قسم فسيولوجيا الجهد البدني
كلية علوم الرياضة والنشاط البدني – جامعة الملك سعود

الجهاز العضلي الهيكلي

وظائف أعضاء الجهد البدني – 221 فجب

د عبدالعزيز الدايل و د شايع القحطاني

محتويات الدرس : الجهاز العضلي الهيكلي

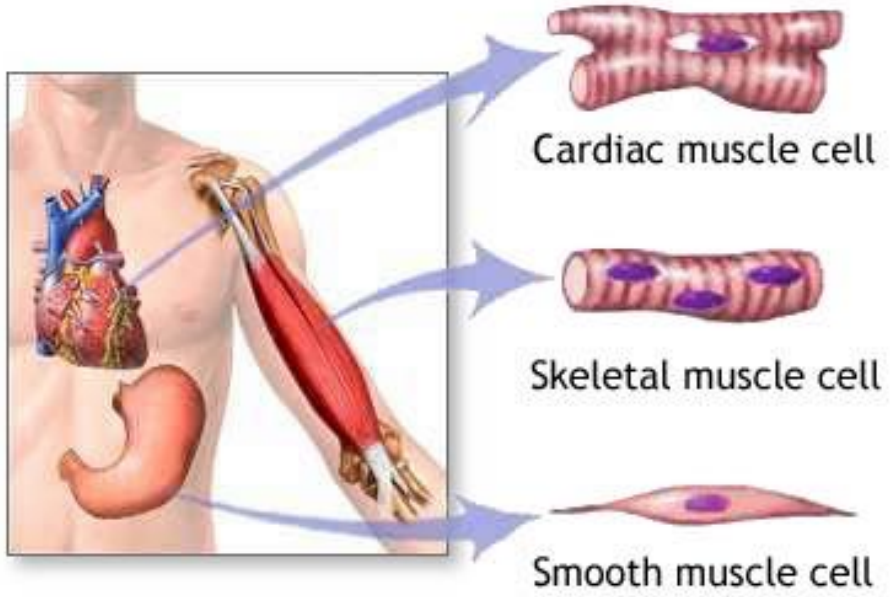
ينبغي مع نهاية هذا الدرس أن تكون قادراً للإجابة على الأسئلة التالية:

- صفات العضلات :
  - ما هي خصائص العضلات ؟
  - ما هي أنواع العضلات ؟
  - ما هي أشكال العضلات ؟
- تركيب العضلة :
  - ما هي المكونات الرئيسية لتركيب العضلة ؟
  - ما هي المكونات الرئيسية لتركيب الليفه ؟
  - ماذا تعني الشبكة الساركوبلازمية؟
- الإنقباض العضلي :
  - ما هي مراحل وخطوات الإنقباض العضلي ؟
  - ماذا يعني استقطاب الخلية العضلية ؟
  - ماذا يعني قانون الكل أو عدمه ؟
- علاقة القوة العضلية بالانقباض العضلي :
  - ما هي أنواع الإنقباض العضلي ؟
  - ما هي العوامل المؤثرة على القوة العضلية ؟
  - ما هي علاقة القوة العضلية بزاوية انقباض العضلة ؟
  - نظرة عن تسجيل النشاط الكهربائي للعضلة .
- الألياف العضلية والتدريب البدني :
  - ما هي أنواع الألياف العضلية ؟
  - ما هي العوامل المؤثرة على قوة العضلات ؟
  - كيف يحدث التعب العضلي أثناء التدريب ؟

خصائص العضلات

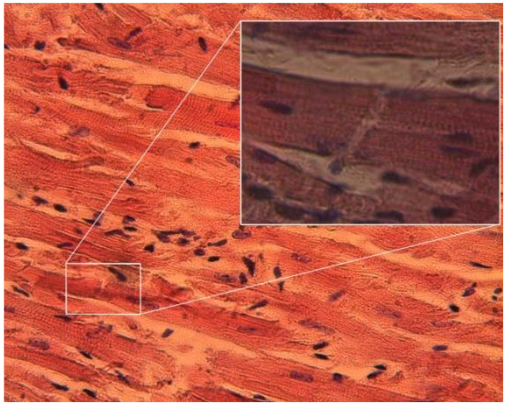
- التهيج (**Irritability**): قدرة العضلات على تلقي المحفزات و الاستجابة لها
- الانقباض (**Contractility**): قدرة العضلات على الاستجابة للتحفيز عن طريق عمل عضلي
- التمدد (**Extensibility**): قدرة العضلات على التمدد والاستطالة
- المرونة (**Elasticity**): قدرة العضلات على العودة إلى طوها الطبيعي بعد التمدد

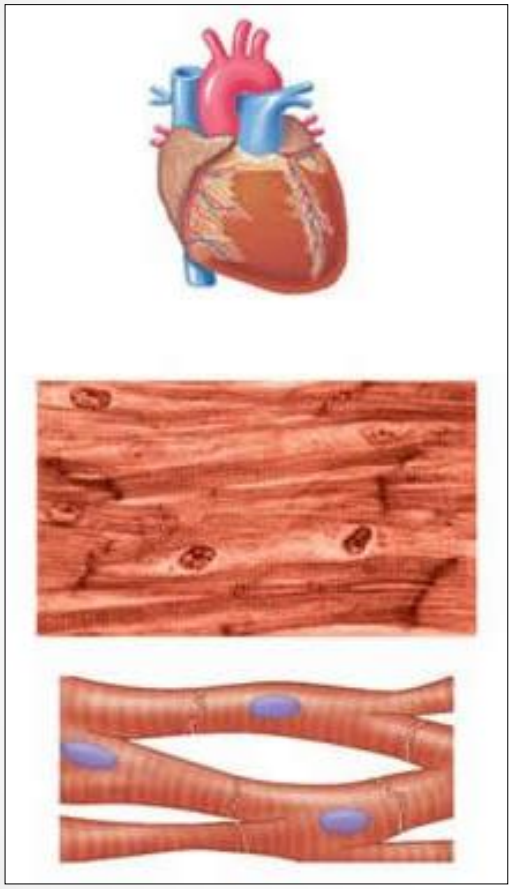
أنواع العضلات



1. العضلات القلبية
2. العضلات الملساء
3. العضلات الهيكلية

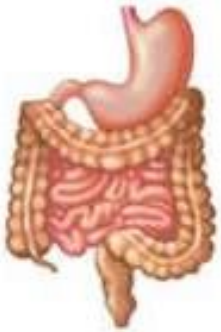
العضلات القلبية

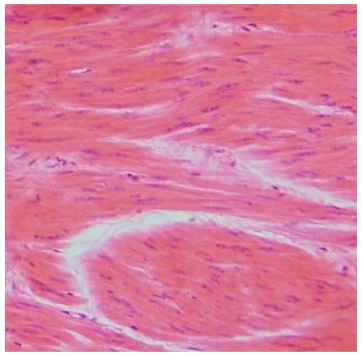


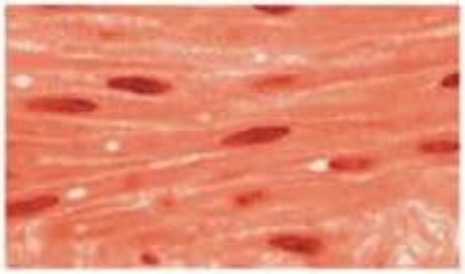


- وحيدة نواة
- مخططة
- لا إرادية
- لا تتطلب تحفيز من الجهاز العصبي لكي تنقبض (ذاتية الإيقاع)
- أسطوانية الشكل وأليافها متفرعة ومتصلة من خلال أقراص مدمجة مما يسمح بمرور النشاط الكهربائي في جميع أنحاء العضلات
- تسترخي بعد كل انقباض لتتجنب التعب

العضلات الملساء أو الناعمة أو الحشوية

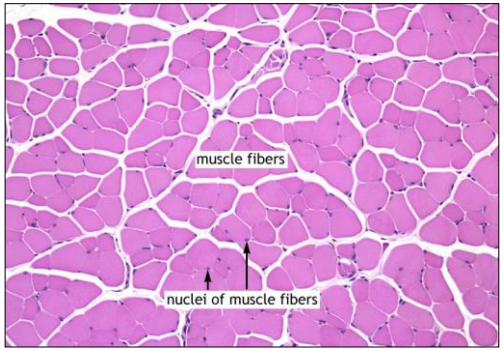




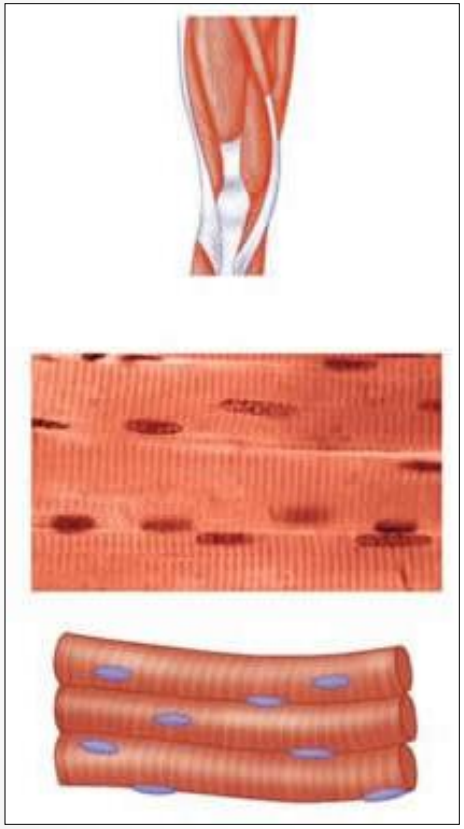


- وحيد نواة
- غير مخططة
- لا إرادية
- خلايا مغزلية الشكل ، وعادة ما توجد في خطوط متوازية تشكل صفائح
- توجد في تجويف جدران الأوعية الدموية وأجهزة الجسم المختلفة
- إنقباضاتها بطيئة (بطيئة الخلجة) لكن تحملها عالي (مقاومة للتعب)

العضلات الهيكلية



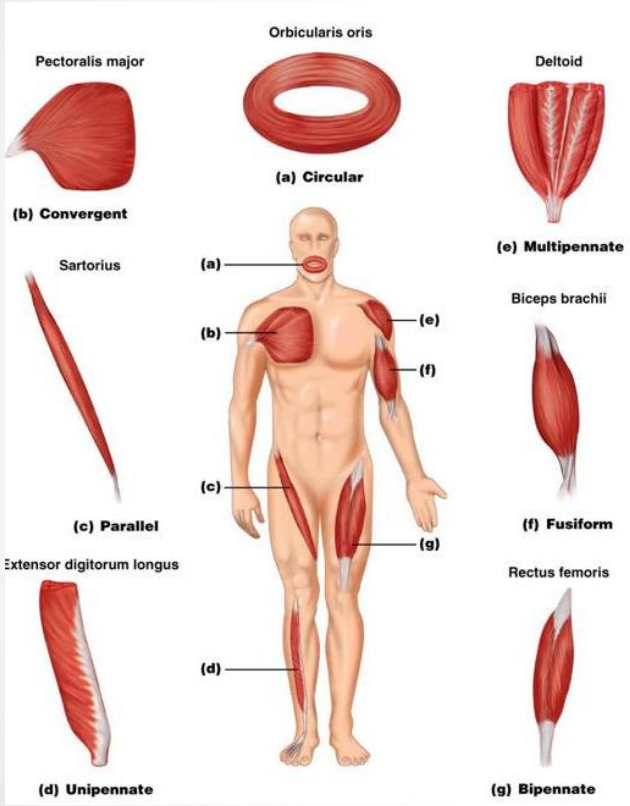
- متعددة النوى
- مخططة
- إرادية
- أليافها اسطوانية الشكل وطويلة تمتد على طول العضلة
- تستطيع إجراء عدة إنقباضات بدون إسترخاء مما يزيد فرص التعب العضلي



العضلات الهيكيلة

- يوجد في جسم الإنسان 660 عضلة هيكلية
- تشكل ما يقرب من 45% من وزن الجسم
- تعتبر ناقل ومخزن ومستهلك رئيس للطاقة
- مثبت للمفاصل وداعم لقوام الجسم من خلال الأوتار والأربطة
- عضو أساسي في الحركة
- تتكون العضلة تقريبا من 75% ماء و 20% بروتين و 5% أملاح غير عضوية.

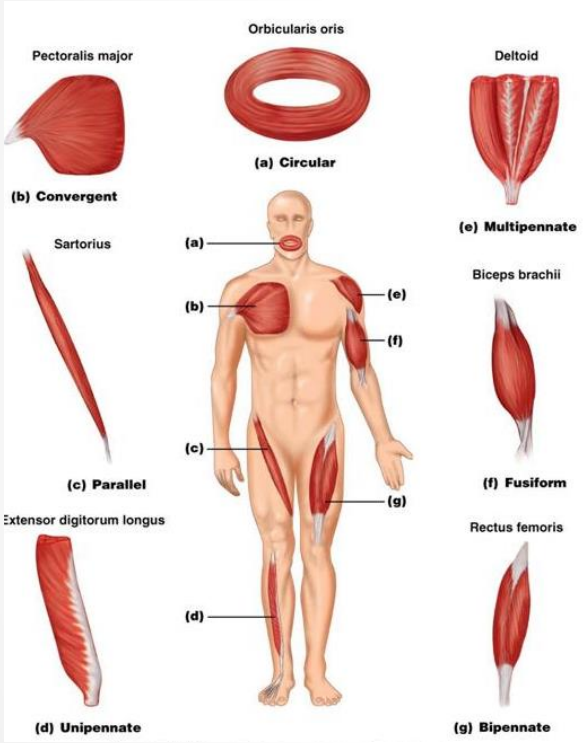
أشكال العضلات الهيكلية



- الدائرية
  - تظهر في شكل دائري وعادة ما تكون العضلات العاصرة التي تحيط بفتحة مثل الفم
- المتقاربة أو الثلاثية
  - يكون منشأها اوسع من مدغمها مما يسمح لها بإنتاج أقصى قوة ممكنة (عضلات الصدر)
- المتوازية
  - تعمل بشكل متوازي، ليست قوية لكن تحملها عالي (الخياطية – الترقوية)

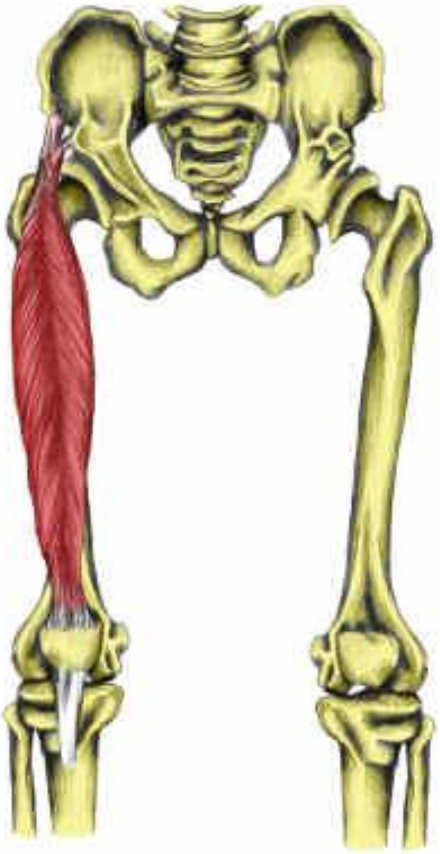
اشكال العضلات الهيكلية

- الريشية: (أحادية وثنائية ومتعددة الأوتار)
  - لديها عدد كبير من الألياف العضلية لكل وحدة. تنتج قوة كبيرة لكن تتعب بسهولة (الرسغ والفخذية المستقيمة والدالية)
- المغزلية:
  - تأخذ شكل مغزلي بحيث يكون بطن العضلة أعرض من أطرافها (العضدية ذات الرأسين)

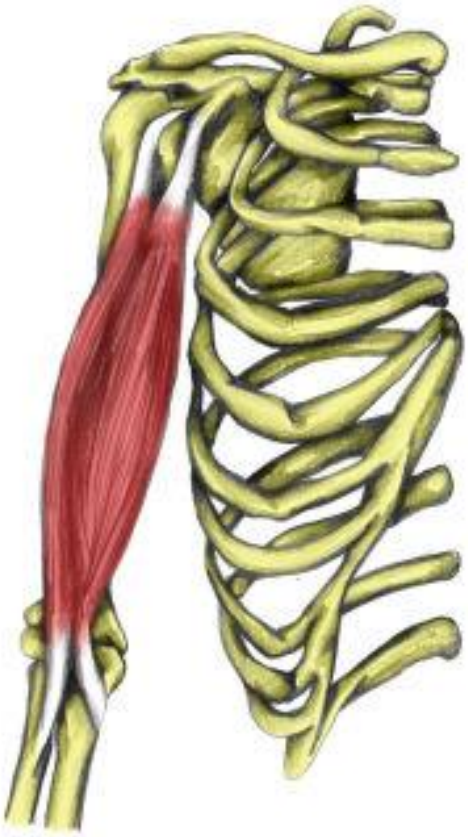


متقاربة: منشأها اوسع من مدغمها مما يسمح لها بإنتاج أقصى قوة ممكنة

المتوازية: تعمل بشكل متوازي، ليست قوية لكن تحملها عالي (الخياطية ، الترقوية)

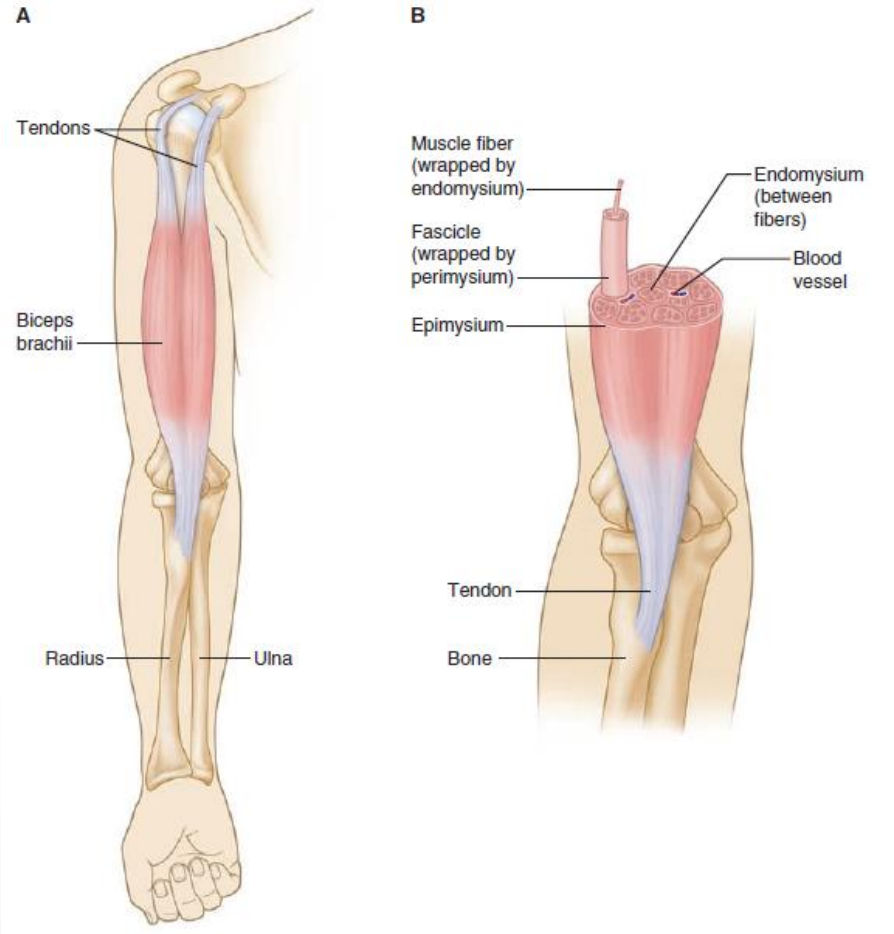


الريشية (ثنائية الأوتار): لديها عدد كبير من الألياف العضلية لكل وحدة. تنتج قوة كبيرة لكن تتعب بسهولة (الرسغ والفخذية المستقيمة والدالية)

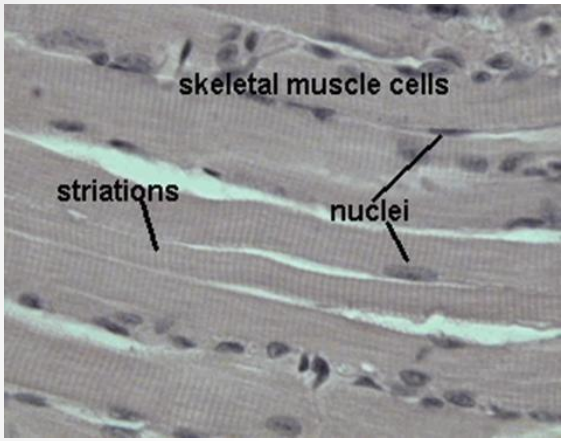


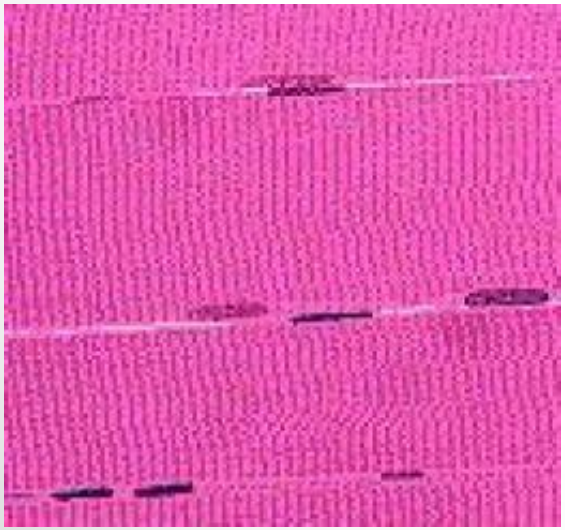
المغزلية: تأخذ شكل مغزلي بحيث يكون بطن العضلة أعرض من اطرافها (العضدية ذات الرأسين)

تركيب العضلة الهيكلية



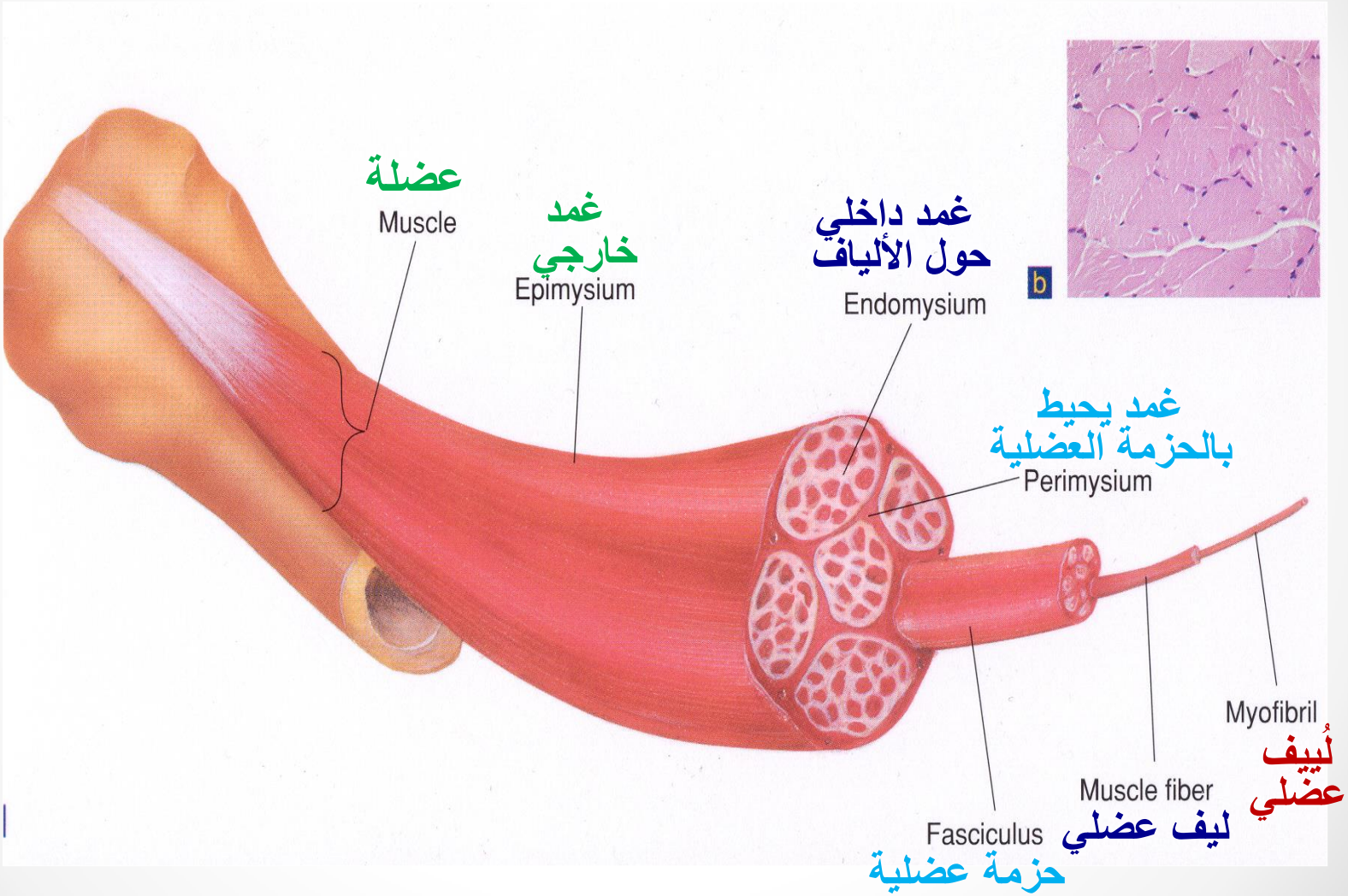
المكونات الرئيسة للخلية العضلية





- النواة: مركز التحكم في الخلية
- الغمد الليفي العضلي: استقبال المثيرات من الجهاز العصبي
- الليفة العضلية: يحتوي على الخيوط البروتينية المسؤولة عن الانقباض العضلي
- أنابيب T: نشر الاستقطاب من غشاء الخلية إلى داخل الخلية والتي تحفز الشبكة الساركوبلازمية على إفراز الكالسيوم
- الشبكة الساركوبلازمية: تخزين وإفراز الكالسيوم
- الميتوكوندريا: المكان الرئيس لإنتاج الطاقة

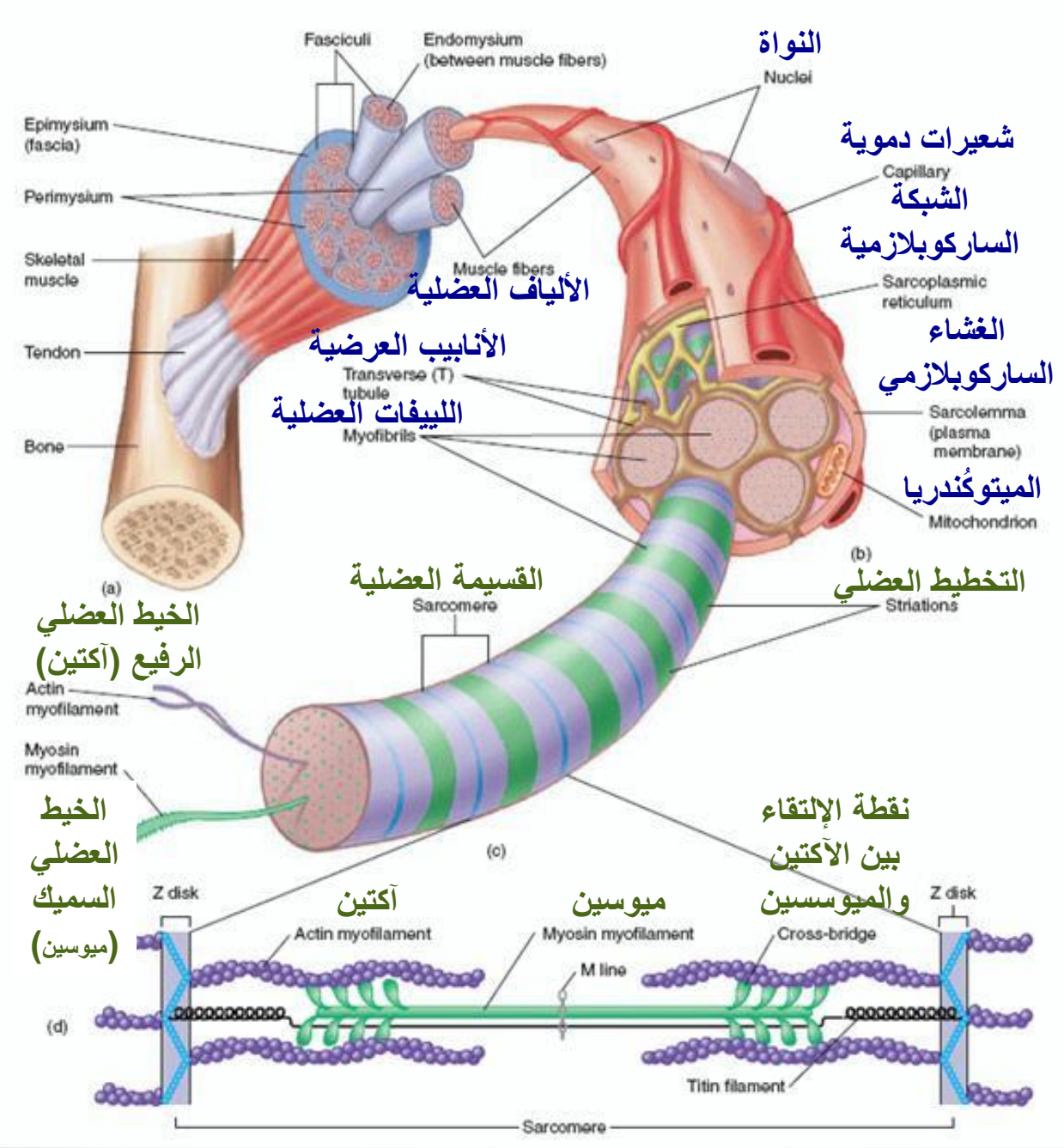
تركيب العضلة



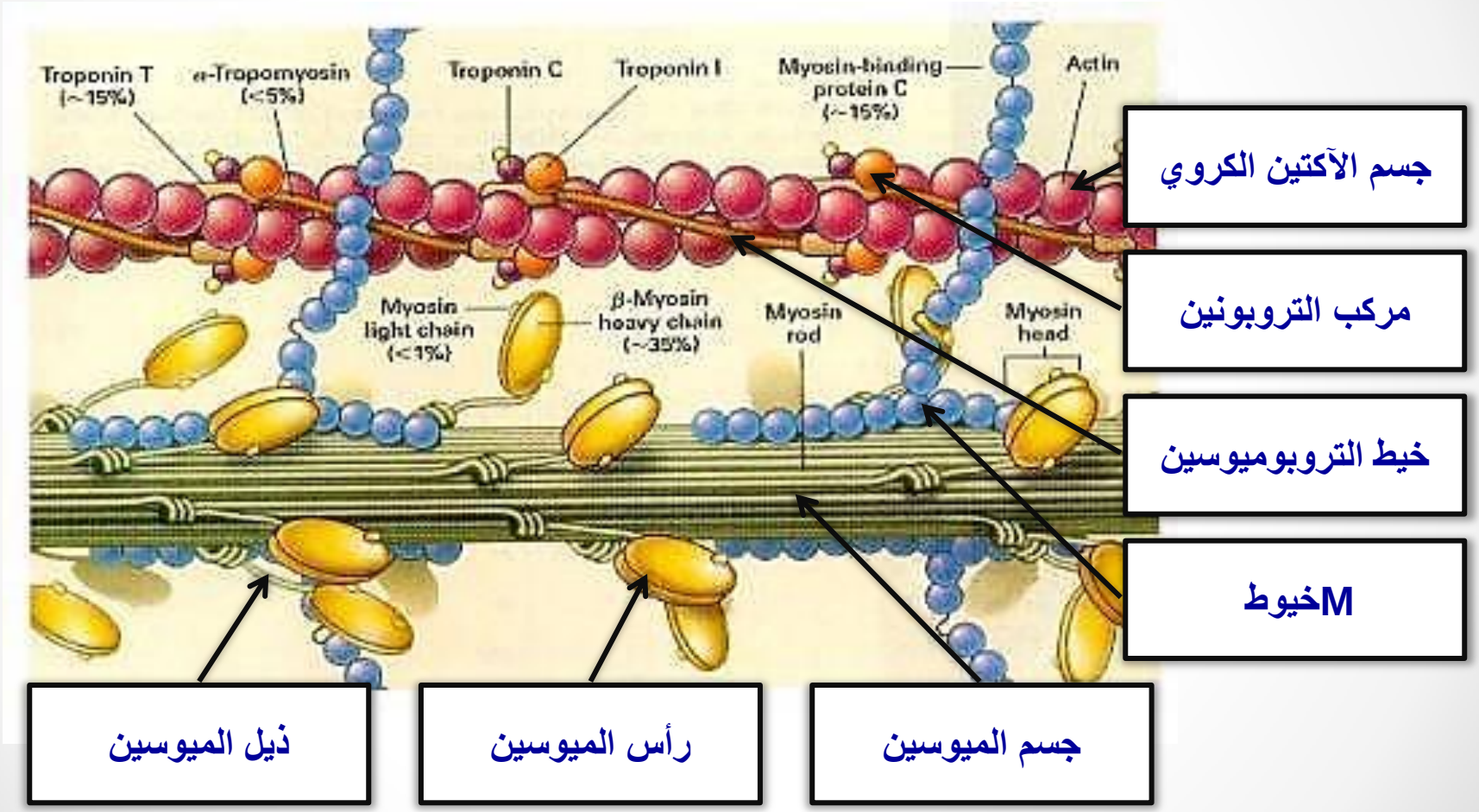
تركيب العضلة :

- الغمد الخارجي المحيط بالضعلة
- العضلة
- غمد يحيط بالحزمة العضلية
- حزمة عضلية
- غمد داخلي يحيط بالألياف العضلية
- ألياف عضلية
- ليفات عضلية

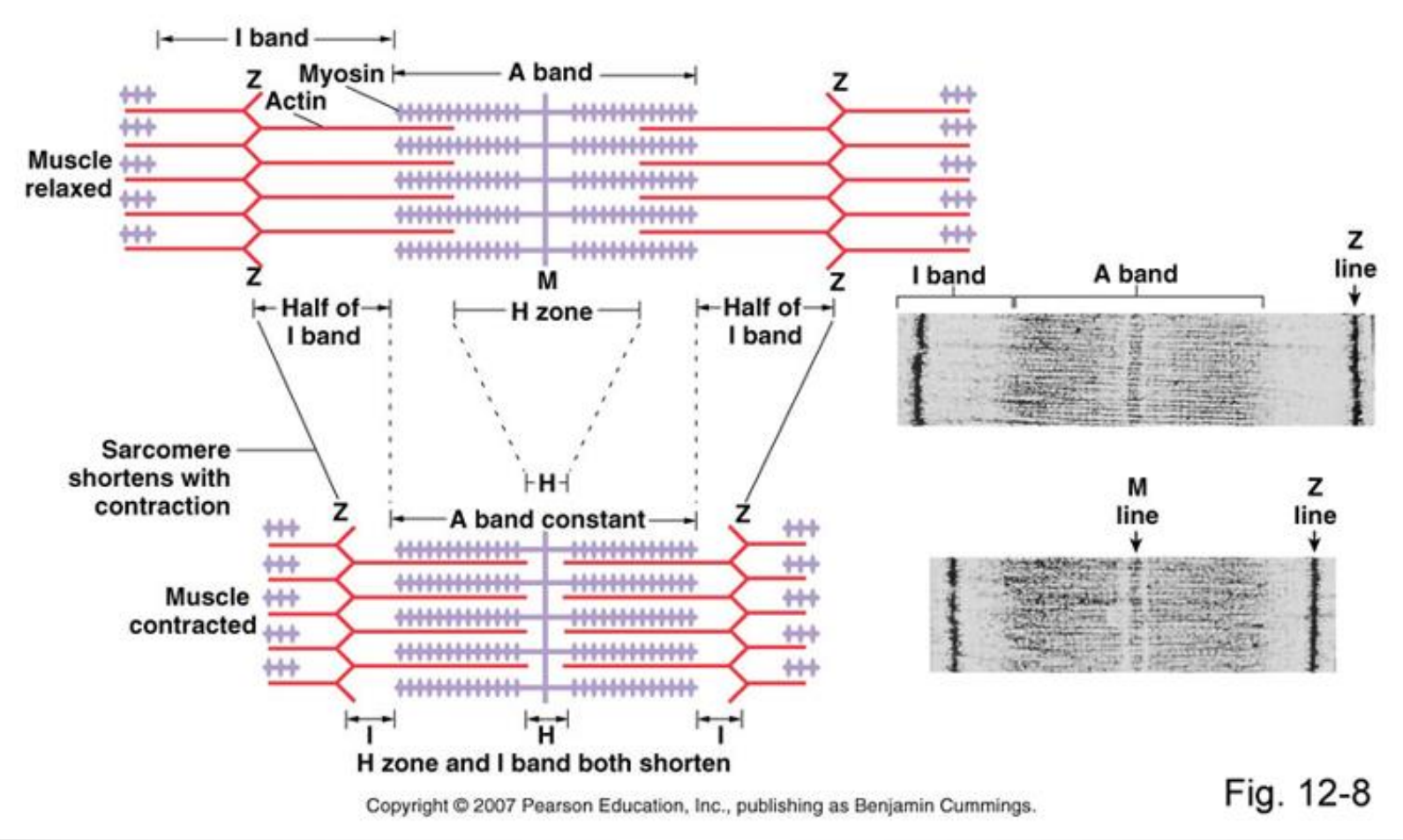
تركيب الليفة العضلية



تركيب الآكتين والميوسين



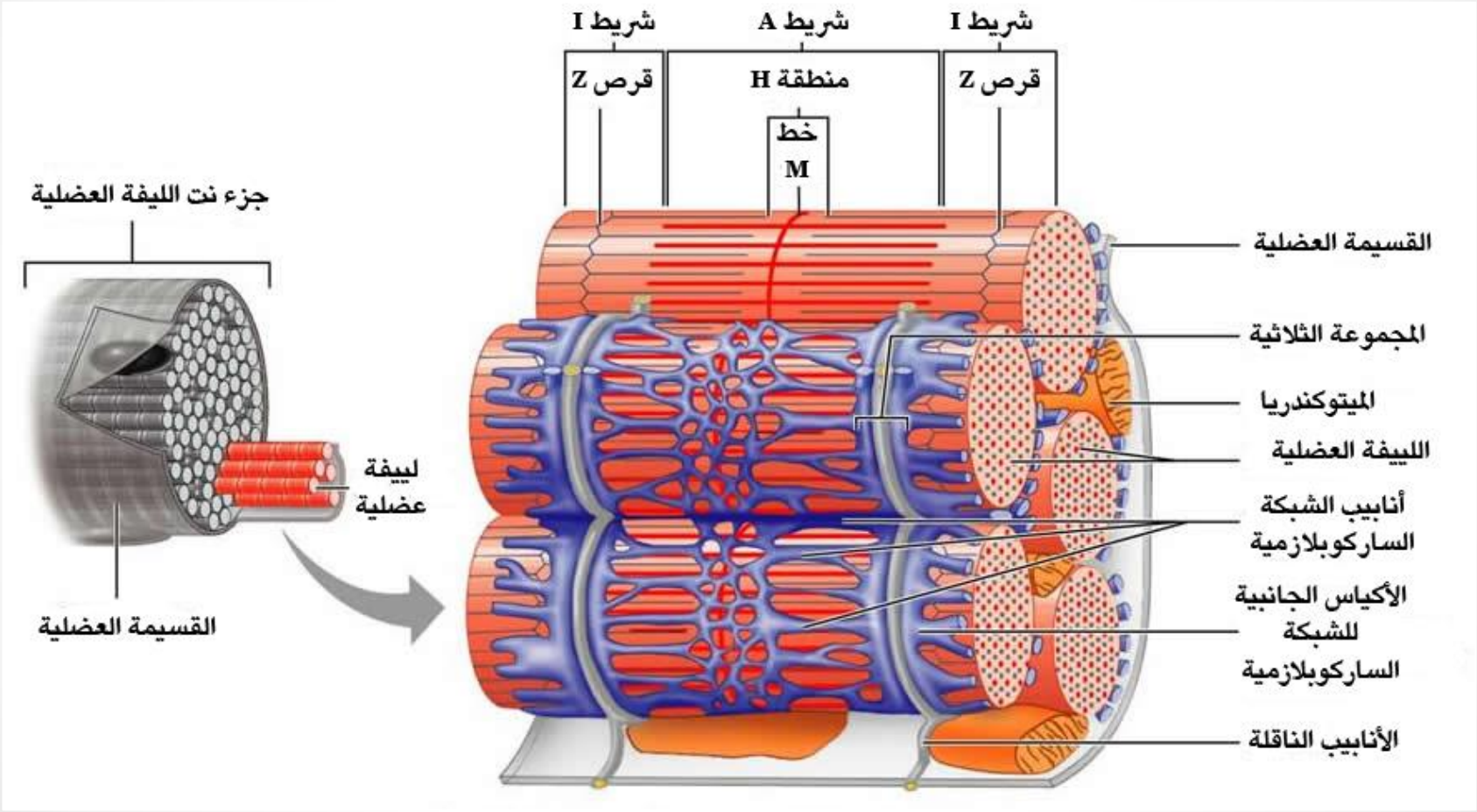
تغير حجم المناطق داخل القسيمة العضلية



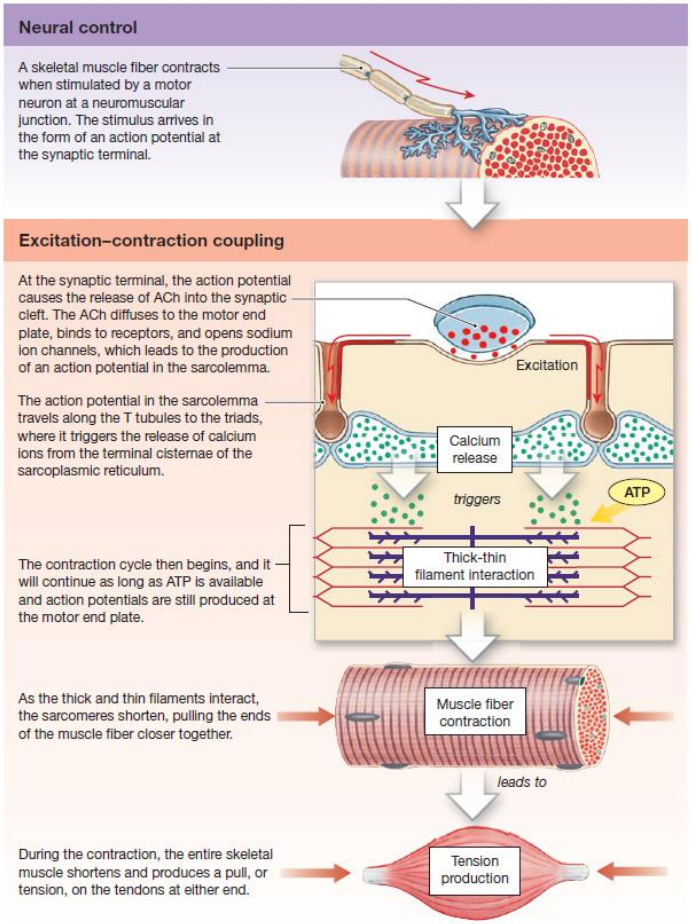
Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Fig. 12-8

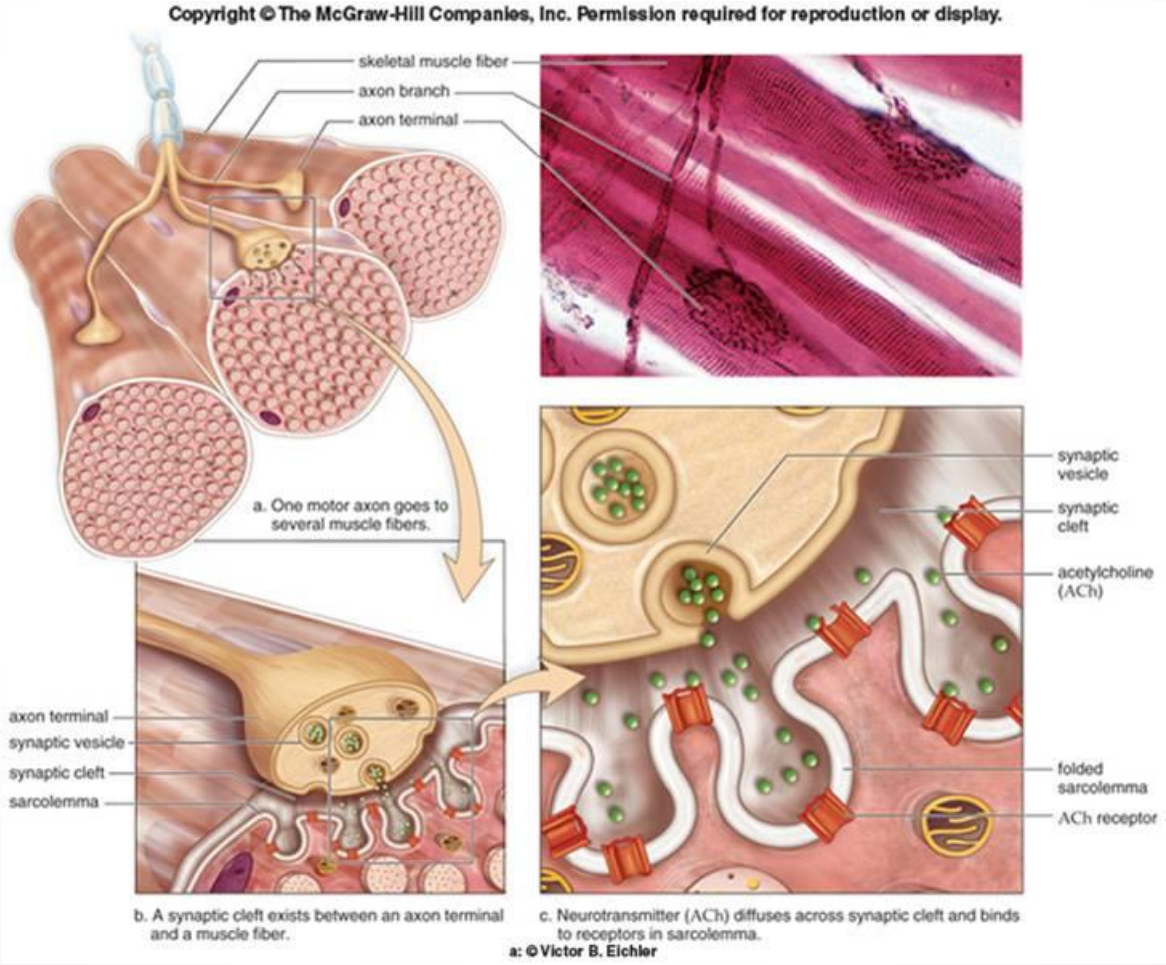
الشبكة الساركوبلازمية



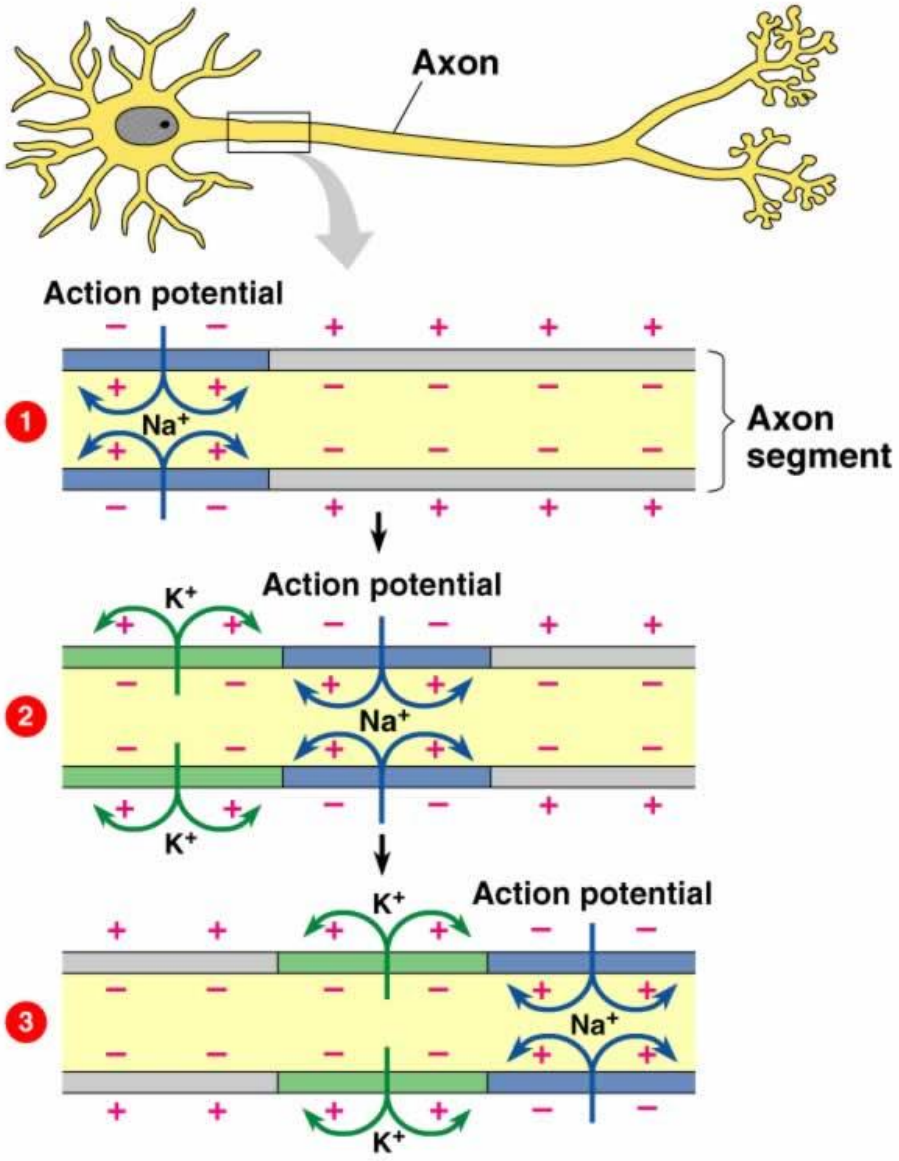
الإنقباض العضلي



نقطة الاتصال العصبي العضلي

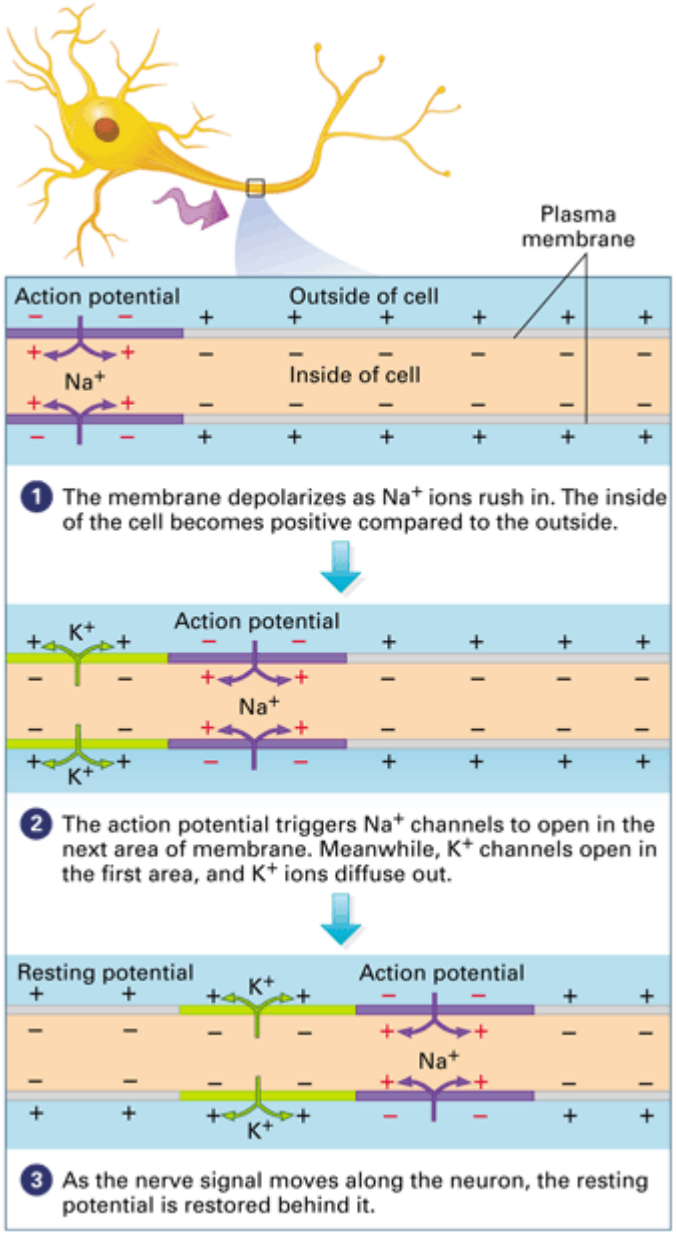


استقطاب الخلية



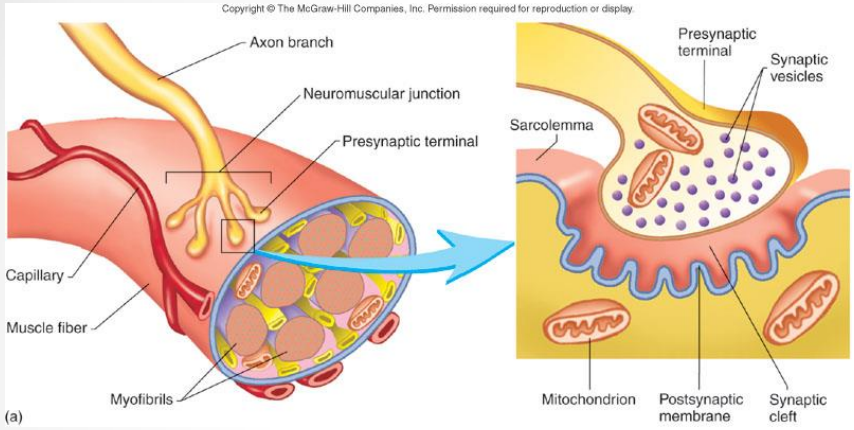
- الخلية في حالة استقطاب يعنى أن الأيونات السالبة تتركز داخل الغشاء الخلوي مقارنة بخارجها (بما يقارب 65 - 85 ميللي فولت بالسالب)، وينشأ هذا الاستقطاب عن طريق تحريك الأيونات عبر الغشاء الخلوي بإخراج أيونات البوتاسيوم (الموجبة) إلى خارج الخلية للحفاظ على تركيز أيوني سالب داخل الخلية. يمثل هذا الوضع الراحة في الخلية، وتكون مستعدة لاستقبال المحفز بشرط أن يجتاز عتبة ما تُدعى بعَتَبَة التحفيز

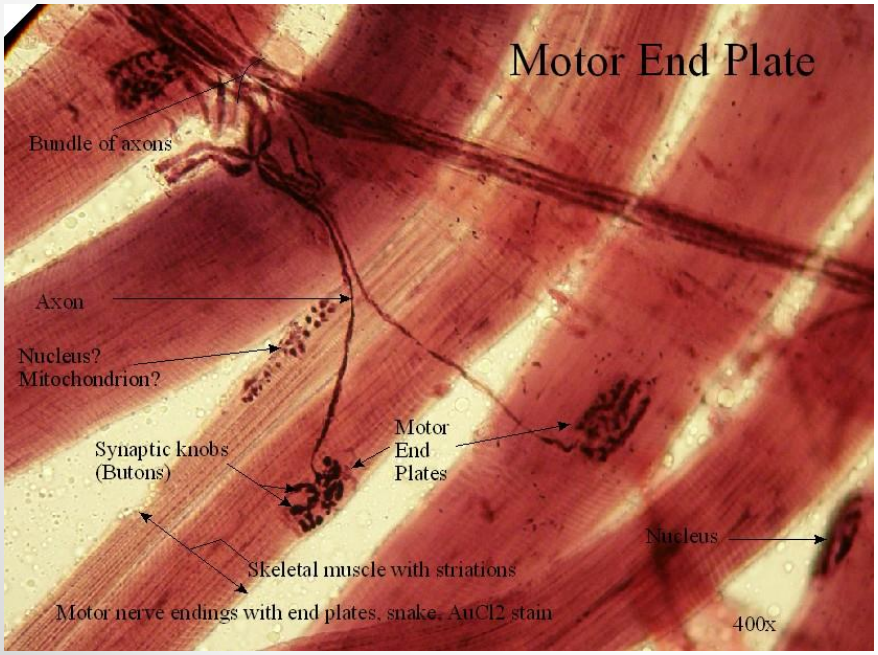
استقطاب الخلية (تابع)



- عند وصول المحفز وتجاوزه عتبة التحفيز فإن قنوات الصوديوم تفتح فاسحة المجال لحدوث إزالة الاستقطاب بدخول أيونات الصوديم إلى داخل الخلية والتي تتمثل في تغيير مقدار جهد الغشاء الخلوي إلى ما يقرب +40 ميللي فولت داخل الخلية وهذا يسمح بإنتقال السيال للمنطقة المجاورة
- يعود الإستقطاب عندما يزول المحفز أو يقل عن عتبة التحفيز وعندها تُغلق قنوات الصوديوم وتفتح قنوات البوتاسيوم لتضخ الأيونات الموجبة خارج الخلية من أجل عودة الإستقطاب

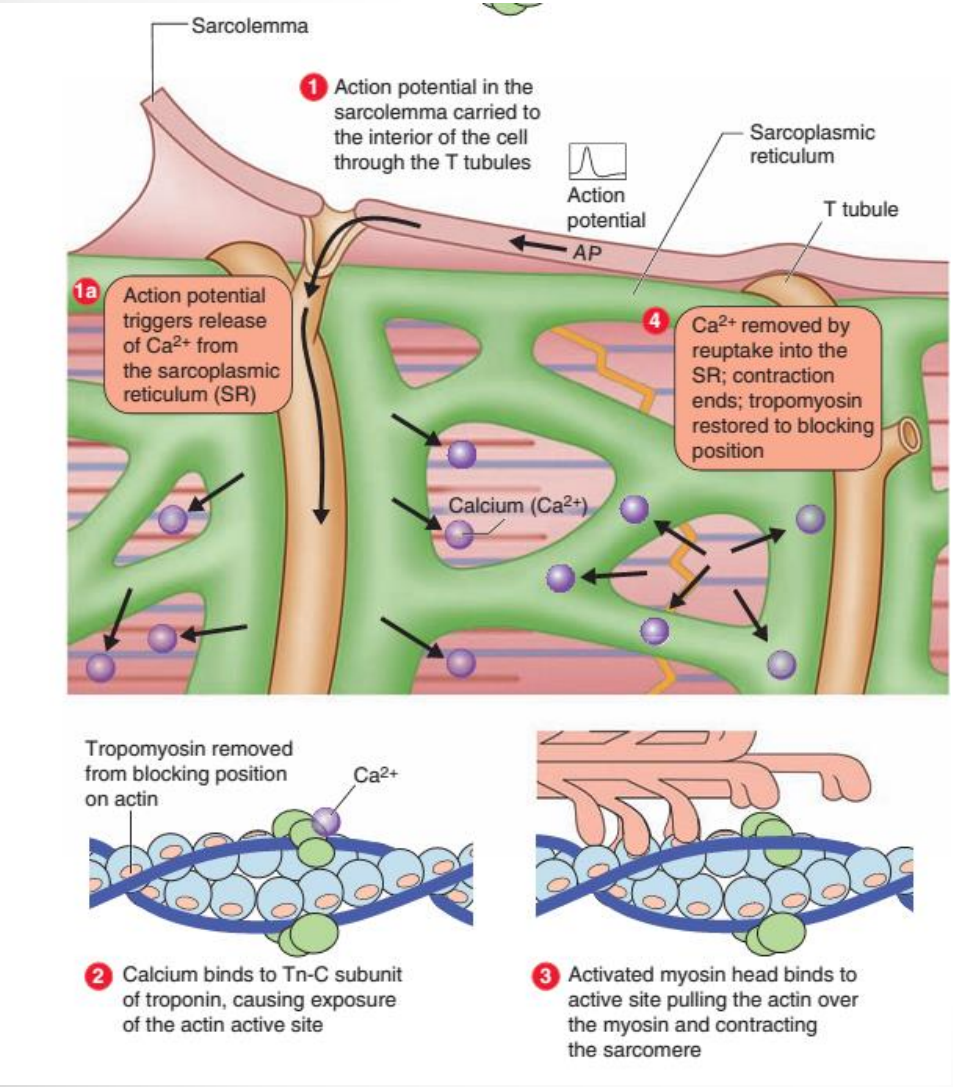
خطوات الإنقباض العضلي 1





- عند وصول السيال العصبي، تطلق النهاية العصبية للعصب الحركي مادة كميائية تسمى أستيل كولين Acetylcholine في منطقة الإلتقاء العصبي العضلي من الحويصلات المشبكية
- تشتبك مادة الأستيل كولين في مستقبلات عصبية في الغشاء الساركوبلازمي المحيط بالليفة العضلية من إجل إحداث زوال استقطاب في الغشاء عن طريق فتح قنوات الصوديوم لدخول ايونات الصوديوم

خطوات الإنقباض العضلي 2



يمتد زوال الاستقطاب على طول غشاء

الليفة العضلية حتى يصل للأنابيب

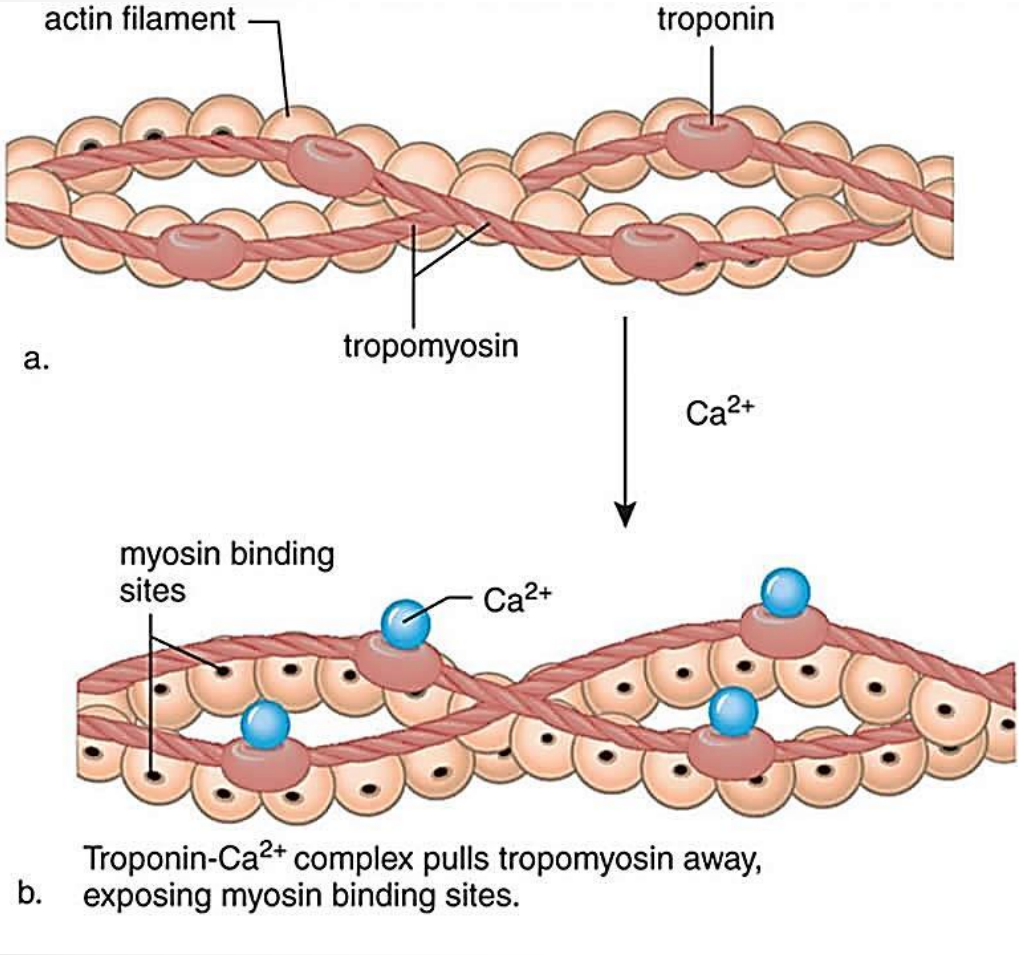
الناقلة والتي من خلالها تستحث

الأكياس الجانبية للشبكة

الساركوبلازمية لإطلاق ايونات

الكالسيوم C++ داخل القسيمة العضلية

خطوات الإنقباض العضلي 3



في وجود تركيز عالي من

ايونات الكالسيوم تنجذب

ايونات الكالسيوم إلى

مستقبلات محددة من التربونين

وتغيير شكله مما يؤدي إلى

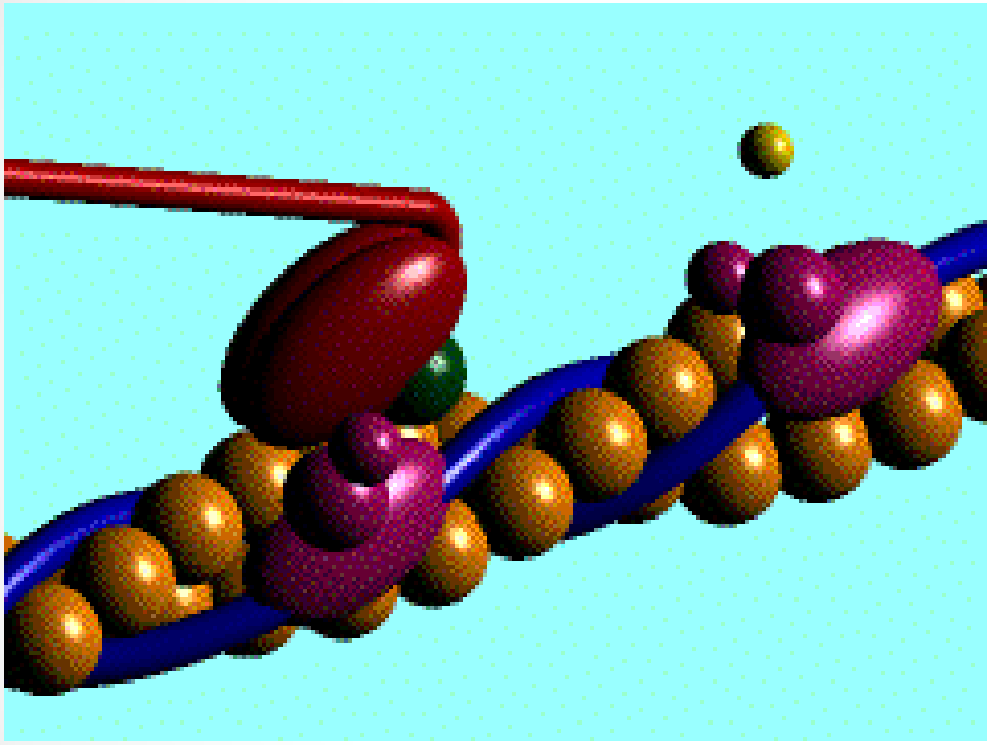
تحرك التروبوميوزين لتظهر

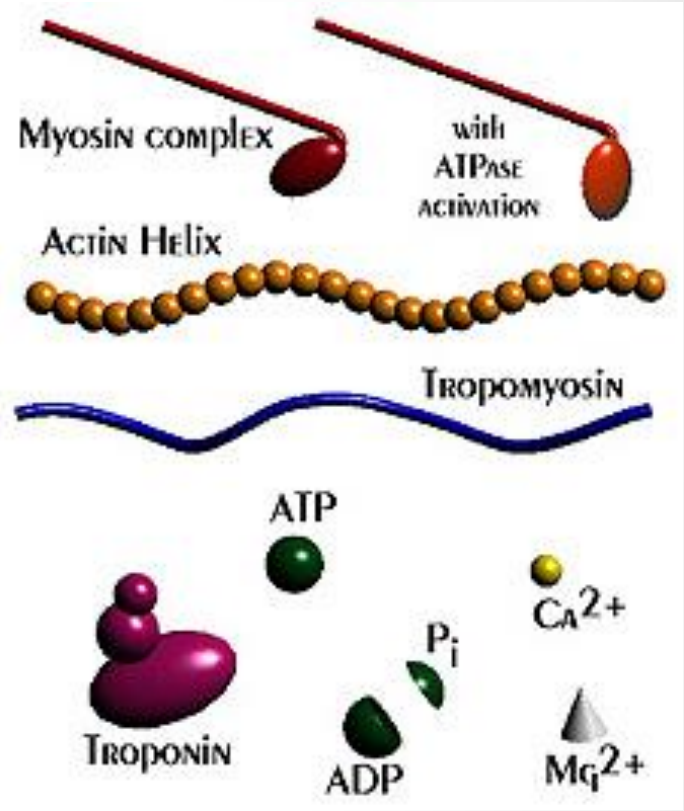
مواقع إلتقاء الميوزين بالأكتين

خطوات الإنقباض العضلي 4

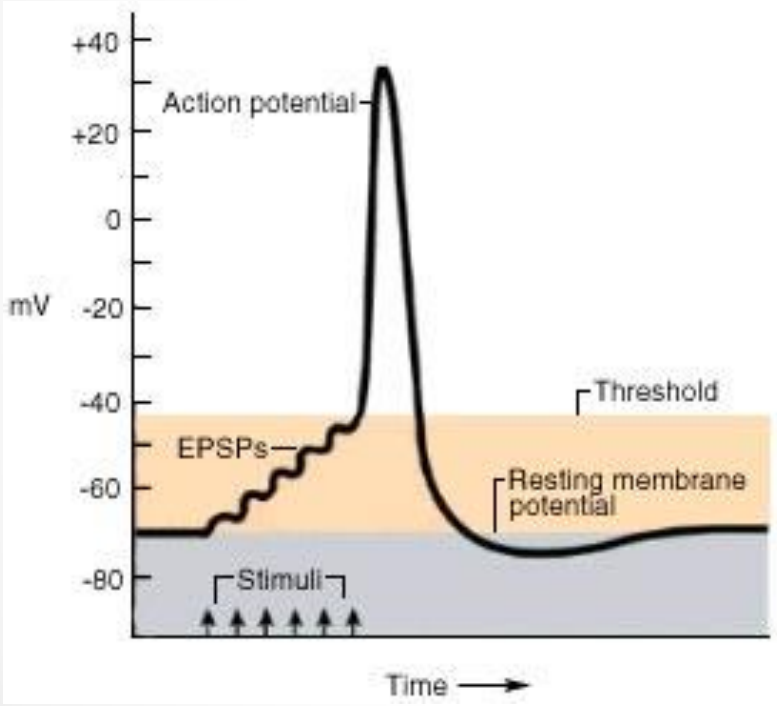
- تَحرر مركب الطاقة ATP الموجود على رأس الميوزين يؤدي إلى إلتصاق رأس الميوزين بمواقع إلتقائه بالآكتين وتحركه لسحب الآكتين للداخل بإتجاه خط M وهذا يتشكل جسور متقاطعة بين الآكتين والميوزين ويحدث ما يعرف بنظرية انزلاق الخيوط العضلية

- ينفصل رأس الميوزين عن مواقع إلتقائه في جسم الآكتين (بوجود مركب الطاقة ADP) ليلتصق مرة آخرى بموقع آخر من الآكتين وتستمر العملية مع وجود تركيز عالي من ايونات الكالسيوم وتوفر الطاقة اللازمة لإلتصاق وانفصال الميوزين بالاكتين




Myosin complex
with
ATPase
activation
Actin Helix
Tropomyosin
ATP
Troponin
ADP
Pi
Ca2+
Mg2+

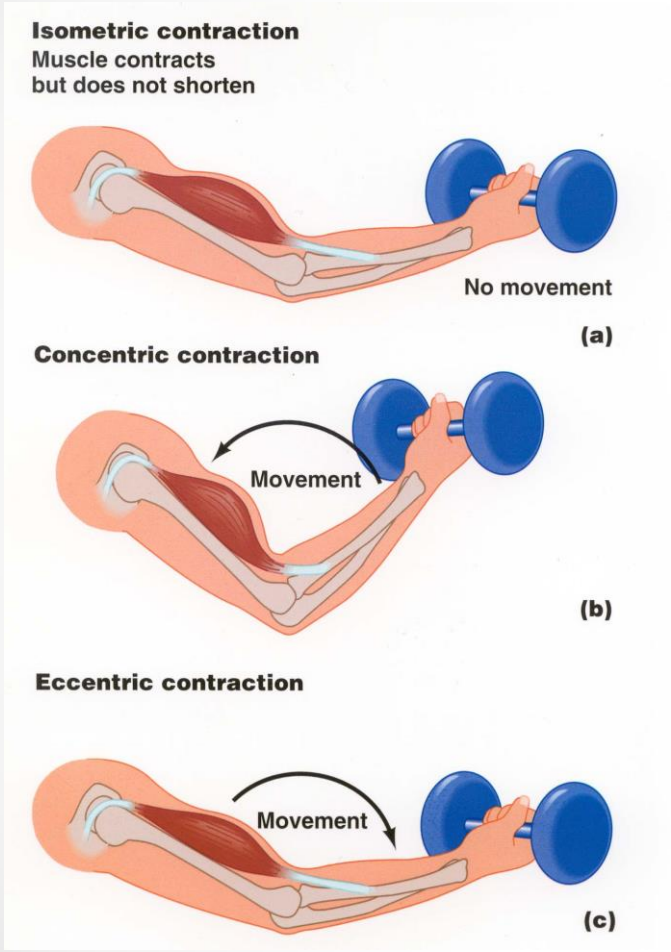
All or none Law قانون الكل أو عدمه



- الليفة العضلي إما ان تنقبض كليا (كامل الليفة) أو لا تنقبض
- عندما ينتقل فرق الجهد داخل الخلية العضلية فإنها تنقبض بكامل قوتها
- عندما يتحفز العصب الحركي فإن جميع الالياف العضلية المتصلة به تنقبض
- تعتمد القوة العضلية الناتجة من أي تحفيز على عدد الوحدات الحركية المشتركة في الانقباض

مفاهيم تطبيقية حول علاقة القوة العضلية والانقباض العضلي

أنواع الإنقباض العضلي



- ثابت (متساوي الطول)
  - يحدث توتر أثناء الإنقباض لكن لا يتغير طول العضلة (مثال دفع الحائط)
- متحرك (متساوي التوتر)
  - يحدث توتر أثناء الإنقباض وتغير في طول العضلة سواء بالتمدد (لا متراكز) أو التقلص (متراكز)
- متحرك بسرعة ثابته (متساوي السرعة)
  - نفس الإنقباض المتحرك ولكن بسرعة ثابته. يؤدى عادة على أجهزة مخصصة

مقارنة بين انواع الانقباض العضلي

نوع الانقباض	الحركة الناتجة من الإنقباض	التغير في طول العضلة
الإنقباض الثابت	لا يحدث حركة	لا يتغير طول العضلة
الإنقباض المتحرك ويشمل 1. التراكزي (تقلص) 2. اللاتراكزي (تمدد)	يحدث حركة 1. بإتجاه الداخل إلى مركز المفصل 2. بإتجاه الخارج بعيدا عن مركز المفصل	يحدث تغير في طول العضلة 1. تقصر العضلة (تتقلص) 2. تطول العضلة (تتمدد)
الإنقباض المتحرك بسرعة ثابتة	تحدث حركة بسرحة ثابتة حسب نوع الإنقباض	يحدث تغيير في طول العضلة

العوامل المؤثرة على قوة العضلات

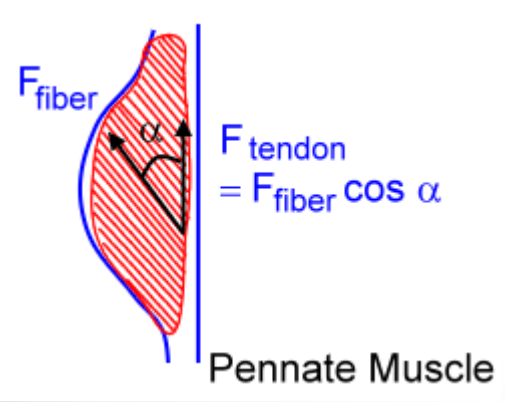
1. عوامل فسيولوجية

1. عدد الوحدات الحركية
2. نمط التنشيط للوحدات الحركية (متزامن وغير متزامن)
3. مبدأ حجم الوحدات الحركية (منخفضة عتبة التحفيز تنقبض أولا)
4. نشاط الوحدات الحركية المثبطة في قشرة الدماغ
5. عمل المنعكسات الحسية العصبية (المغازل العضلية واجسام جولجي)
6. طول العضلة
7. التأخير في الكهروميكانيكية (من بداية إنشاء فرق الجهد حتى حدوث الانقباض)
8. العمر (~20% تقل عند 60سنه)

العوامل المؤثرة على قوة العضلات

2. عوامل تشريحية

1. عدد الوحدات الحركية
2. نوع الليف العضلي (سريع الخلجة مقابل بطيئ الخلجة)
3. حجم المقطع العرضي للعضلة (محل خلاف!)
4. نسبة الأنسجة الدهني
5. شكل العضلة (العضلات الريشية)



العوامل المؤثرة على قوة العضلات

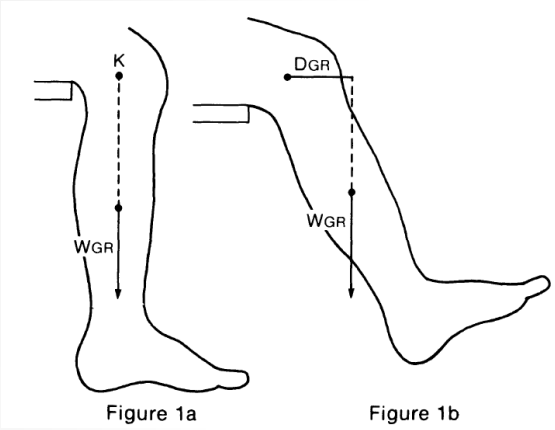
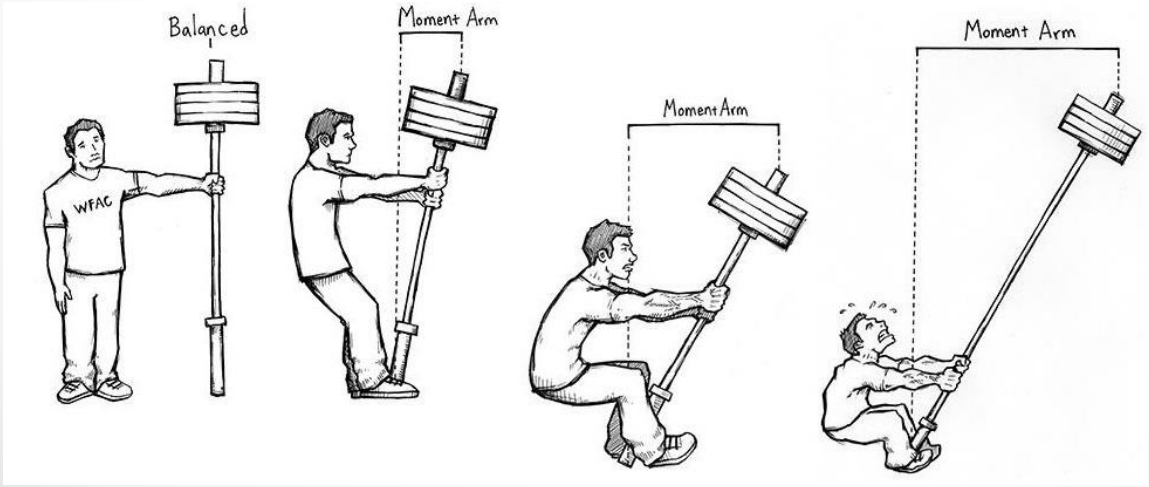


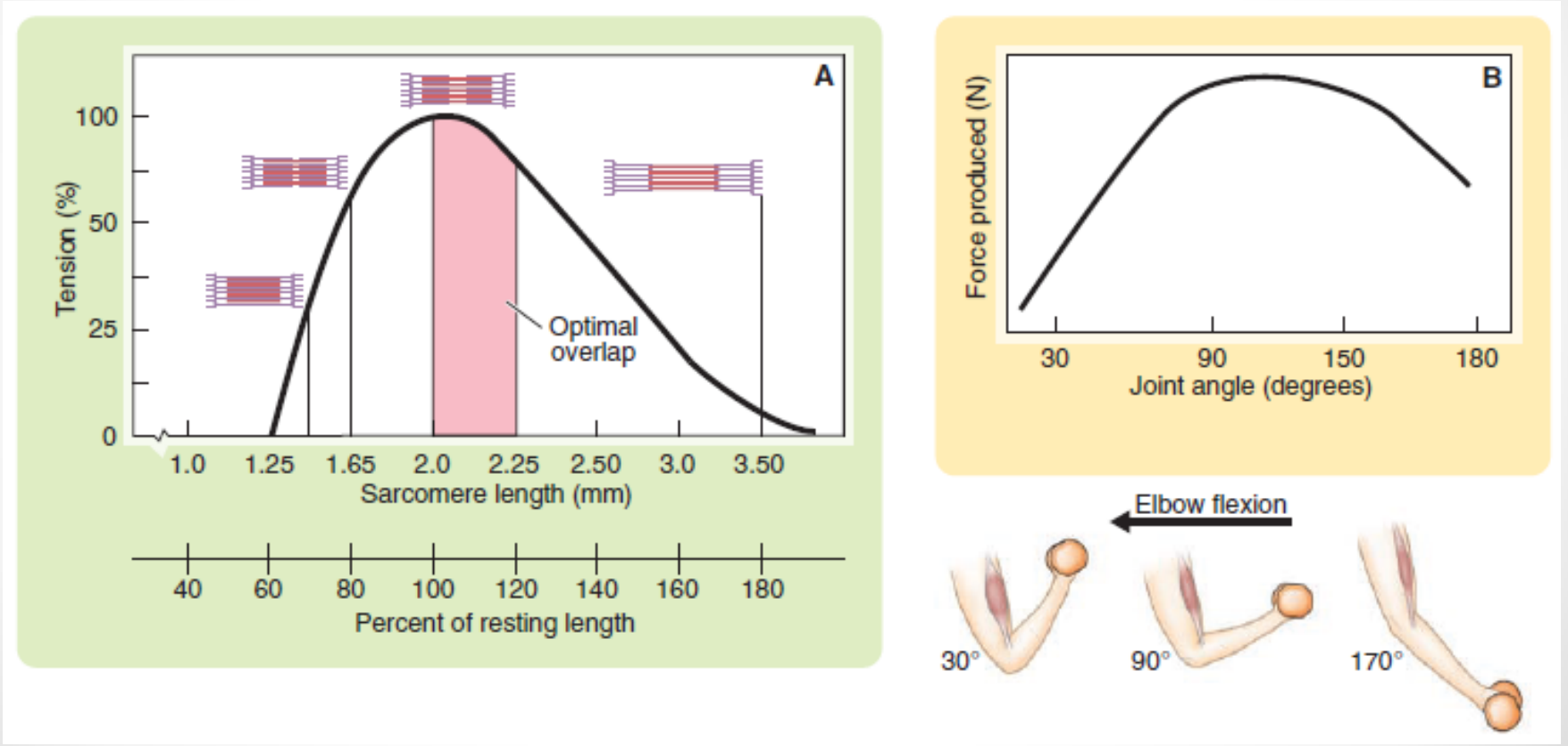
Figure 1a Figure 1b

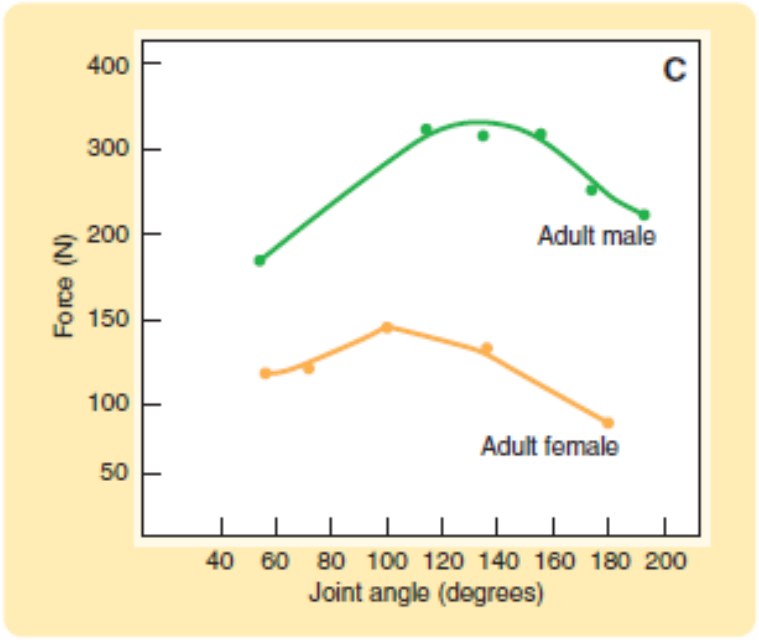
3. عوامل ميكانيكية

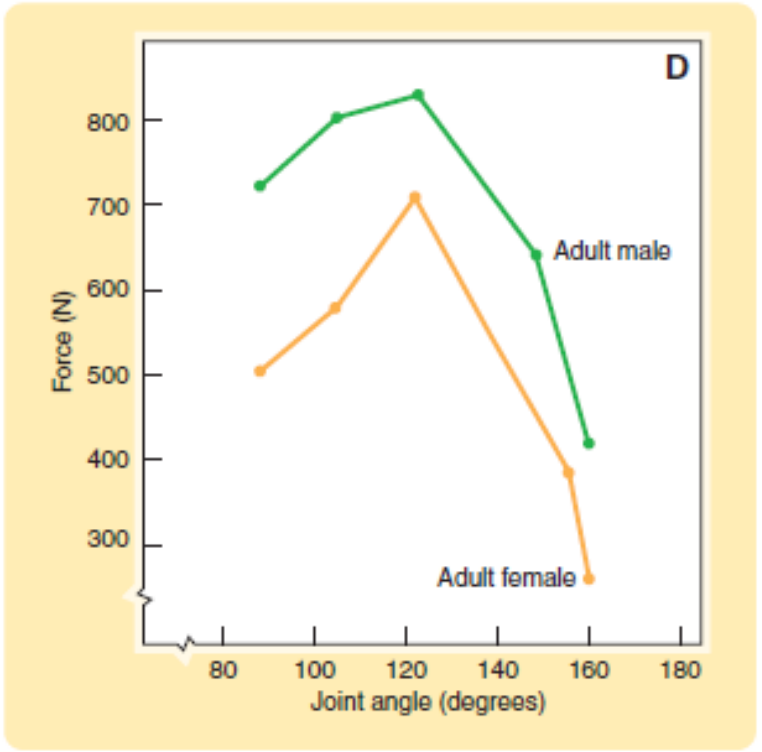
1. معامل الاحتكاك في المفصل
2. الطاقة المرنة المخزنة
3. نوع الانقباض الحركي (ثابت أو متحرك)
4. العزم اللحظي المسافة بين القوة إلى محور العمل

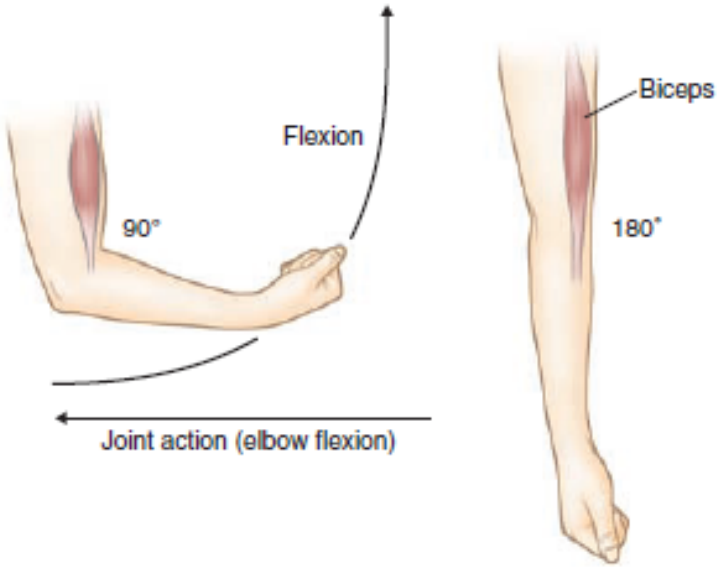


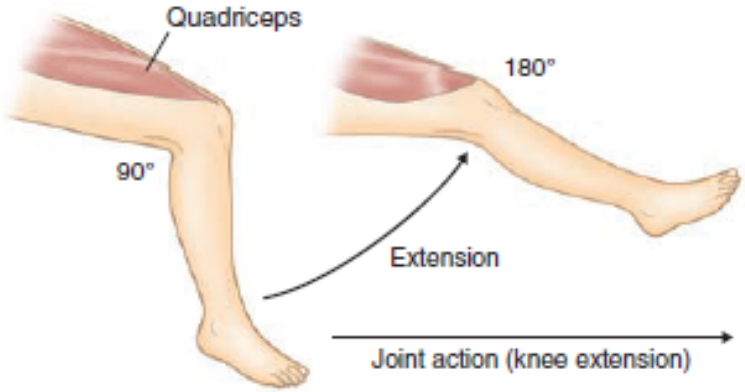
علاقة القوة بزاوية انقباض العضلة



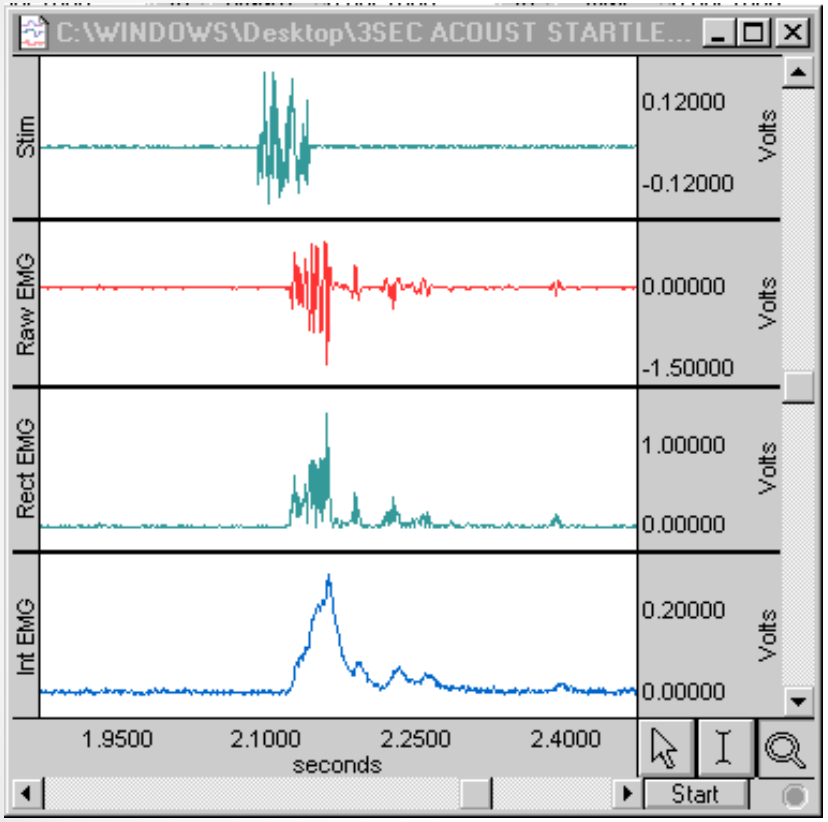

C
400
300
200
150
100
50
Force (N)
Adult male
Adult female
40 60 80 100 120 140 160 180 200
Joint angle (degrees)

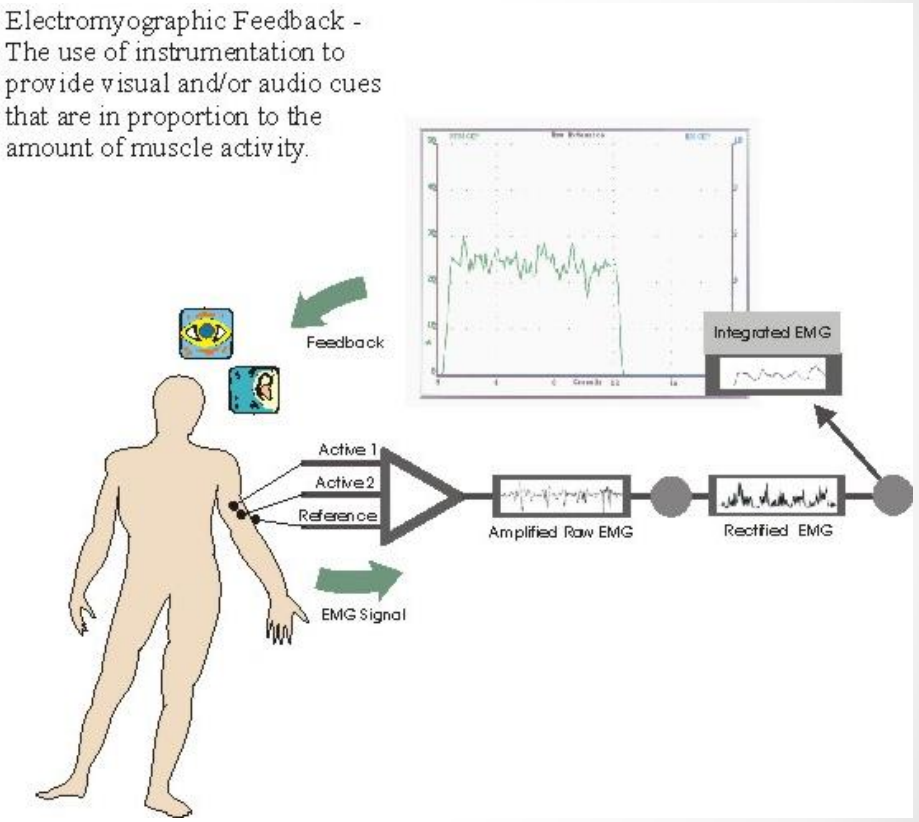

D
800
700
600
500
400
300
Force (N)
Adult male
Adult female
80 100 120 140 160 180
Joint angle (degrees)

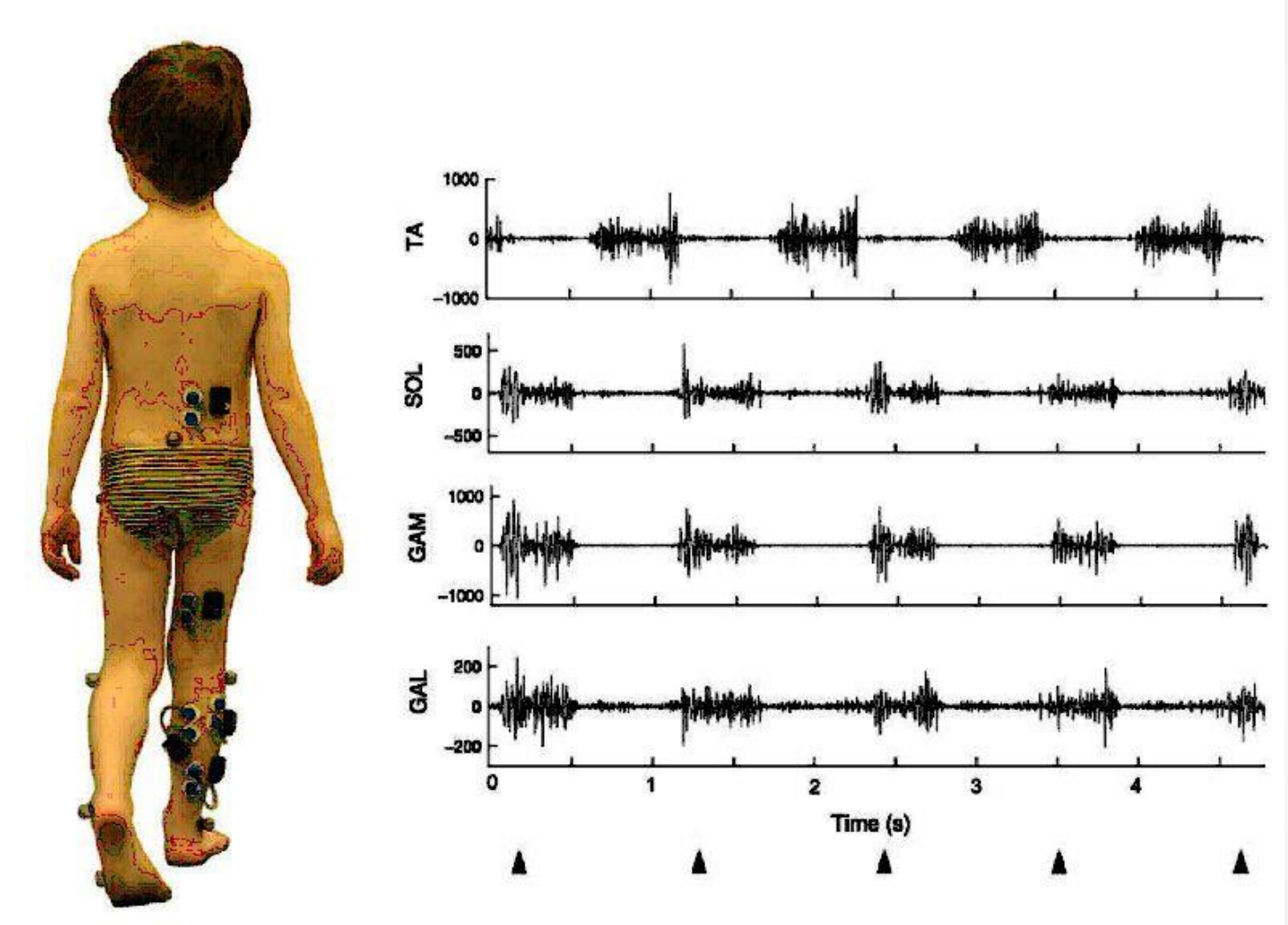

Flexion
90°
Joint action (elbow flexion)
Biceps
180°


Quadriceps
90°
180°
Extension
Joint action (knee extension)

تسجيل النشاط الكهربائي للعضلة EMG

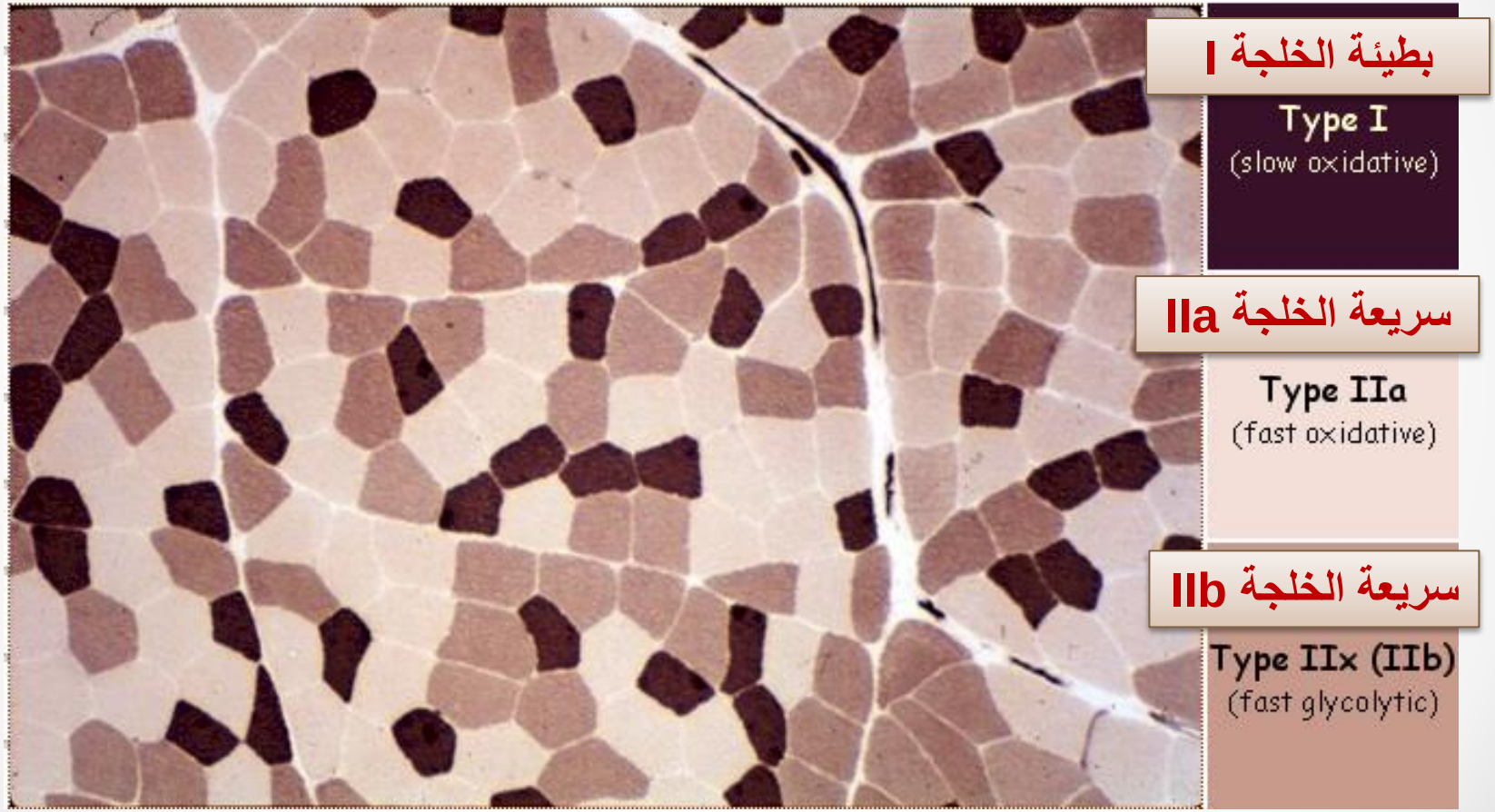





TA
1000
0
−1000
SOL
500
0
−500
GAM
1000
0
−1000
GAL
200
0
−200
0
1
2
3
4
Time (s)

الألياف العضلية والتدريب الرياضي

أنواع الآلياف العضلية



أنواع الآلياف العضلية

- **بطيئة الخلجة I** (مرتفعة التأكسد): لديها قدرة أكسدة عالية مع انخفاض في نشاط ATPase (بطء في دورة حدوث الجسور المتقاطعة) وتتميز بقدرتها على مقاومة التعب
- **سريعة الخلجة IIa** (منخفضة التأكسدة): لديها قدرة اكسدة منخفضة مع ارتفاع في نشاط ATPase (سرعة في دورة حدوث الجسور المتقاطعة) وتتميز بقدرتها المتوسطة على مقاومة التعب العضلي
- **سريعة الخلجة IIb** (مرتفعة تحلل السكر): لديها قدرة تحلل سكر عالية مع ارتفاع في نشاط ATPase (سرعة في دورة حدوث الجسور المتقاطعة) وتتميز بإنخفاض قدرتها على مقاومة التعب العضلي

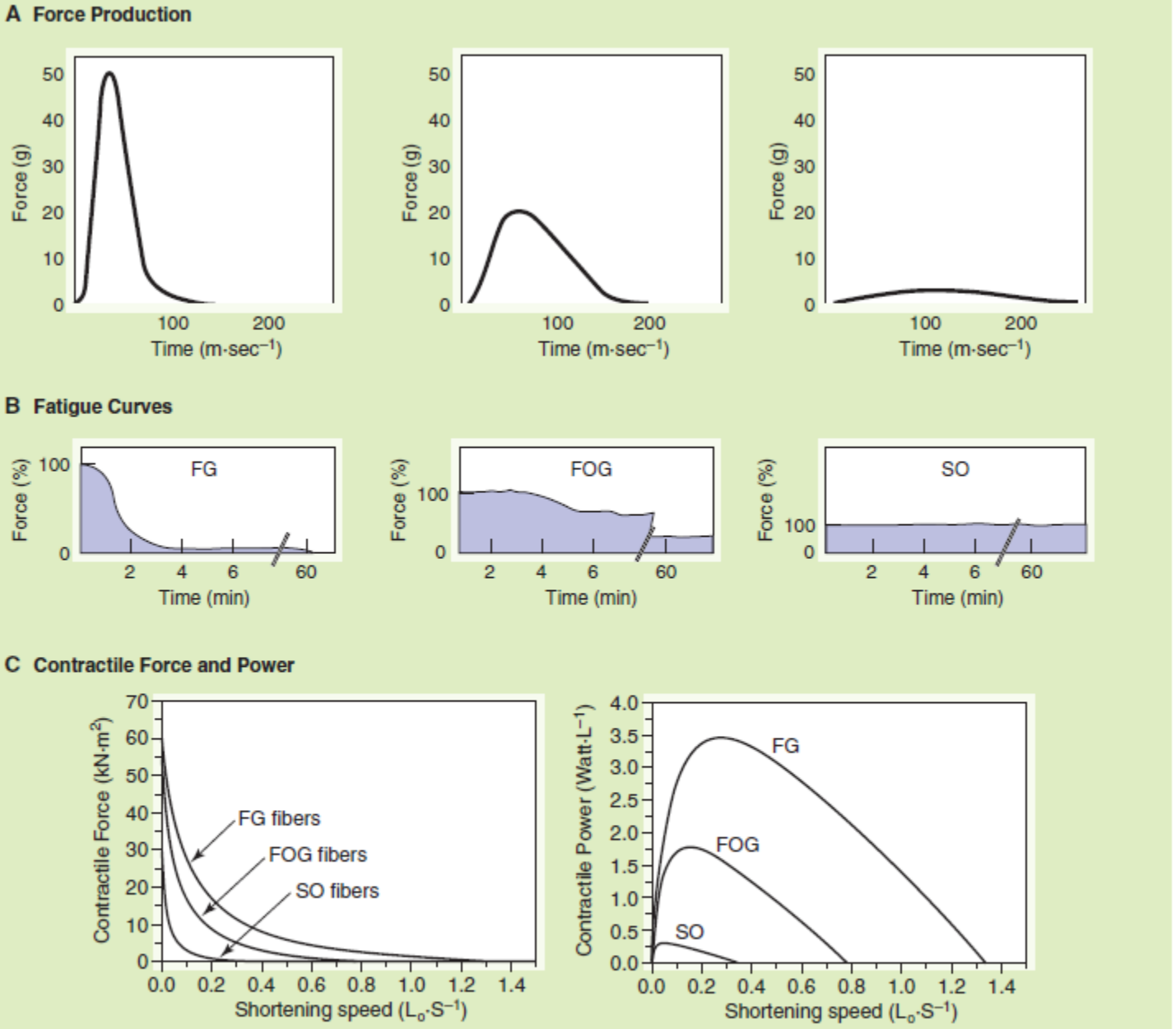
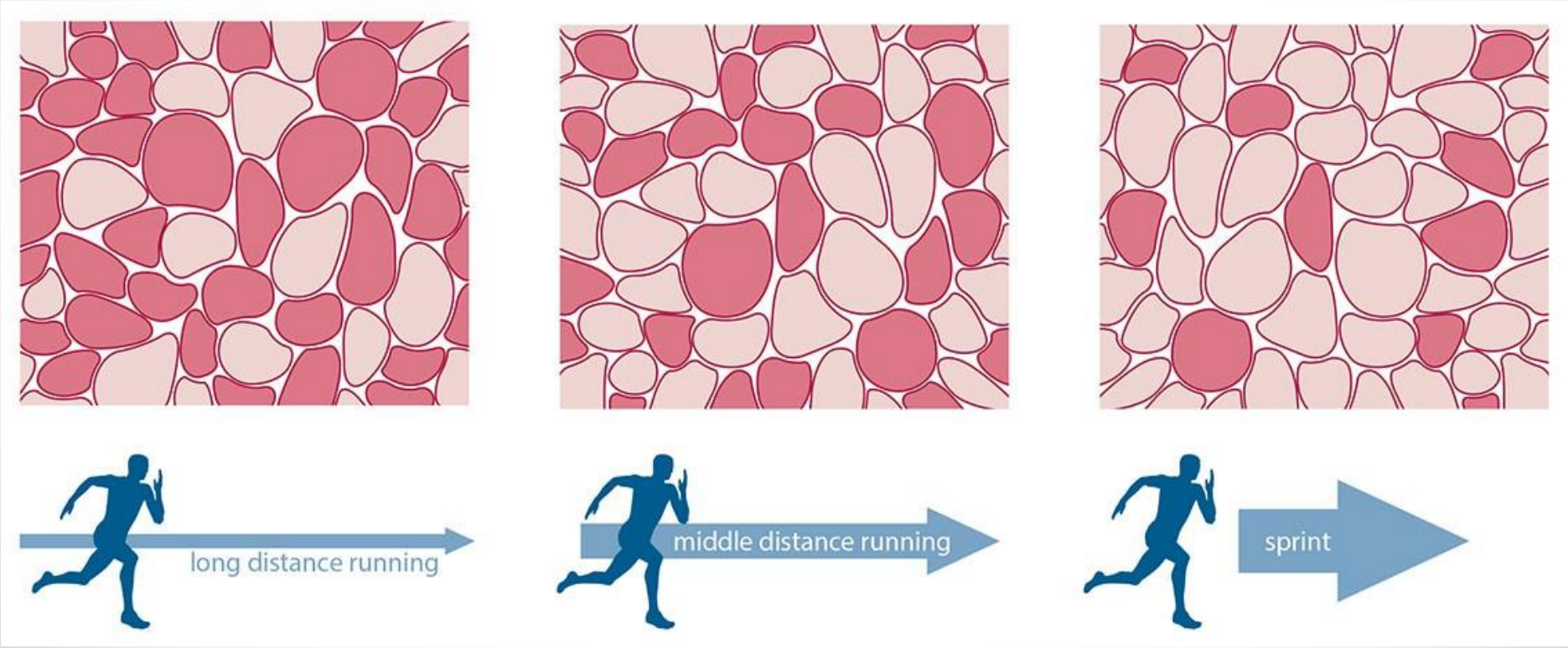


FIGURE 17.15. Fiber Types have Different Force Production Curves.
(A), Fatigue Curves **(B)**, Contractile Force at Different Contraction Speeds **(C)**, and Contractile Force and Power at Different Contraction Speeds.

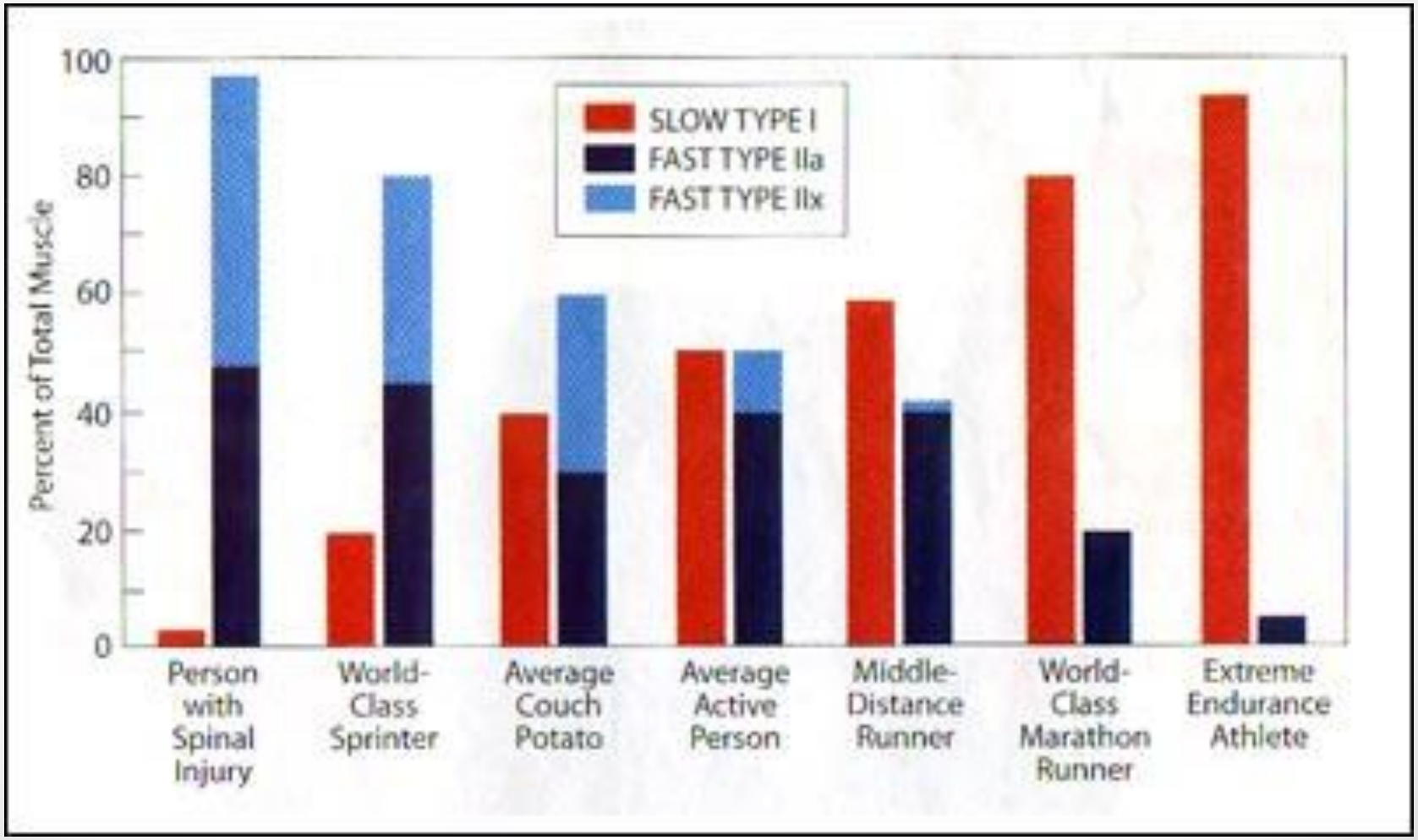
مقارنة أنواع الآلياف العضلية

	بطيئة الخلجة	سريعة الخلجة IIb	سريعة الخلجة IIa
المصدر الرئيس لإنتاج (ATP)	تأكسد الدهون	تأكسد الجلوكوز	تحلل الفوسفات
الميتوكوندريا	كثير	كثير	قليل
الشعيرات الدموية	كثير	كثير	قليل
محتوى الميوجلوبين	عالي (احمر)	عالي (احمر)	قليل (ابيض)
نشاط الإنزيم الحال للسكر	منخفض	متوسط	عالي
محتوى الجليكوجين	منخفض	متوسط	عالي
معدل التعب	بطئ	متوسط	سريع
نشاط ATPase في الميوسين	منخفض	عالي	عالي
سرعة تقلص العضلة	بطئ	سريع	سريع
قطر الليف العضلي	صغير	متوسط	كبير
حجم الوحدة الحركية	صغير	متوسط	كبير
حجم الألياف العصبية المحركة	صغير	متوسط	كبير
تنحية ايون الكالسيوم C^{++}	بطيء	سريع	سريع

نسبة توزيع الألياف العضلية حسب نوع الرياضة



نسبة الألياف العضلية لدى مجموعة من الرياضيين وبعض الحالات (%)



مقارنة نسبة الألياف بطيئة الخلجة في العضلة المتسعة (الفخذية) الوحشية والعضلة الدالية

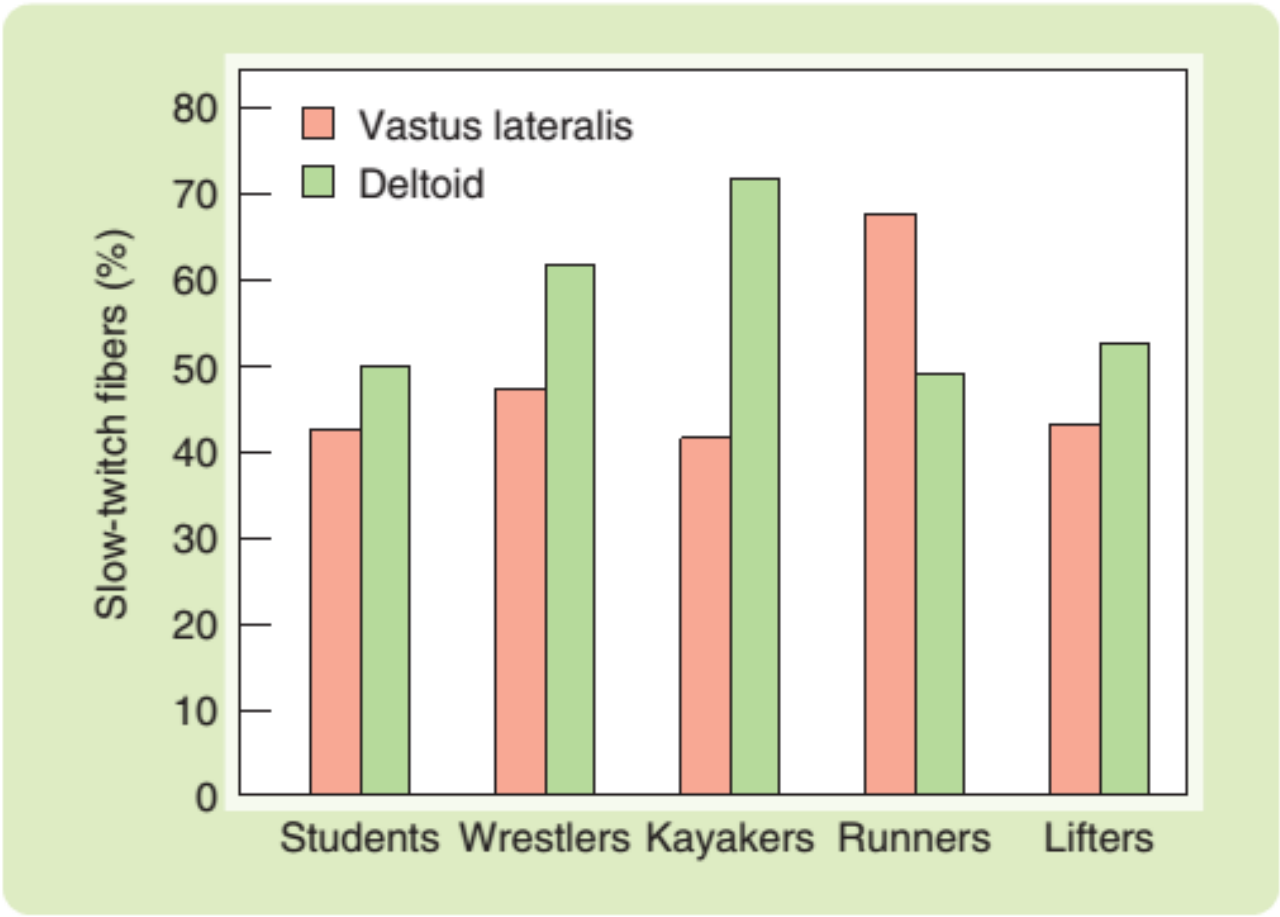
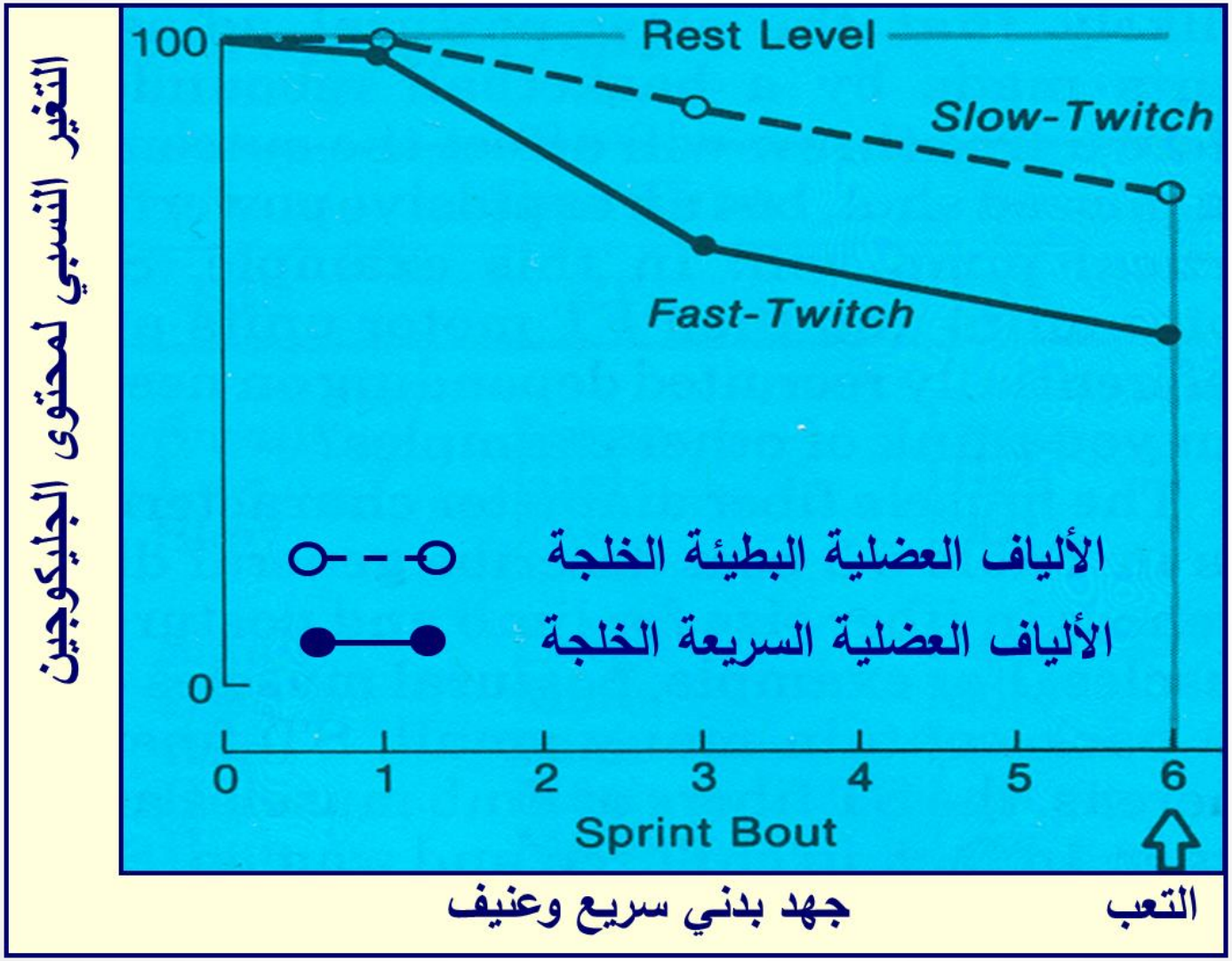
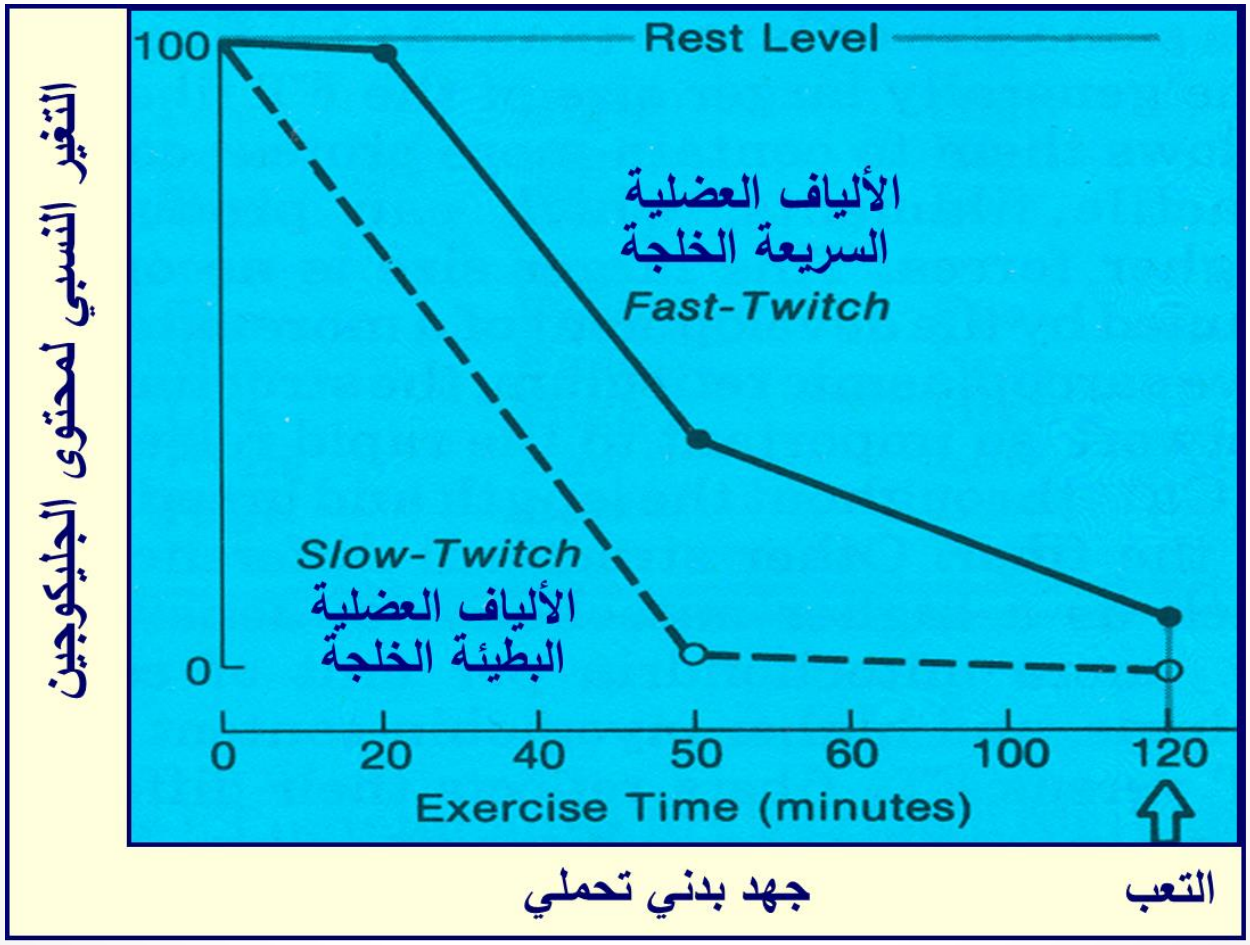


FIGURE 17.19. Fiber Type Distribution of Different Muscle Groups Among Athletes.

التغير في محتوى الألياف العضلية السريعة والبطيئة الخلجة من الجليكوجين بعد جرعات متتابعة من الجهد البدني العنيف والقصير حتى التعب

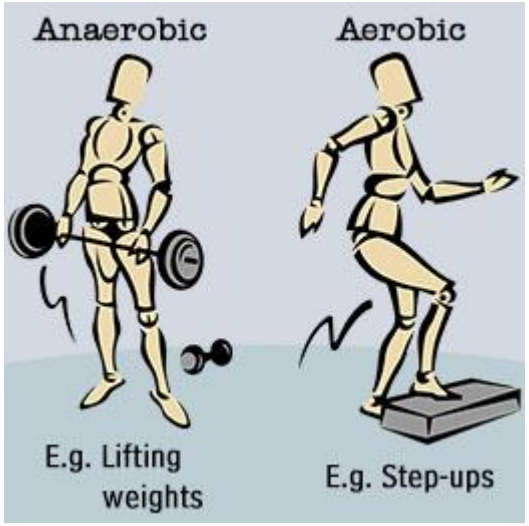


التغير في محتوى الألياف العضلية السريعة والبطيئة الخلجة من الجليكوجين بعد جهد بدني تحملي حتى التعب

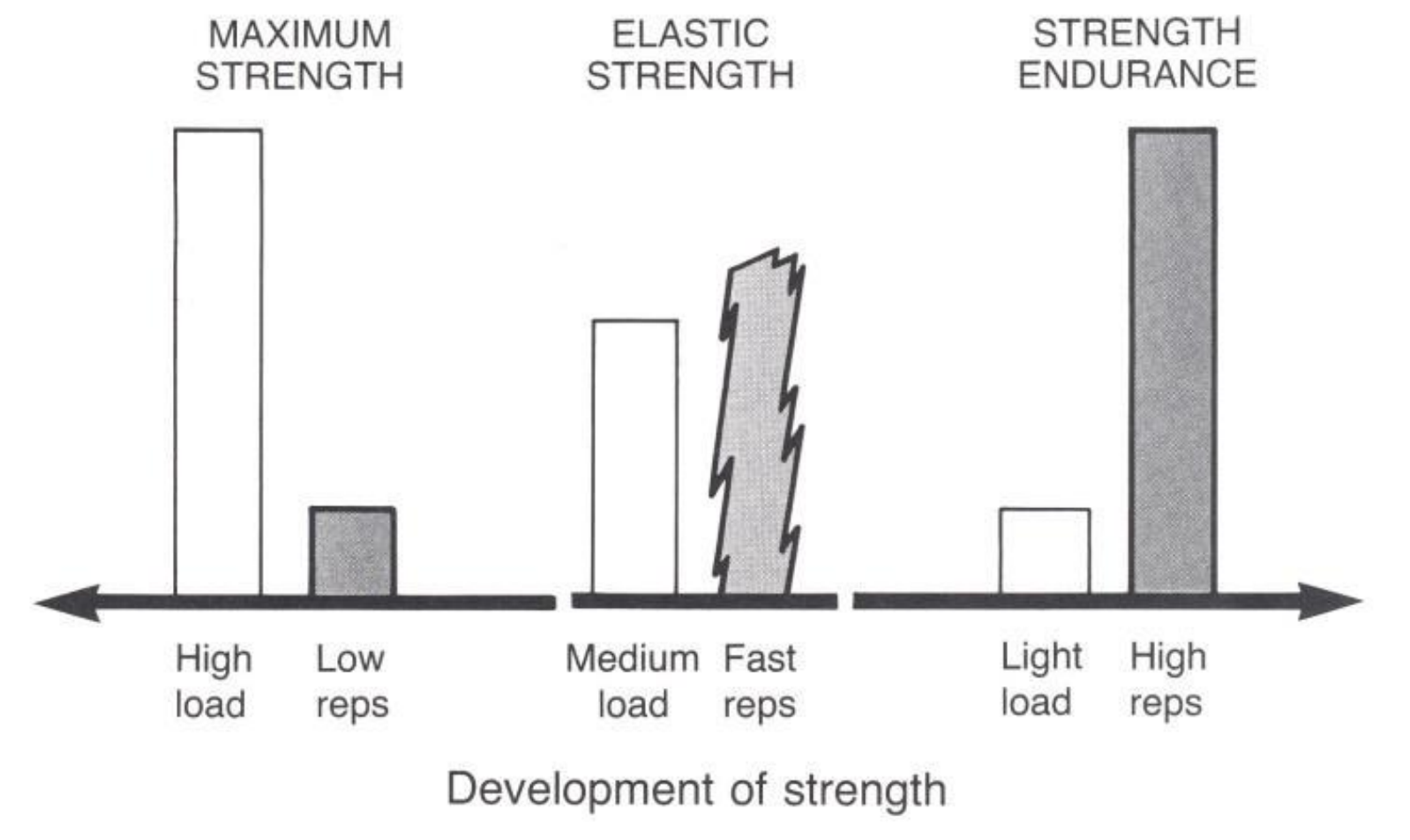


تأثير التدريب على النسيج العضلي

تأثير التدريب الهوائي	تأثير التدريب اللاهوائي (المقاومة)
• يزيد كثافة الشعريات الدموية داخل العضلات • يزيد عدد الميتوكوندريا • يزيد تصنيع الميوجلوبين (خضاب العضلات) • يطور التحمل و القوة و مقاومة التعب • قد تحويل ألياف سريعة الخجلة IIb (الجلوكوز) إلى سريع الخلجة IIa (فوسفات)	• تضخم العضلات (يرجع في معظمه إلى مساحة المقطع العرضي للكل الألياف) • يزيد الميتوكوندريا • يزيد عدد الليفات العضلية • يزد حجم مخازن الجليكوجين • يزيد كثافة النسيج الضام

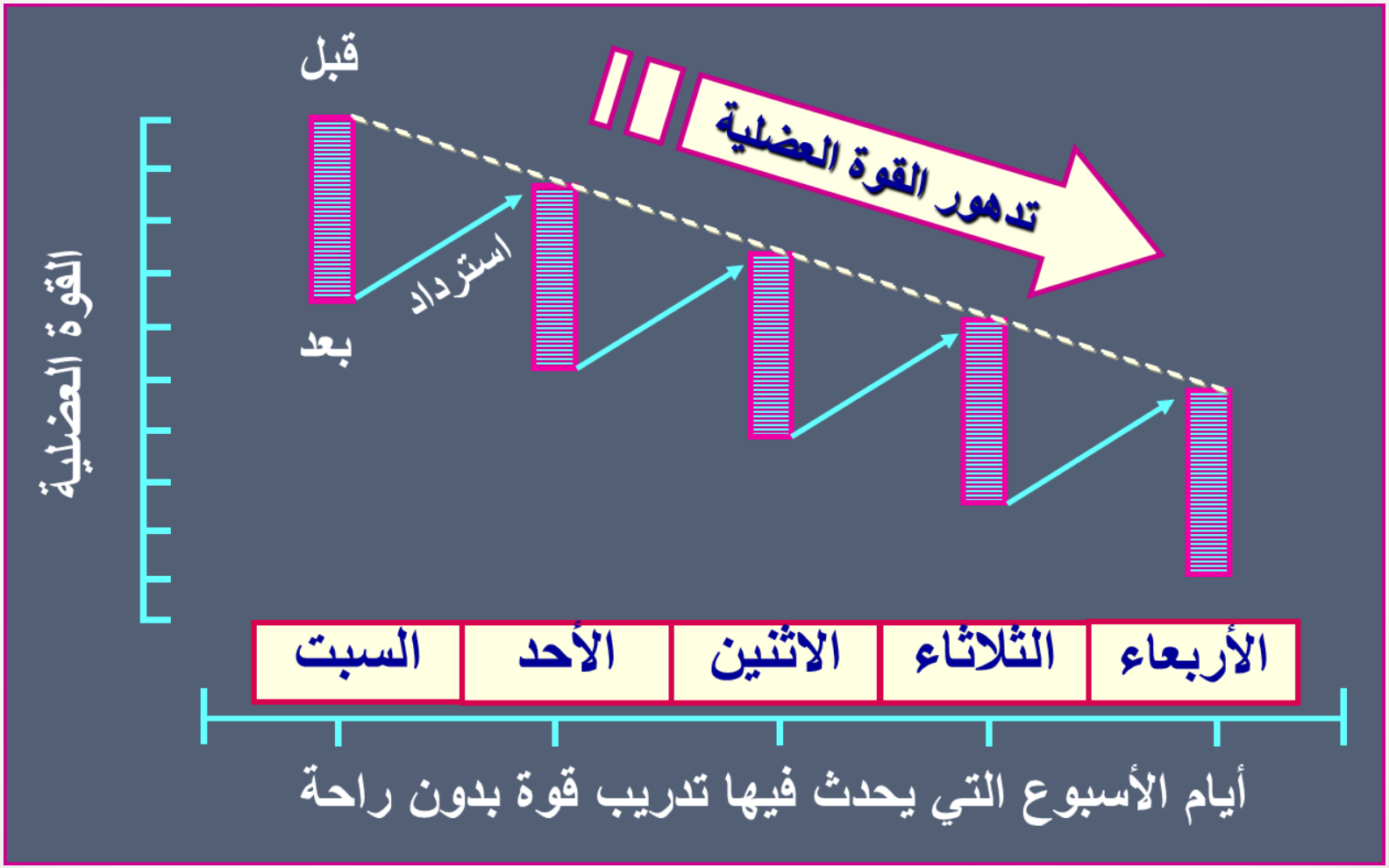


تأثير تكرار وشدة التدريب على نوع النشاط البدني

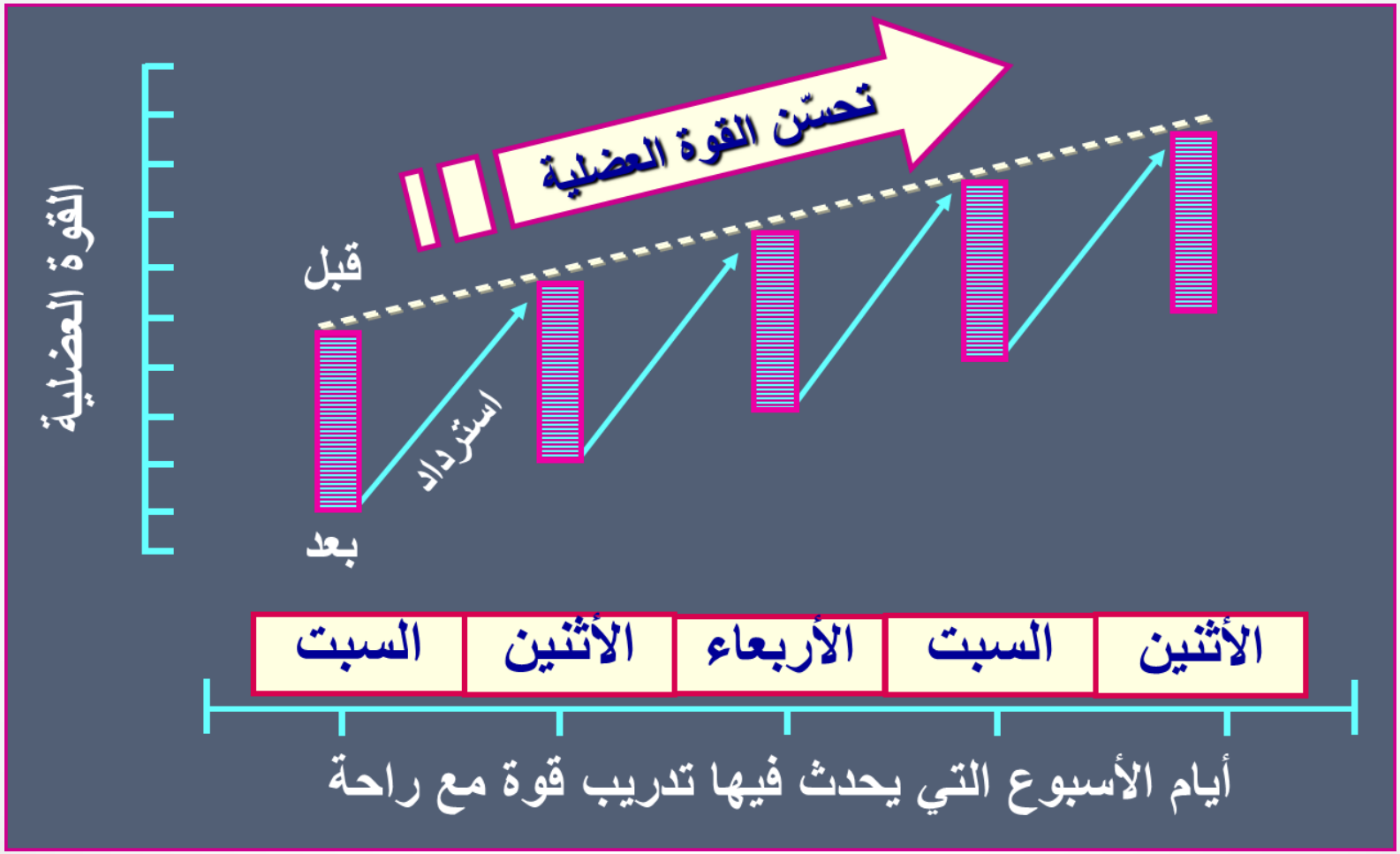


Development of strength

تدريب قوة عضلية مجهد بدون راحة

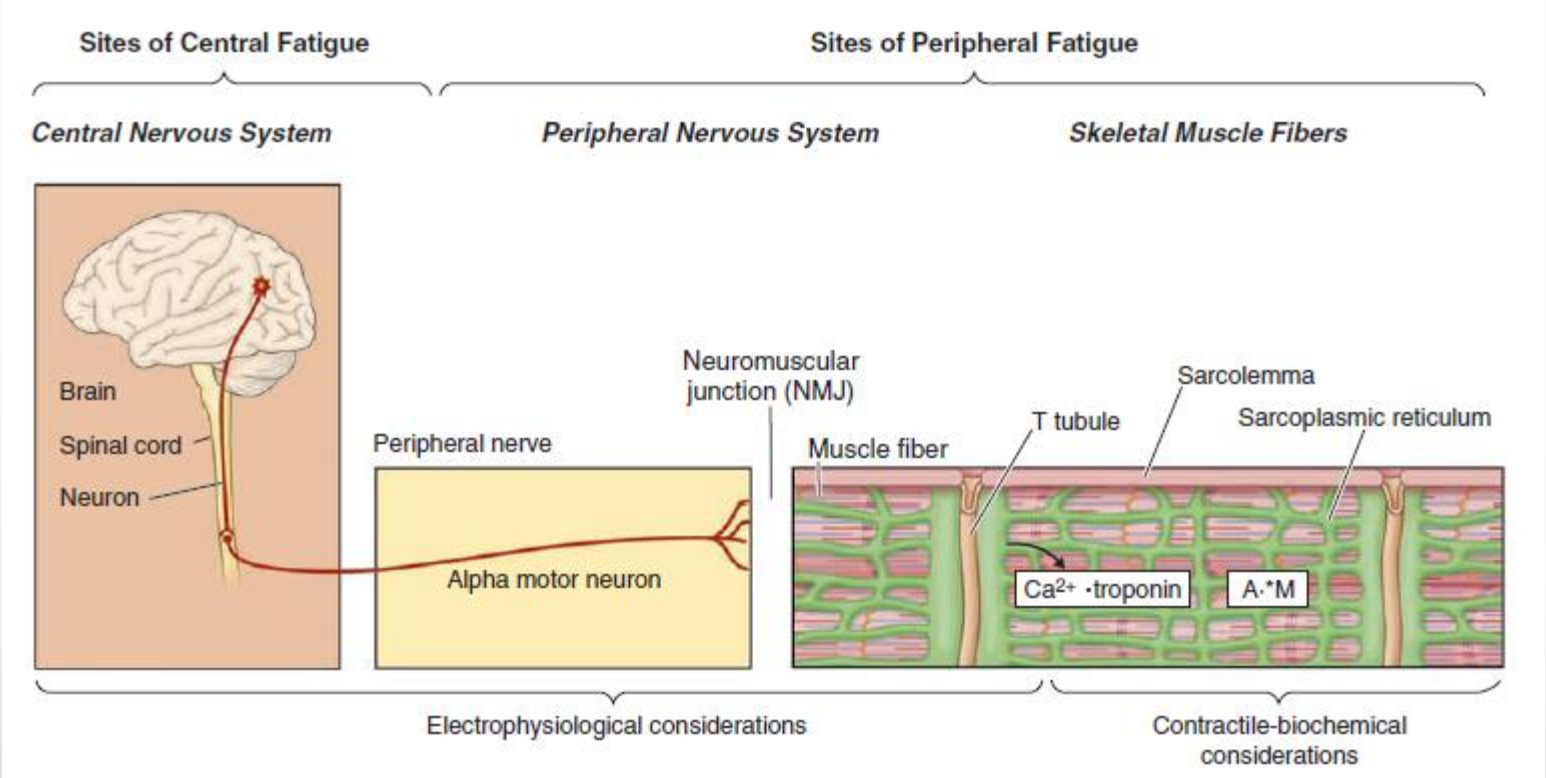


تدريب قوة عضلية مجهد مع راحة



التعب العضلي

- يحدث التعب العضلي عندما لا تستطيع العضلة الإستمرار في رفع أو المحافظة على إنتاج القوة العضلية أو التسارع العضلي
- ظاهرة حدوث التعب معقدة وغير مفهومة بشكل كامل
- يمكن تقسيم التعب من حيث مكان حدوثة إلى:
  - **مركزي: يشمل الدماغ والحبل الشكوي**
  - **محيطي: يشمل أي مكان في الجهاز العضلي**



التعب العضلي

- التعب العضلي المركزي قد يحدث بسبب:
  - خلل في الخلايا العصبية
  - تثبيط للجهد الإرادي في قشرة الدماغ الحركية
  - العوامل النفسية
- التعب العضلي المحيطي قد يحدث بسبب:
  - على مستوى الموصل العصبي العضلي وتشمل:
    - تثبيط في نهاية العصب الطرفي
    - استنزاف في النواقل الصعبي (اسيتيل كولين)
    - تغيير في روابط تشابك النواقل العصبية مع المستقبلات
  - على مستوى الشبكة الساركوبلازمية والأنابيب الناقلة وتشمل:
    - تثبيط في افراز ايونات الكالسيوم
    - عدم قدرة ايونات الكالسيوم بالانجذاب الى مركب التروبونين
  - على مستوى الليفات العضلية (الاكتين والميسوسين) وتشمل:
    - استنزاف مركب ATP
    - استنزاف مركب فوسفات الكرياتيين أو الجلاكوجين
    - تراكم نواتج العمليات الأيضية (مثل حمض اللاكتيت والأس الهيدروجيني)

اسئلة ونقاش

• • •

نهاية المحاضرة