تنتهي معظم العضلات الهيكلية بأوتار على طرفيها
- تقلصها سريع نسبيا
- خاصية التعب

العضلات الهيكلية

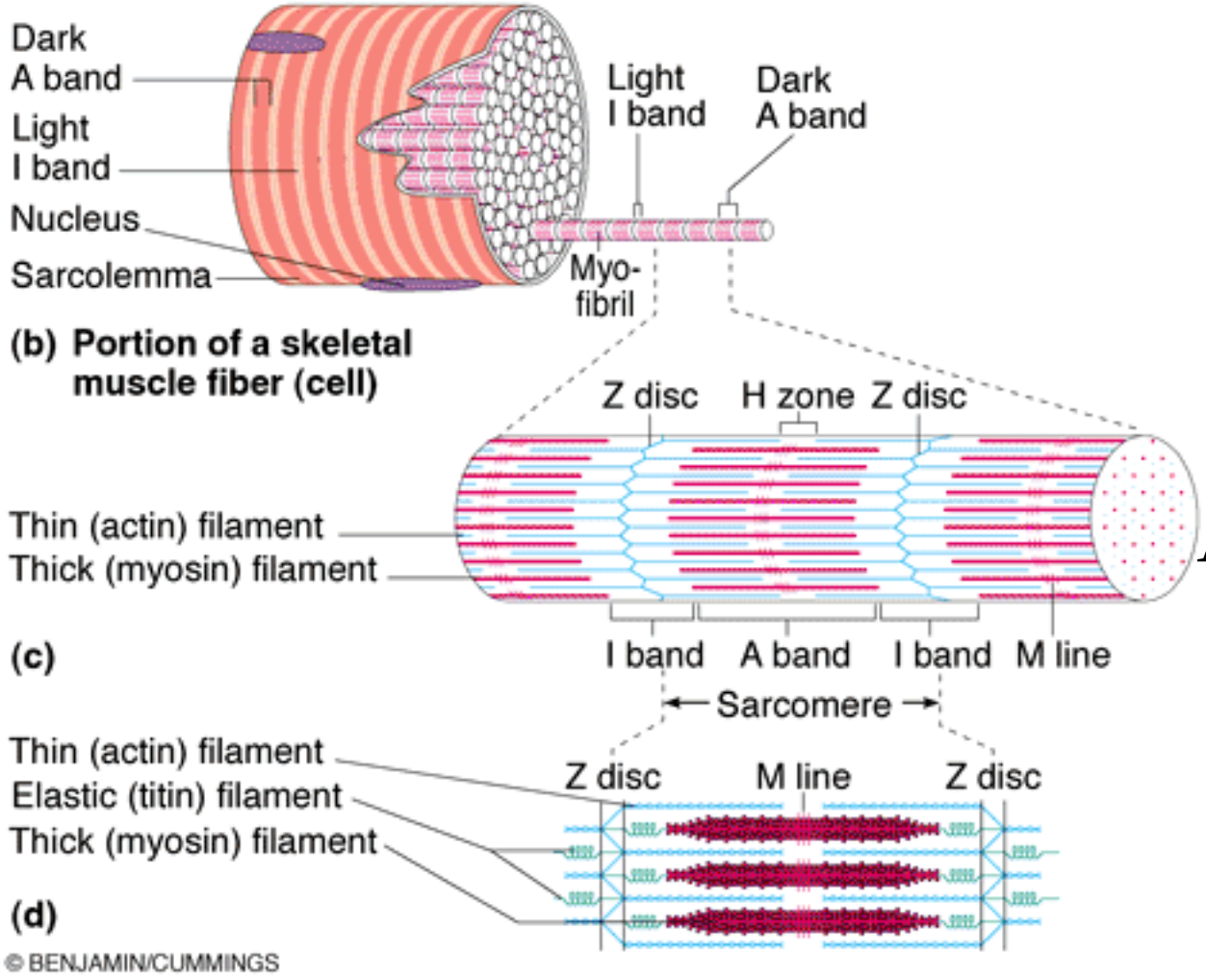


- تنتظم الألياف العضلية ضمن حزم طولانية تحوي عدة ألياف
- المجهر الضوئي:
- الليف (الخلية) داخله لييفات
- الليف نفسه مخطط، حزم نيرة و عاتمة متناوبة حسب قدرتها على عكس الضوء



د طب بشري.
عبد الحميد الملقي

العضلات الهيكلية



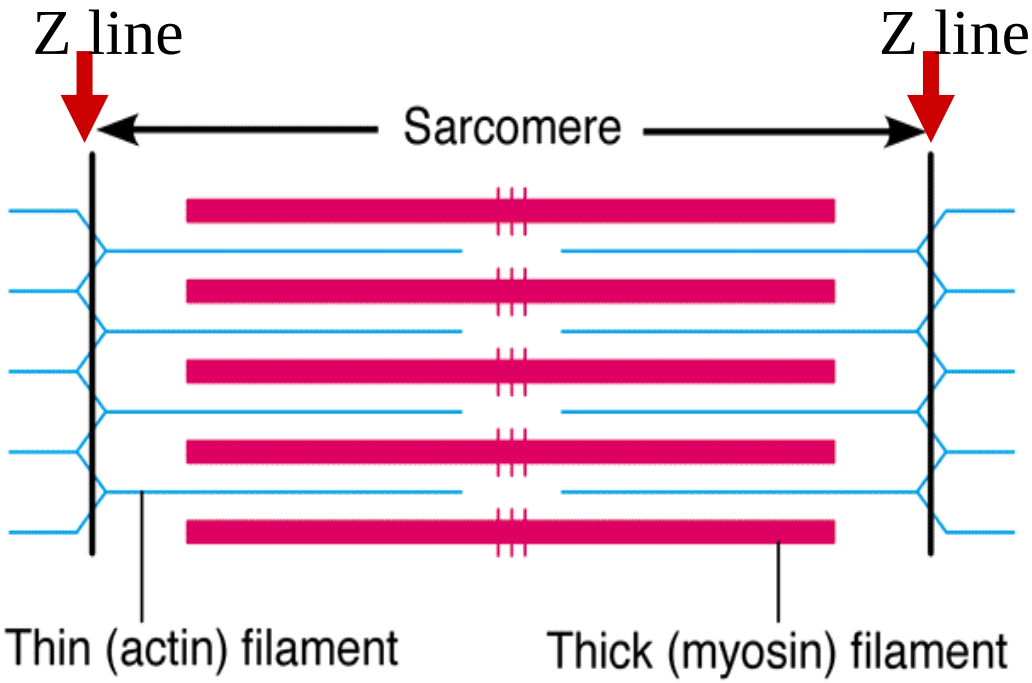
المجهر الالكتروني:

- الحزمة النيرة I وسطها خط Z معتم
- الحزمة العاتمة A وسطها المنطقة H النيرة ضمنها الخط M المعتم

د طب بشري.
عبد الحميد الملقي

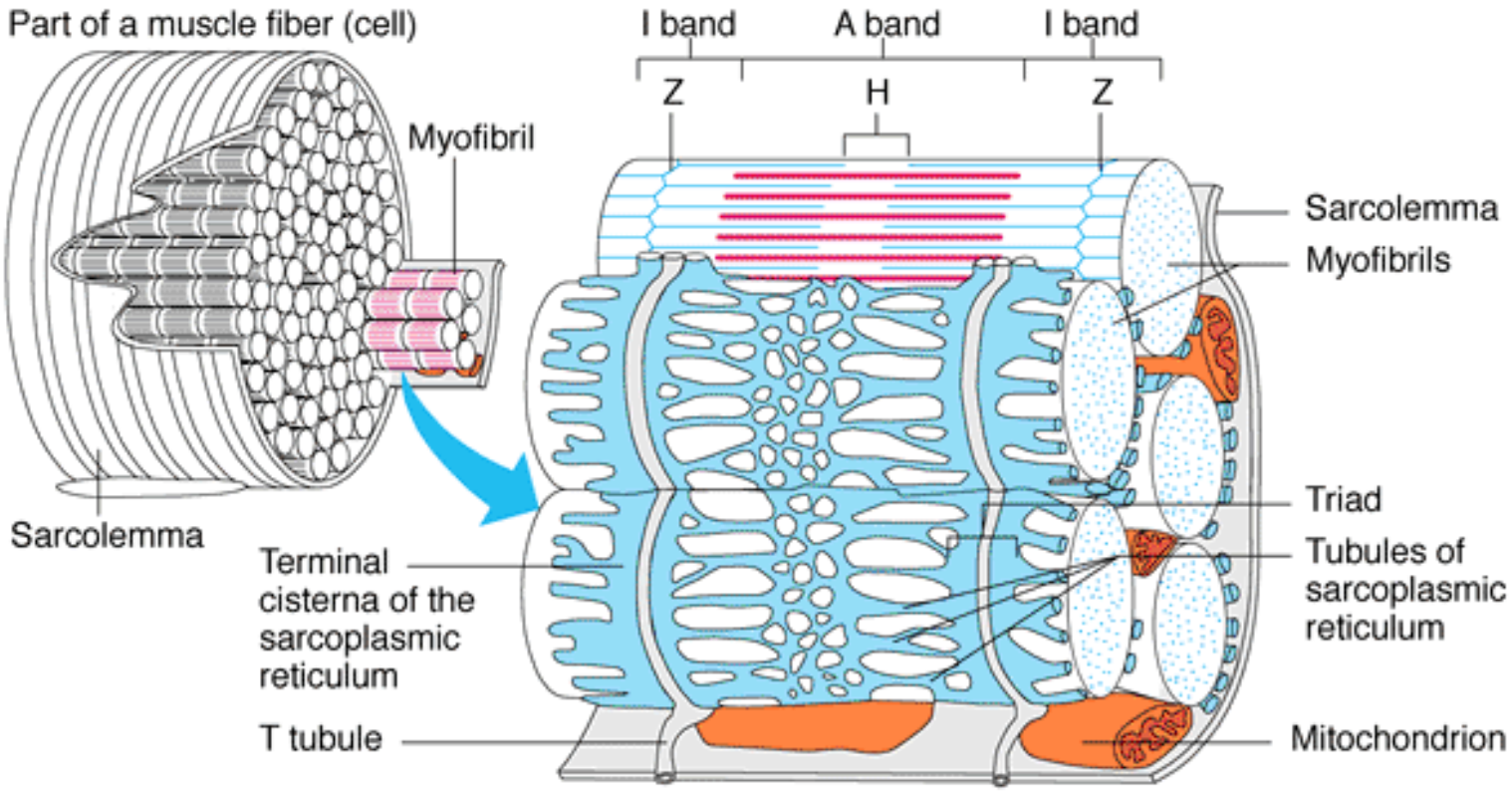
العضلات الهيكلية

- بين ٢ Z القسيم العضلي (الوحدة الوظيفية)
- الحزمة العاتمة A هي خيوط الميوزين الثخينة
- الحزمة النيرة I هي خيوط الأكتين الرفيعة
- الخط Z هو بروتينات ليفية رابطة لخيوط الأكتين على طول الليف



بنية الخلية العضلية

- غشاء خلوي ، سيتوبلاسما تحيط باللييفات، **غنية بالمتقدرات** (مصنع ATP) و **شبكة سيتوبلاسمية باطنة هامة للتقلص تتألف من نبيبات طولانية و صهاريج، بينها نبيبات T المستعرضة**



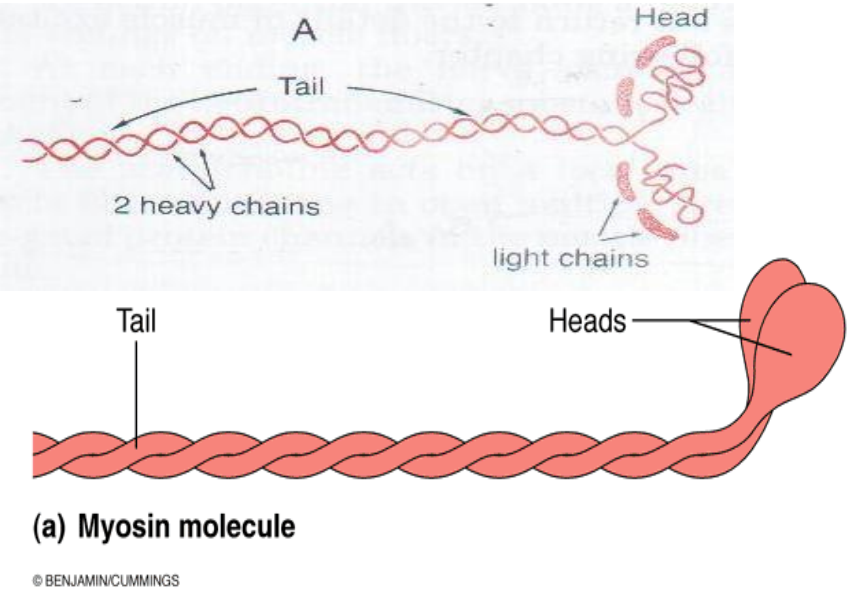
© BENJAMIN/CUMMINGS

بنية الخلية العضلية

- النبيبات T المستعرضة هي **استطالات للغشاء الخلوي و تتصل بالوسط خارج الخلايا و تحوي سائل خارج الخلايا**
- **تساهم في نشر كمون العمل أثناء التنبيه و إطلاق Ca^{++} من الصهاريج**
- كل قسيم يملك شبكتان من النبيبات T
- النبيبات الطولانية تنتهي بصهاريج مستعرضة على جانبي النبيبات T.

البنية الجزيئية لجهاز التقلص

- خيوط الميوزين: تتألف من جزيئات الميوزين المكونة من سلاسل ببتيدية ٢ ثقيلة و ٤ خفيفة
- الجزيء حلزون له ذيل مكون من السلسلتين الثقيلتين و رأسان مكونان من السلاسل الخفيفة و جزء من الثقيلة
- الذيول تشكل جسم خيط الميوزين
- قسم من الذيل قرب الرأس يخرج ليشكل ذراعا
- الرأس و الذراع يشكلان **الجسور المعترضة cross bridge**

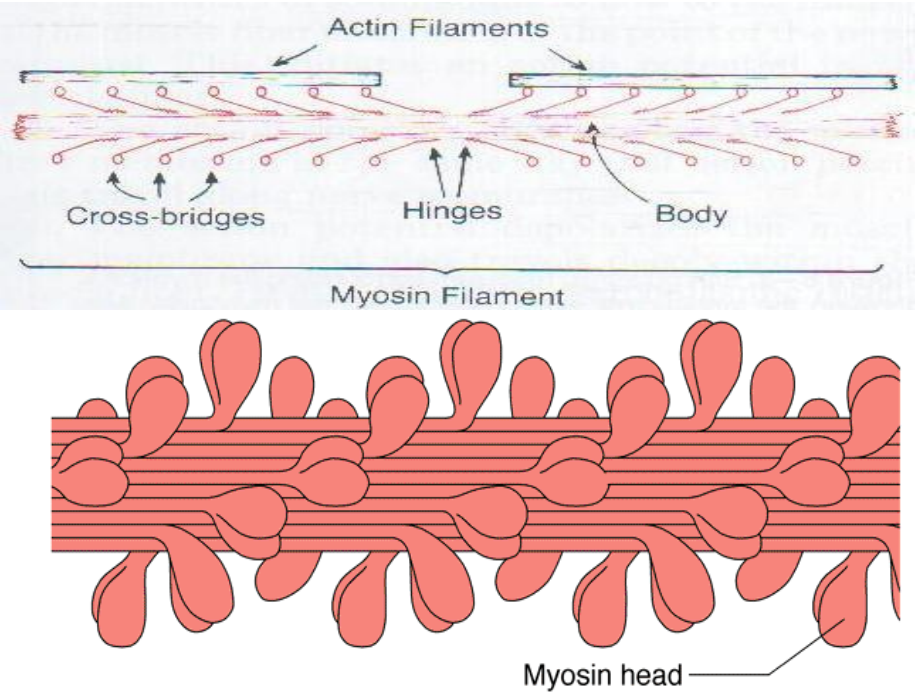


البنية الجزيئية لجهاز التقلص

- تتحرك الرؤوس على الأذرع و الأذرع على الذيول
- في مركز خيط الميوزين لا يوجد جسور معترضة
- الخيط مجدول بحيث تكون

الجسور في كل الاتجاهات

- **للرؤوس فعالية ATPase لشط ATP و الحصول على الطاقة**



(b) Portion of a thick filament

© BENJAMIN/CUMMINGS

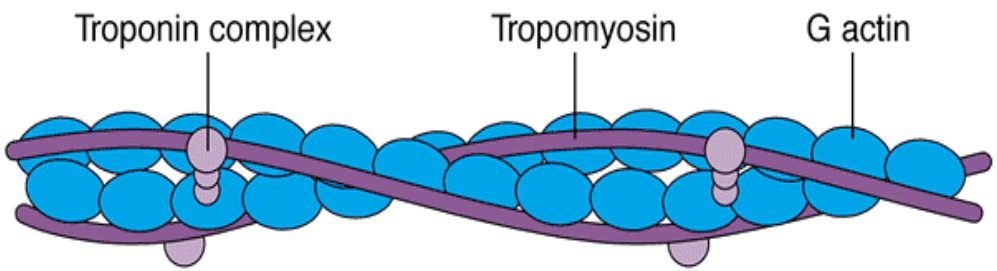
د. طب بسري
عبد الحميد الملقي

البنية الجزيئية لجهاز التقلص

- خيوط الأكتين و تتألف من:

- سلسلتي أكتين F مجدولتين تحويان جزيئات أكتين G كل منها يرتبط بجزيء ADP الذي يمثل نقطة تفاعل الأكتين و الميوزين، ترتبط خيوط الأكتين بالخيوط Z بين القسيمات العضلية المتجاورة

- سلسلتي تروبوميوزين تغطيان المواقع الفعالة لجزيئات الأكتين G أثناء الراحة، كل جزي تروبوميوزين يغطي ٧ مواقع فعالة للأكتين



(c) Portion of a thin filament

© BENJAMIN/CUMMINGS

البنية الجزيئية لجهاز التقلص

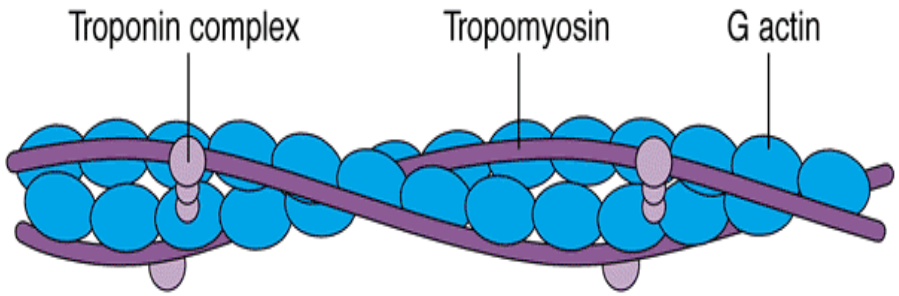
- جزيئات تروبونين التي ترتكز على سلسلتي جزيئات التروبوميوزين، و هي تتألف من ٣ وحدات:

تروبونين I : شديد الألفة للأكتين

تروبونين T: شديد الألفة للتروبوميوزين

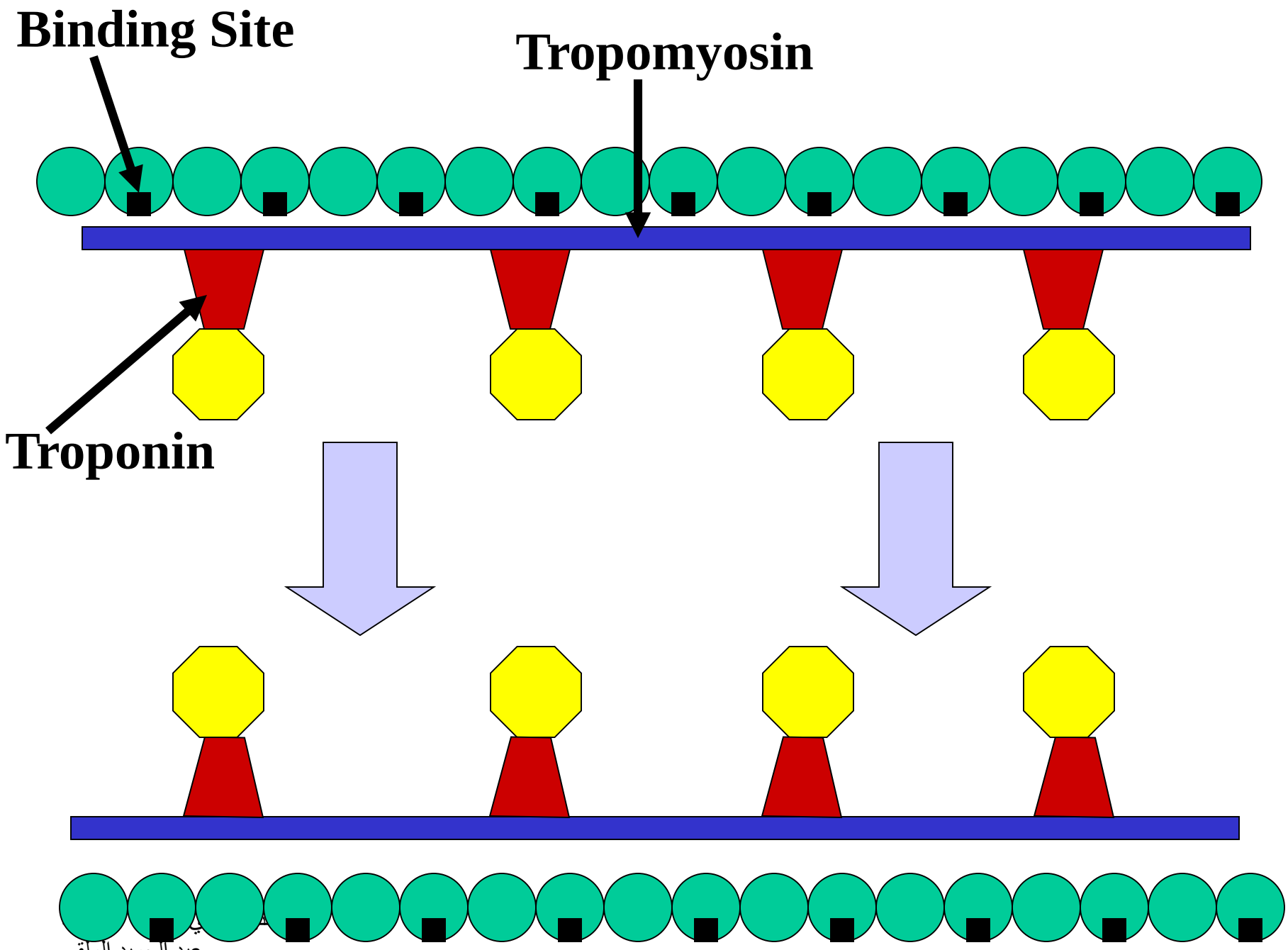
تروبونين C: شديد الألفة ل Ca^{++}

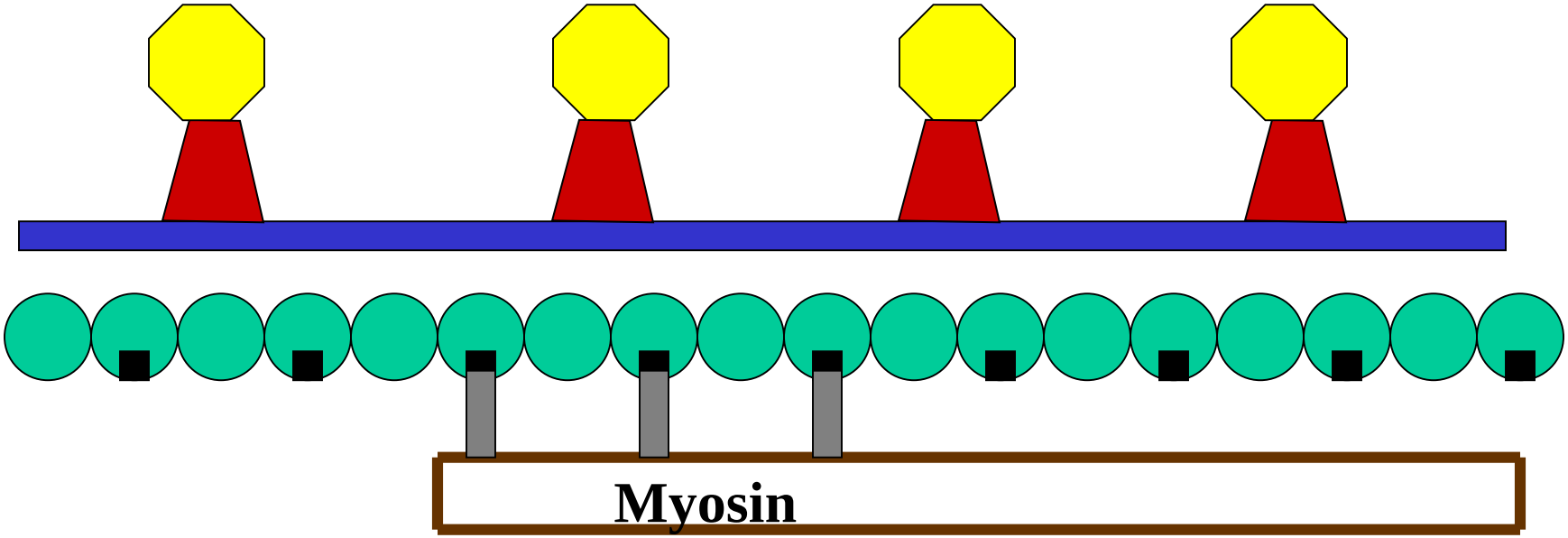
- ويعتقد أن ارتباط تروبونين C ب Ca^{++} عند التنبيه ← يتحرر الموقع الفعال للأكتين فيتفاعل مع الميوزين ← التقلص

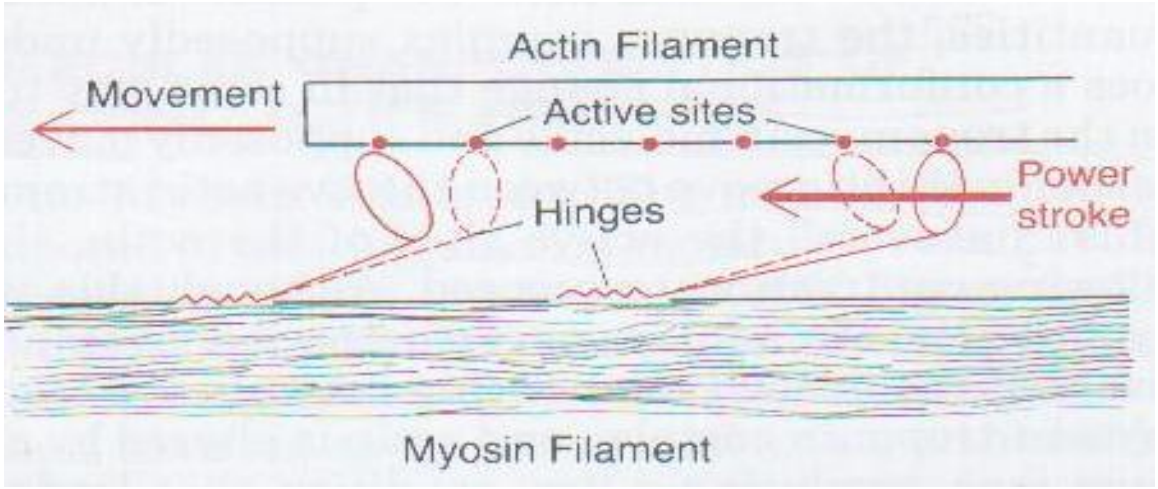


(c) Portion of a thin filament

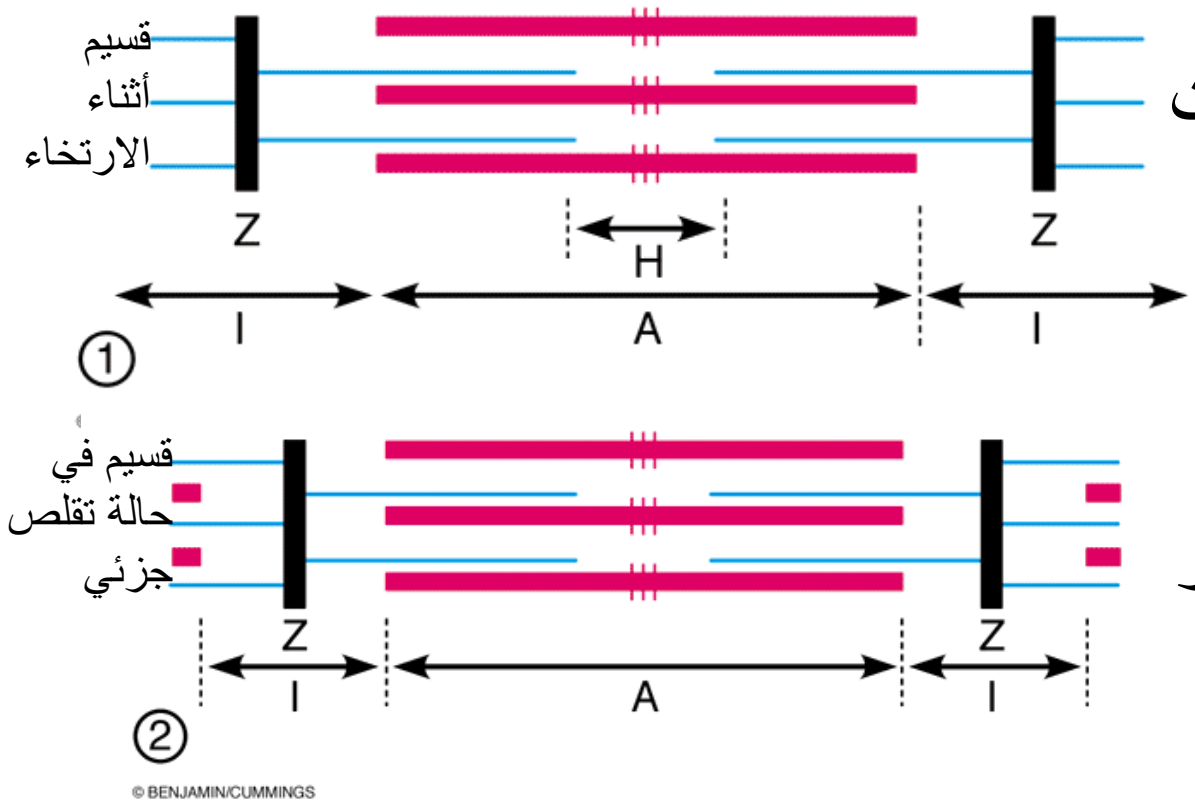
© BENJAMIN/CUMMINGS


Binding Site
Tropomyosin
Troponin





د طب بشري.
عبد الحميد الملقي



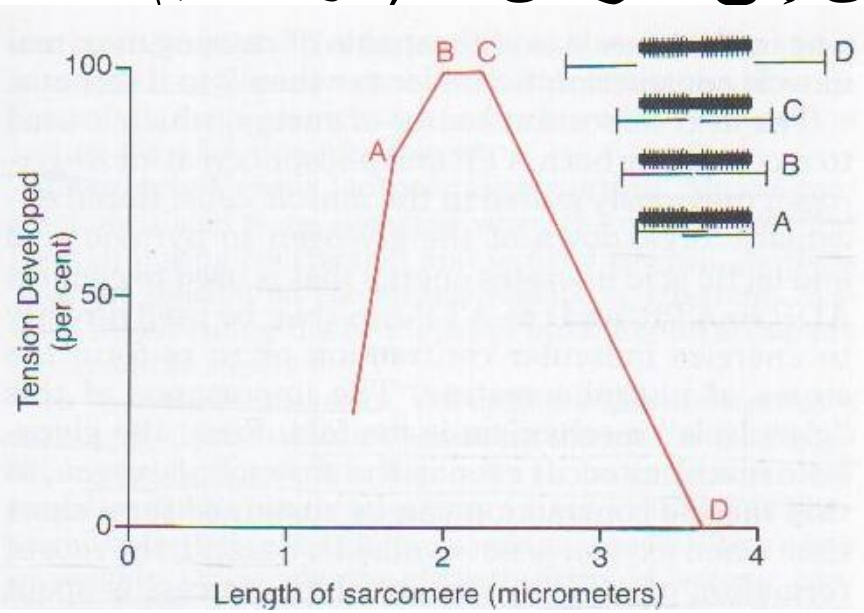
- طول الحزمة A ثابت
- البعد بين Z ٢ Z متغير
- الدورة الواحدة:

ارتباط الميوزين بالأكتين عبر الجسور المعترضة يليه جر الأكتين فالانفصال

د عبد الحميد الملقي.طب بشري

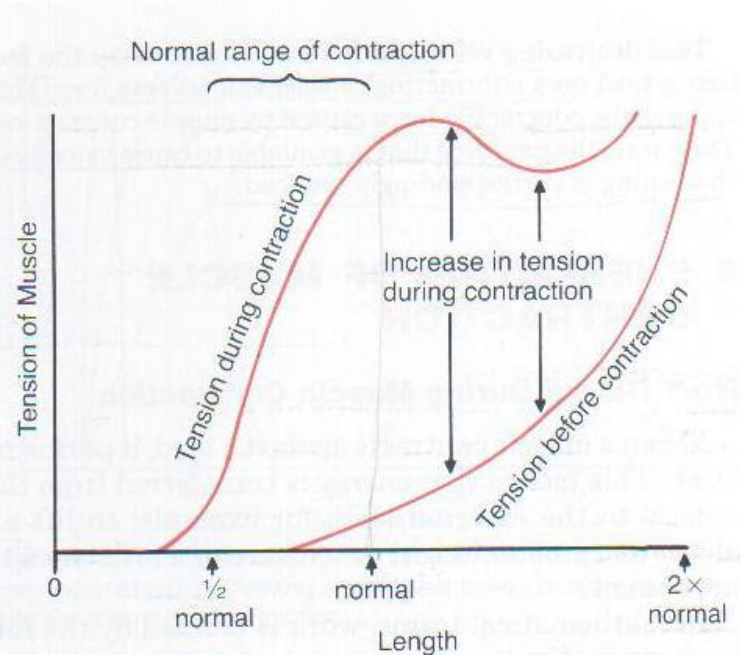
العلاقة بين طول القسيم و القوة

- يتعلق التقلص بمدى تراكب خيوط الأكتين و **رؤوس** الميوزين
- القوة منعدمة عند انعدام التراكب كليا (طول ٣,٦ µ)
- القوة عظمى عند التراكب الأعظمي (طول القسيم ٢,٢ µ)
- القوة صغرى عند وصول الميوزين إلى القرص Z (طول القسيم ١,٦٥ µ) بعد ذلك تبدأ نهايات الميوزين بالتراكب و التجعد فتنهار القوة الناتجة



العلاقة بين طول العضلة و القوة

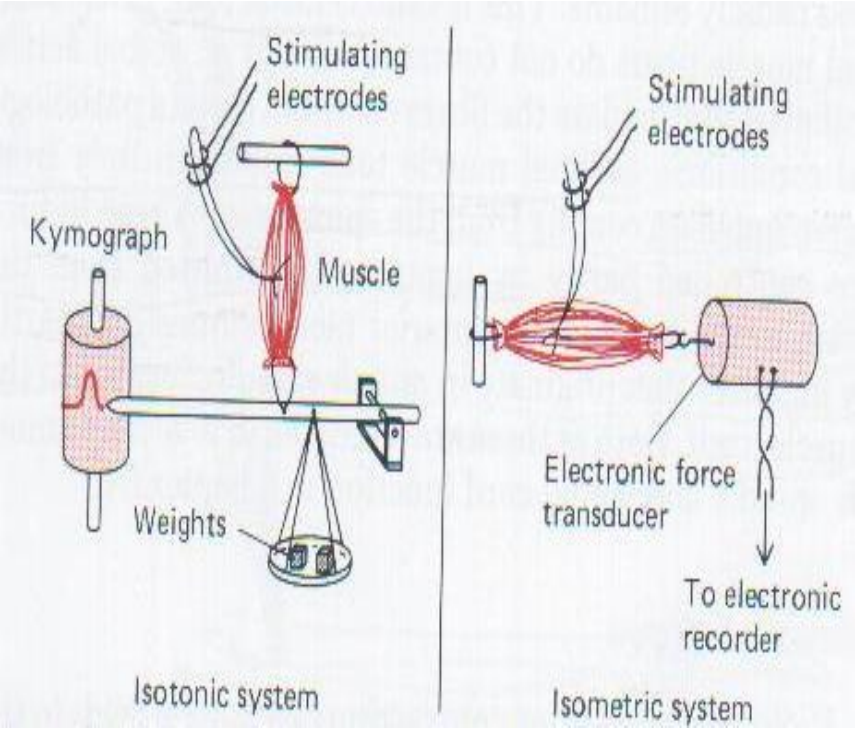
- أثناء الراحة: ↑ طول العضلة ← ↑ توتر الراحة (التوتر المنفعل)، و هو مقاومة شد العناصر النسيجية المكونة للعضلة (المنحنى السفلي)
- أثناء التقلص: التوتر المنتج الفاعل هو الفارق بين التوتر الكلي (المنحنى العلوي) و توتر الراحة، و يكون أعظميا عند الطول السوي للعضلة أثناء الراحة = طول القسيم 2,2µ



التقلص أسوي المقاس و أسوي التوتر

- التقلص أسوي المقاس isometric: طول العضلة ثابت، لا يوجد عمل خارجي، نقيس التوتر الفاعل الناتج ضمن العضلة، الأفضل للمقارنة بين العضلات
- التقلص أسوي التوتر isotonic:

يقصر طول العضلة مع إنتاج عمل خارجي (رفع ثقل) و يبقى التوتر ثابتا، يرتبط بالحمل المعاكس



عمل العضلة

- يقاس بما تنجزه من عمل خارجي (التقلص أسوي التوتر) أو بالتوتر الفاعل داخل العضلة (التقلص أسوي المقاس)، و يختلف من عضلة لأخرى
- يحتاج طاقة تأتي من ال ATP
- مخزون ال ATP ينفد خلال ١-٢ ثا
- تحول الطاقة إلى جزيئات ال ATP باستمرار من مصادر الطاقة في العضلة

مصادر الطاقة العضلية

١- فوسفوكرياتين: المصدرالأول، مركب عالي الطاقة يعطي عند تحلله ATP + كرياتينين و لكن لا يكفي مع الATP المخزون إلا ل ٧- ٨ ثا

٢- غليكوجين:مخزن مهم للطاقة، يستخدم لإنتاج الATP و إعادة تركيب الفسفوكرياتينين، يمتاز:

- استقلاب لاتأكسدي :حتى دون وجود O_2
- سرعة إنتاج الATP في الاستقلاب اللاتأكسدي (أسرع ب ٢٠ مرة من الاستقلاب التأكسدي للطعام

لكنه: - يعطي منتجات استقلابية مؤذية (حمض اللاكتيك) في الاستقلاب اللاتأكسدي

- ينفد خلال ١ دقيقة من العمل

مصادر الطاقة العضلية

٣- الاستقلاب التأكسدي (بوجود O_2) للطعام المخزون:
يؤمن ٩٥% من الطاقة لاسيما في الأعمال المديدة، تأتي الطاقة من استقلاب السكر (سريع و لكنه سريع النفاد) و الدسم (على المدى الطويل) و البروتين (قليل، في المخمصة)

- تستعمل الطاقة : لتفاعل الأكتين و الميوزين (الأهم)

  مضخة Na^+/K^+، مضخة Ca^{++}

  فك الجسور المعترضة بين الأكتين و الميوزين

- أثناء الوفاة: نفاد الATP ← بقاء هذه الجسور ← صمل الوفاة حتى تتحلل البروتينات العضلية (خلال ١٥-٢٥سا)

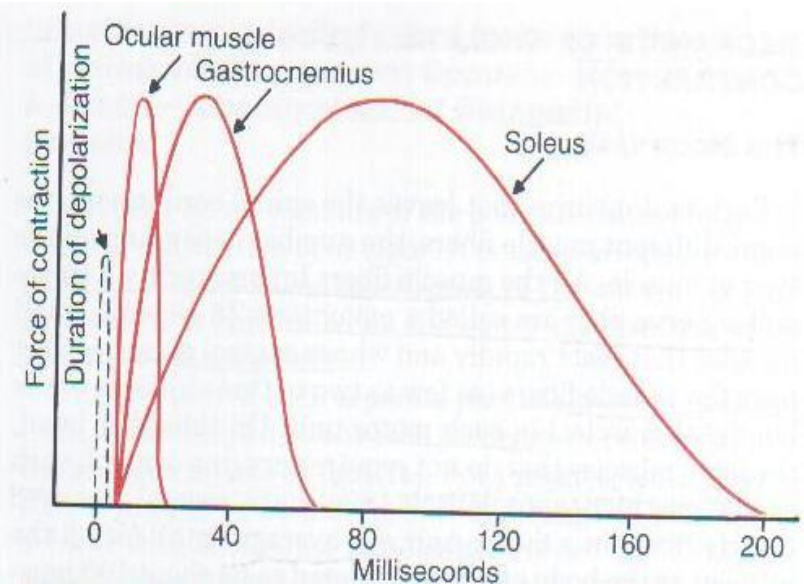
المردود الميكانيكي للعضلة

- نسبة مدخول الطاقة المنتج لعمل و ليس لحرارة
- المردود الميكانيكي للعضلة = ٢٥%: نصف طاقة الطعام تنتج ATP، و نحو ٤٠-٤٥% من طاقة الATP تستخدم في التقلص
- المردود الأعظمي عند السرعات المتوسطة للتقلص (٣٠% من السرعة العظمى)

- أثناء الراحة أو التقلص شديد البطء: الطاقة تستخدم في الاستقلاب
- أثناء التقلص الأعظمي: قسم من الطاقة يهدر بالاحتكاك

النفضة العضلية

- النفضة العضلية: استجابة العضلة للتنبيه (تيار مباشر للعضلة أو تنبيه عصب العضلة) ← تقلص يليه استرخاء، و تختلف المدة حسب العضلة
- تتلاءم المدة مع وظيفة العضلة

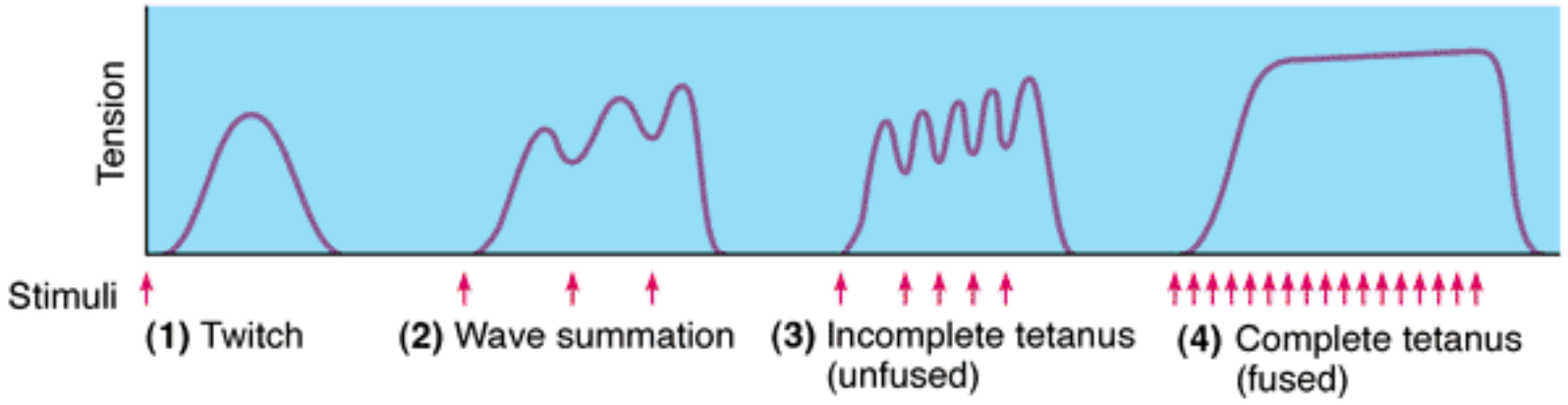


- العينية: سريعة جدا لتثبيت العين
- عضلة الساق: الركض و القفز
- النعلية: بطيئة، تؤمن الدعم المستدام للجسم ضد الجاذبية

- تختلف حسب الألياف العضلية الموجودة

أنواع التقلص العضلي

١. النفضة العضلية: استجابة العضلة للتنبيه (إزالة الاستقطاب)، تقلص يليه استرخاء، و تختلف المدة حسب العضلة
٢. دمج التقلصات: تنبيه قبل نهاية الاسترخاء تتقلص العضلة من جديد و تندمج النفضة مع سابقتها
٣. التكزز الناقص: ازدياد تواتر التنبيه ← ↑ التقلص و القوة العضلية
٤. التكزز التام: تقلص دون استرخاء، ينتج عن تراكم Ca^{++} داخل الليف العضلي لعدم توفر الوقت لمضخة الكالسيوم لإخراجها



أنواع الألياف العضلية

- ألياف سريعة قوية: الليف العضلي ضخم، و الشبكة السيتوبلاسمية متطورة لنقل كمون العمل بشكل سريع، تحوي الكثير من الإنظيمات المدركة للسكر ،القليل من الأوعية الدموية و المتقدرات لقلة أهمية الاستقلاب التأكسدي، فهي متلائمة مع التقلص السريع و القوي لكنه غير مديد (القفز)
- ألياف بطيئة: صغيرة، معصبة بأعصاب صغيرة، تحوي الكثير من الميوغلوبين (يخزن O_2) و المتقدرات و التروية الدموية لاعتمادها على الاستقلاب التأكسدي، فهي متلائمة مع التقلص البطيء لكنه مديد (الرياضات الطويلة)