

## Functions of Muscle Tissue

- ❖ **Producing body movements**
- ❖ **Stabilizing body positions**
- ❖ **Regulating organ volumes**
  - bands of smooth muscle called sphincters
- ❖ **Movement of substances within the body**
  - blood, lymph, urine, air, food and fluids, sperm
- ❖ **Producing heat**
  - involuntary contractions of skeletal muscle (shivering)

1

## Properties of Muscle Tissue

- ❖ **Excitability**
  - respond to chemicals released from nerve cells
- ❖ **Conductivity**
  - ability to propagate electrical signals over membrane
- ❖ **Contractility**
  - ability to shorten and generate force
- ❖ **Extensibility**
  - ability to be stretched without damaging the tissue
- ❖ **Elasticity**
  - ability to return to original shape after being stretched

2

## Types of Muscle Tissue

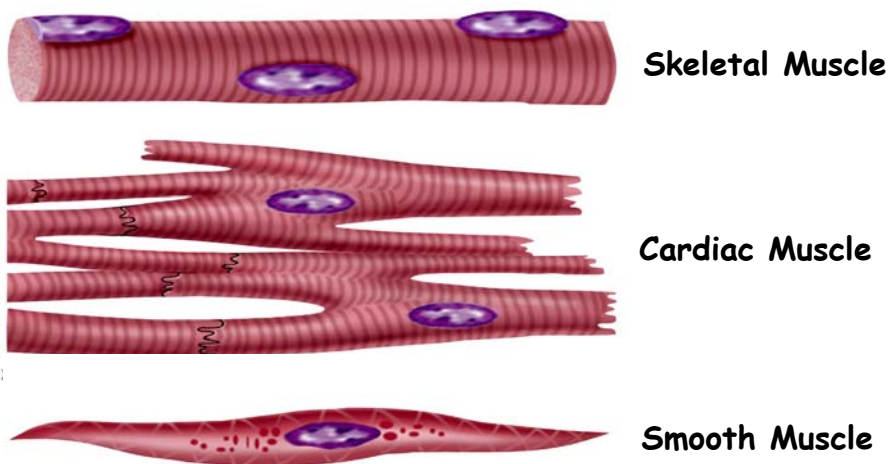


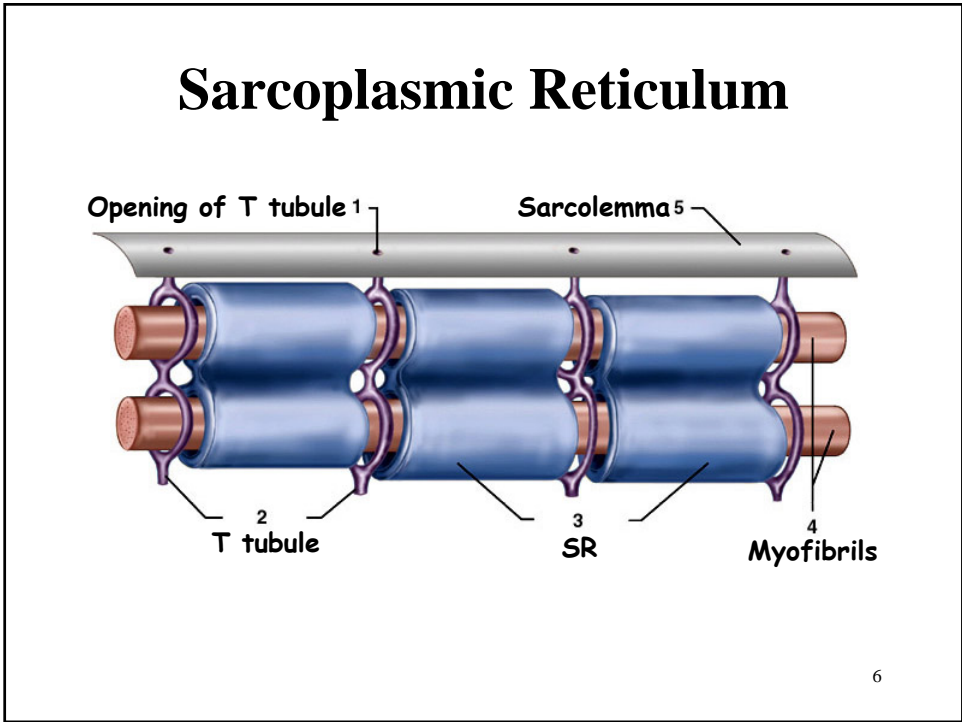
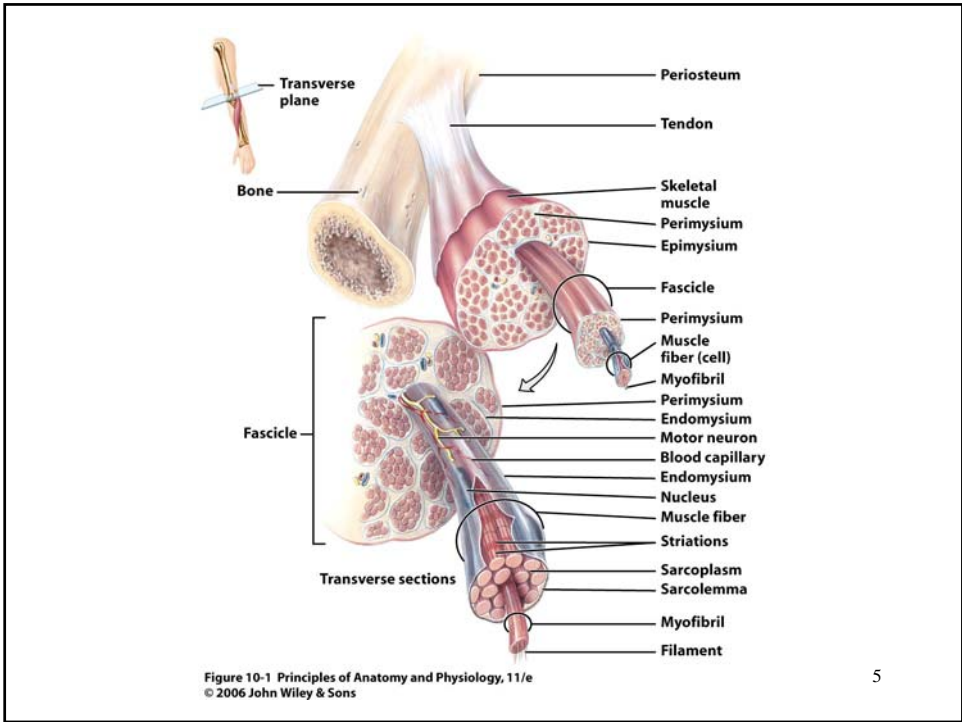
Table 10-2 Figure 3 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e  
© 2006 John Wiley & Sons

3

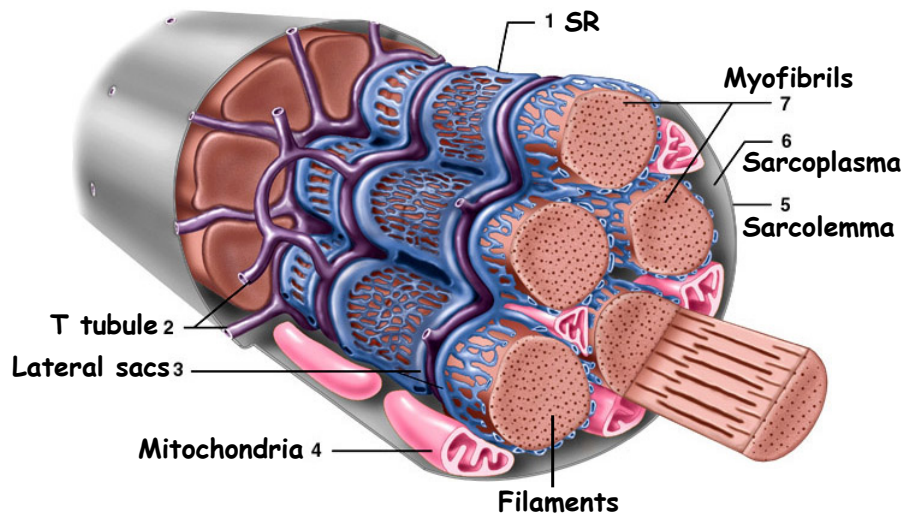
## Muscle Fiber

- ❖ 肌纖維的細胞膜稱為肌漿膜 (sarcolemma)
- ❖ 細胞質稱為肌漿 (sarcoplasm)
- ❖ 肌漿內含有許多的肌原纖維 (myofibrils)
- ❖ 肌原纖維內含有肌絲 (filaments)
- ❖ 肌漿內有肌漿質網 (sarcoplasmic reticulum  
，儲存大量的鈣離子)

4



## Sarcoplasmic Reticulum



## Muscle Filament

- ❖ 粗肌絲(thick filaments)及細肌絲(thin filaments)以非常規律的方式排列
- ❖ 粗肌絲所構成的暗帶稱之 A 帶 (A band)
- ❖ 細肌絲的一端和粗肌絲相重疊，另一端則附著在 Z 線 (Z line)；Z 線的另一側也有同樣的細肌絲附著
- ❖ Z line 兩側與 A band 不相重疊的細肌絲部分便構成了明帶，稱之 I 帶 (I band)
- ❖ A band 中央與細肌絲不相重疊的部分稱之 H 區 (H zone)
- ❖ H zone 中央的粗線條則稱為 M 線 (M line)
- ❖ 每兩條 Z 線所涵蓋的範圍稱之肌節 (sarcomere，肌肉收縮的基本單位)，所以每一肌節內有粗肌絲以及與兩端 Z 線相連的細肌絲

8

# Muscle Filament

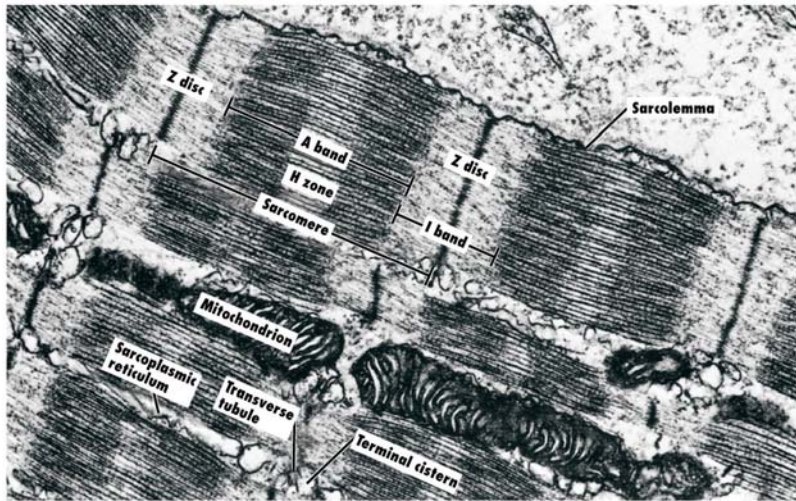


Figure 10-4 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e

9

# Muscle Filament

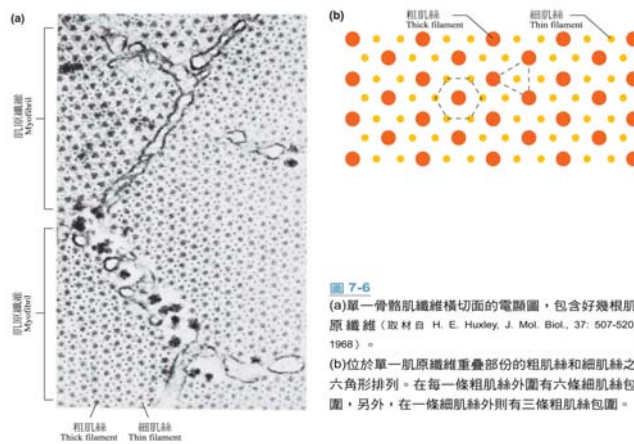
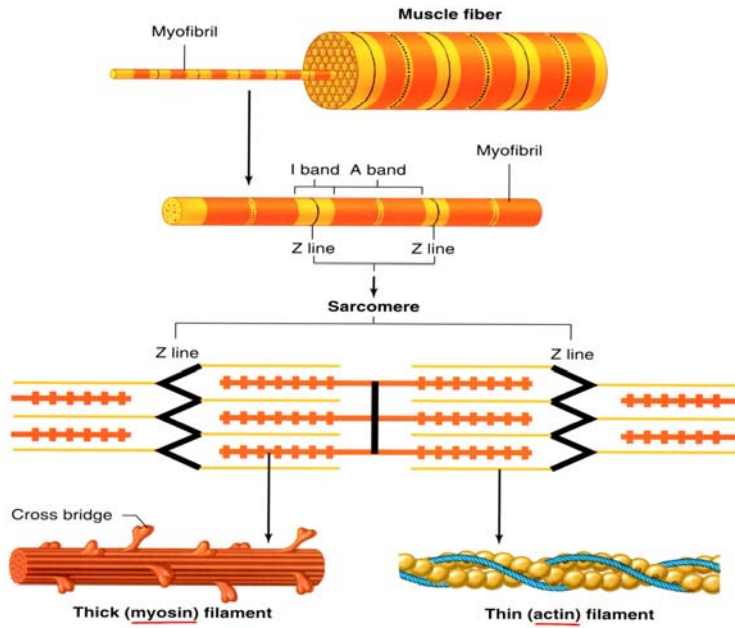


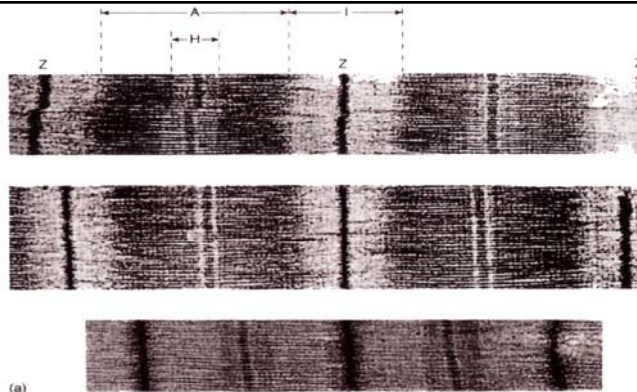
圖 7-6  
 (a)單一骨骼肌纖維橫切面的電顯圖，包含好幾根肌原纖維（取材自 H. E. Huxley, J. Mol. Biol., 37: 507-520, 1960）。  
 (b)位於單一肌原纖維重疊部份的粗肌絲和細肌絲之六角形排列。在每一條粗肌絲外圍有六條細肌絲包圍，另外，在一條細肌絲外則有三條粗肌絲包圍。

10

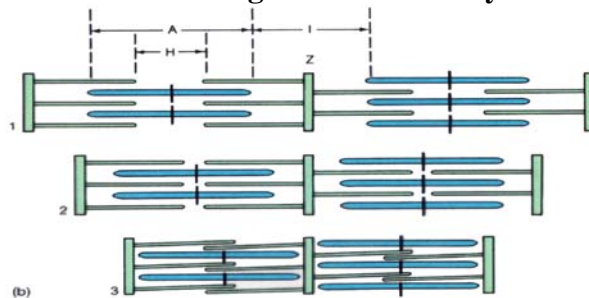
# Muscle Filament



1



## Sliding Filament Theory



12

## Thick (myosin) Filament

- ❖ Myosin分成頭部和尾部，其尾部向著中央形成粗肌絲的長軸。
- ❖ 頭部的特性
  - (1) 構成橫橋 (cross bridge) 向著兩端。
  - (2) 粗肌絲的中央部位是沒有橫橋。
  - (3) 粗肌絲的頭部有 ATPase，其能將 ATP 水解成 ADP 和 Pi，其所釋放的能量可以用來把橫橋接至細肌絲上。Ca<sup>++</sup>可加強ATP水解成ADP和Pi；反而，Mg<sup>++</sup> 會抑制 ATPase，使它無法產生水解。
  - (4) 粗肌絲的頭部具有ATP的結合位置，因為其頭部 ATPase，所以 ATP 必須和 ATP 的結合位置，ATPase 才能水解 ATP→ADP + Pi。

13

## Thick (myosin) Filament

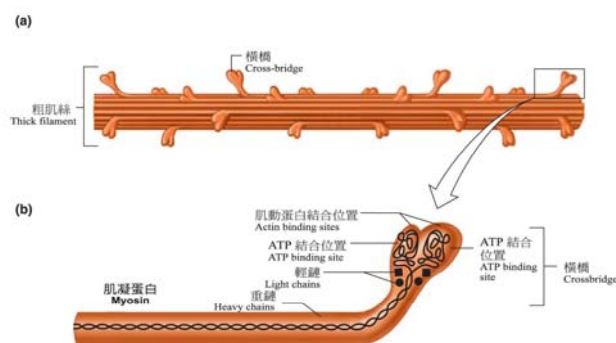


圖 7-11

(a) 肌凝蛋白分子的重鏈形成粗肌絲之核心。在粗肌絲之中心點的兩端，任何一半的肌凝蛋白分子之排列與另外一半者方向相反。

(b) 肌凝蛋白分子的結構。每個肌凝蛋白分子的頭部有兩個球蛋白由粗肌絲之側面延伸出來而形成橫橋。

14

## Thin (actin) Filament

- ❖ Actin是種球蛋白，一個接一個形成螺旋狀的雙股蛋白鏈。
- ❖ 各actin分子上有橫橋接合位置，myosin上的橫橋和actin上的橫橋結合位置，肌絲就會產生滑動。
- ❖ Ca 能引起肌絲滑動，乃是靠細肌絲上的兩種調節蛋白質 - 旋轉肌球蛋白 (tropomyosin ; Tm) 和旋轉素 (troponin ; Tn) 。
- ❖ Tm 是長條狀的分子，由螺旋狀的雙股多生鏈所構成，大約是7個actin分子接在一起的長度。其是一條接著一條順著actin鏈纏繞，而且同時掩蓋actin上橫橋接合位置。
- ❖ Tn 是可和Ca接合的蛋白質，同時它也會接合在Tm和actin上。平常橫橋接合位置是被遮住的，但當Ca和Tn結合時，Tn的形狀會改變，使得actin上的橫橋接合位置裸露出來，這時粗肌絲的myosin頭部就可和actin上的橫橋接合位置結合在一起。

## Thin (actin) Filament

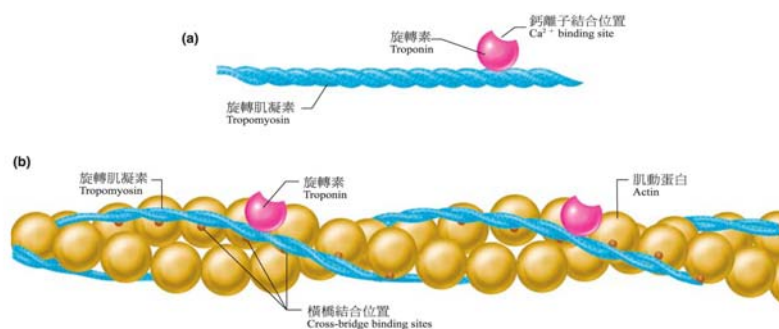
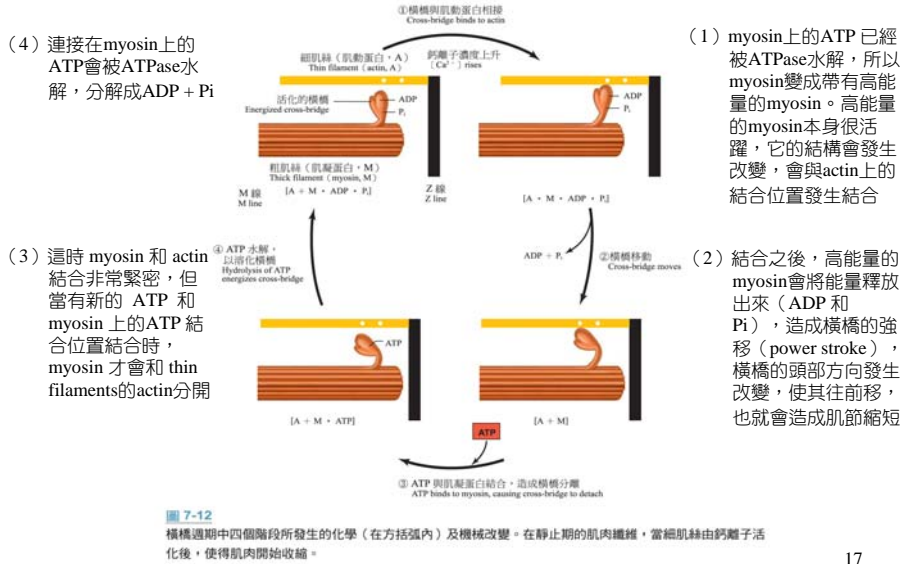


圖 7-13

- (a) 旋轉素分子與旋轉肌凝蛋白結合。  
(b) 細肌絲上兩條旋轉肌凝蛋白控制了橫橋與肌動蛋白的結合位置。



# Cross-Bridge Cycle



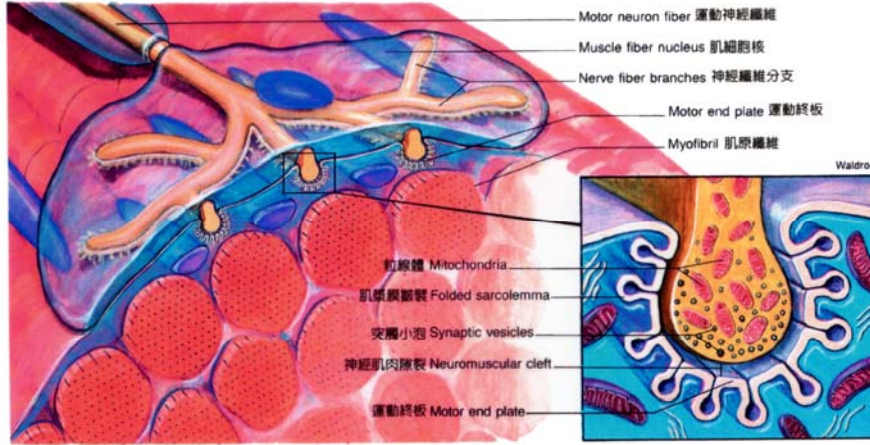
17

# 屍僵 (rigor mortis)

- ❖ 人死後數個小時，因為肌肉無法持續取得製造ATP所需的養分和氧氣，所以無法產生新的ATP，原有的ATP又消耗殆盡，因此當ATP完全耗盡，myosin and actin 便會持續緊密結合而無法分開，使得肌肉開始變得僵硬，此現象稱為屍僵。

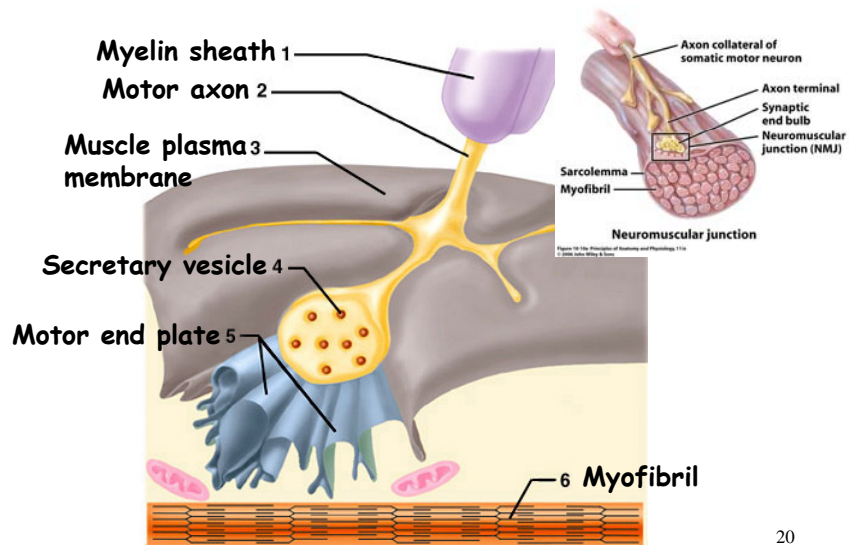
18

# Neuromuscular Junction (NMJ)



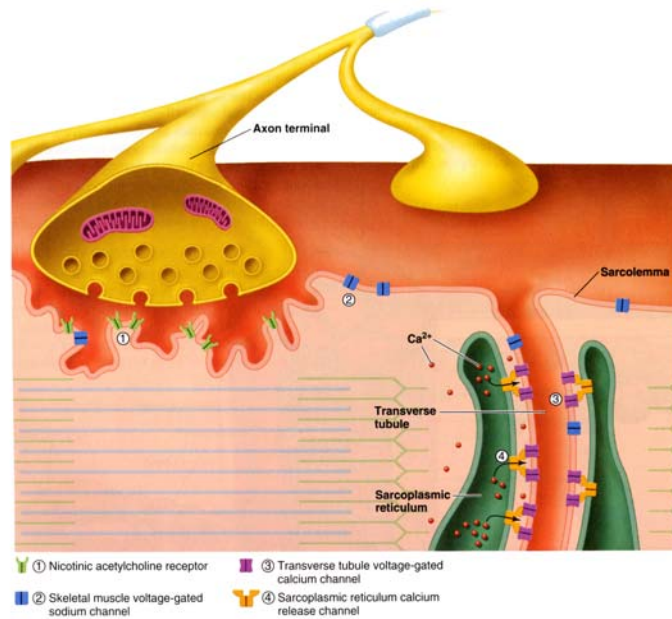
19

# Neuromuscular Junction (NMJ)



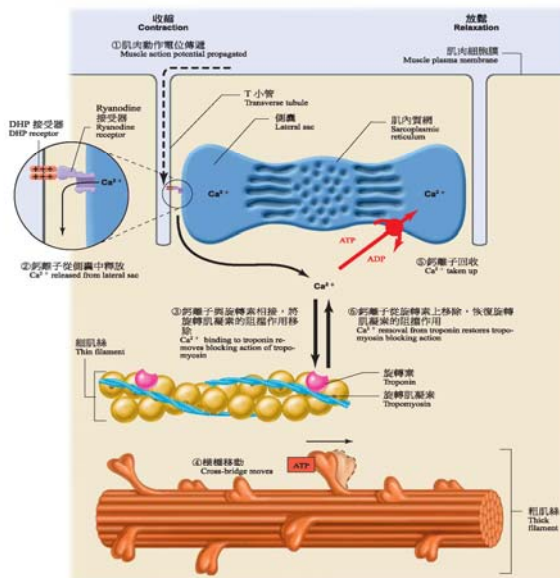
20

# Excitation-Contraction Coupling



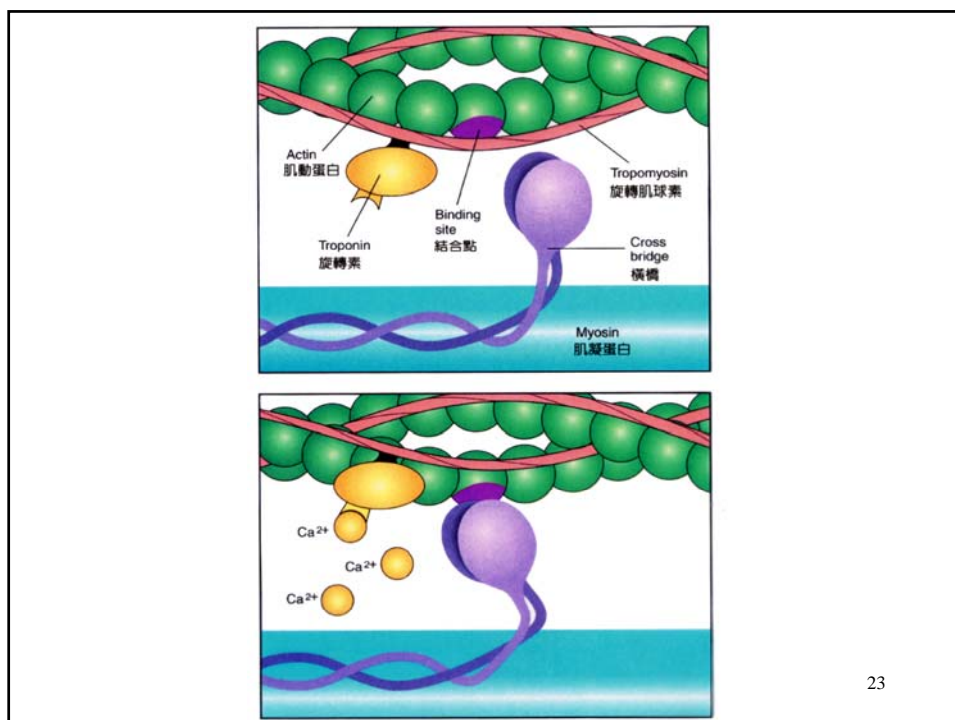
21

# Excitation-Contraction Coupling



22

圖 7-16 骨骼肌纖維在收縮與放鬆時，其肌內質網對鈣離子的釋放與回收。



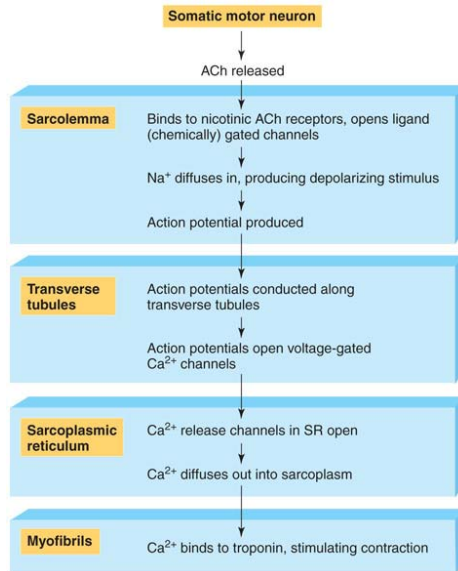
23

## Excitation-Contraction Coupling

- (1) 運動神經的動作電位傳導下來，神經末梢會釋放ACh，造成肌細胞的動作電位。
- (2) 動作電位會經由T小管傳到三合體，使肌漿質網的側囊把Ca<sup>++</sup>釋放到肌漿內。
- (3) Ca<sup>++</sup>被釋放後會接合到細肌絲上的Tn，Tn的形狀就會改變，因而牽動Tm，使得actin上的橫橋接合位置裸露出來，粗肌絲的橫橋就可以接合到細肌絲上。
- (4) ATP水解所釋放的能量會造成橫橋的強移，使得粗肌絲兩端的細肌絲滑向肌絲的中央，肌節就會縮短。
- (5) 若肌肉要繼續收縮下去，就要持續不斷產生橫橋週期。
- (6) 不收縮的話，Ca<sup>++</sup> pump 會將Ca<sup>++</sup>又打回肌漿質網內，actin的橫橋接合位置就會漸漸的被Tm遮掩起來，又回到靜止狀態，肌纖維就也會慢慢鬆弛下來。

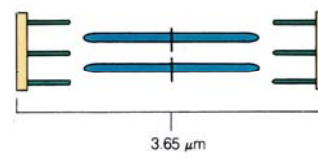
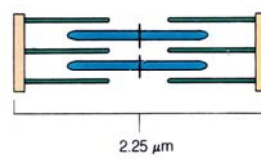
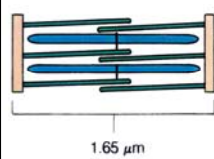
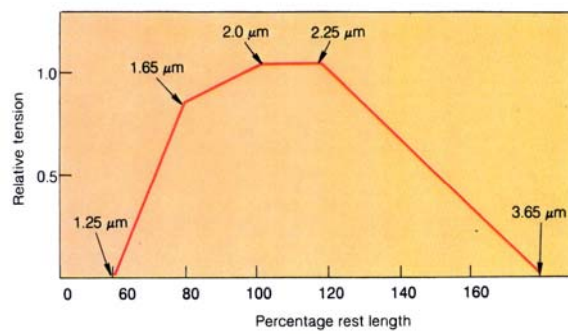
24

# Excitation-Contraction Coupling



25

# Length-Tension Relationship



26

### 3 Sources of ATP Production Within Muscle

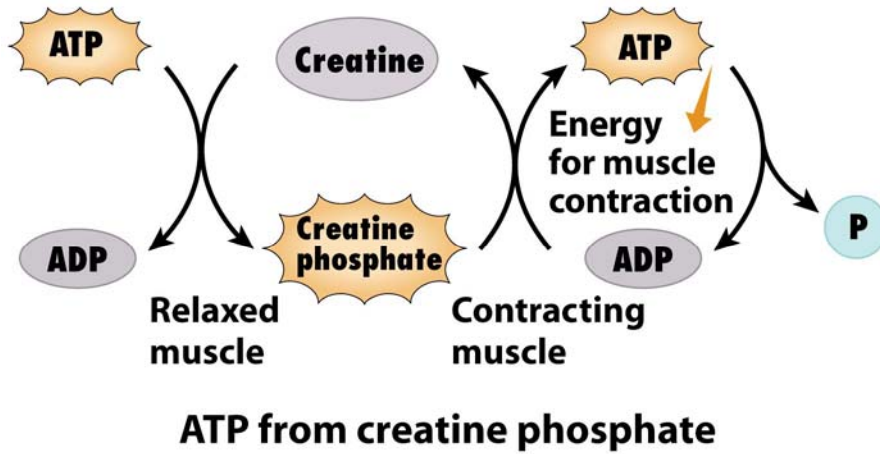


Figure 10-12a Principles of Anatomy and Physiology, 11/e © 2006 John Wiley & Sons

### 3 Sources of ATP Production Within Muscle

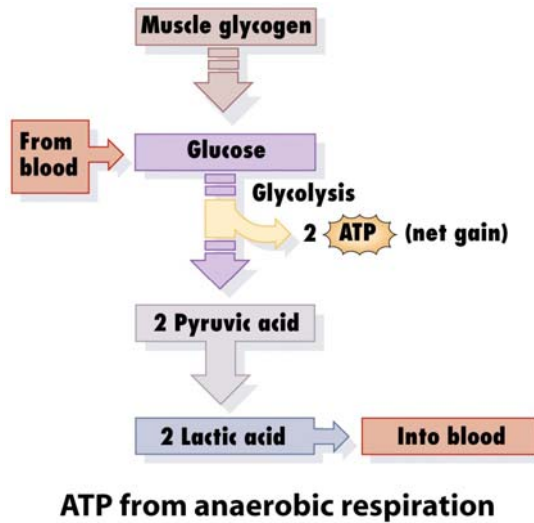
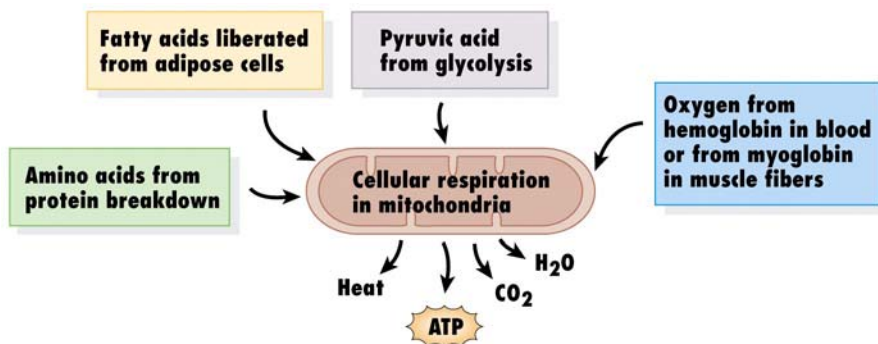


Figure 10-12b Principles of Anatomy and Physiology, 11/e © 2006 John Wiley & Sons

## 3 Sources of ATP Production Within Muscle



### ATP from aerobic cellular respiration

Figure 10-12c Principles of Anatomy and Physiology, 11/e  
© 2006 John Wiley & Sons

29

## 骨骼肌纖維收縮方式

### ❖ 依長度改變

名稱	特性
等長收縮 (isometric contraction)	長度不變但張力改變的收縮 舉例: 人站立時, 不走路, 雖長度沒有改變, 但是小腿肌肉有在收縮or兩手伸直靠著牆壁用力推
等張收縮 (isotonic contraction)	張力不變但長度改變的收縮 舉例: ❶人走路時腿肌肉收縮所引起小腿彎曲, 這是因為這種收縮會改變長度, 所以會產生運動。 ❷練習拿啞鈴時手臂也會跟著彎曲。 ❸書掉下去時, 手臂彎曲下去撿書

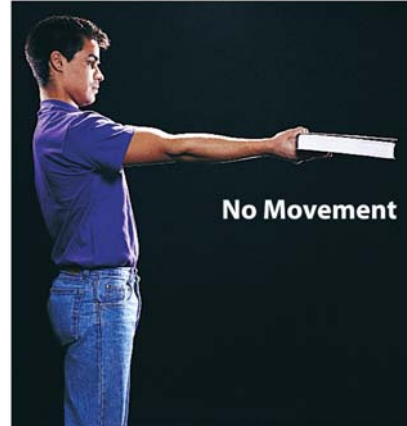
30

## Isotonic and Isometric Contraction



**Concentric contraction while picking up a book**

Figure 10-16a Principles of Anatomy and Physiology, 11/e



**Isometric contraction while holding a book steady**

Figure 10-16c Principles of Anatomy and Physiology, 11/e

31

### ❖ 依刺激頻率的快慢

名稱	特性
抽動性收縮 (twitch)	單一刺激（如動作電位）所引起的快速、抽動式收縮，也就是一次收縮一次放鬆所造成。
加成性收縮 (summation of contraction)	第一刺激(S1)所釋放的Ca <sup>++</sup> 還沒完全被丟回到肌漿質網又來第二個刺激(S2)，也就是將刺激間隔縮短，那麼S2所釋放的Ca <sup>++</sup> 便會和S1所殘留Ca <sup>+</sup> 產生加成作用，所以稱之加成性收縮。這時S2所造成的收縮就會比S1所造成的收縮來得
強直性收縮 (tetanic contraction)	若逐漸把刺激的頻率加快，使得每次Ca <sup>++</sup> 被丟回肌漿質網的時間越來越短，也就是殘留的Ca <sup>++</sup> 越來越多，那麼肌肉收縮就會從加成、不完全強直，一直到完全強直，甚至到肌肉疲乏。強直的產生是因為刺激與刺激的間隔太短，導致殘留的Ca <sup>++</sup> 逐漸升高到完全飽和Tn的地步，則肌肉幾乎收縮到極限，所以會產生強直性收縮，使肌肉完全沒辦法鬆弛的現象，這也就是為什麼會造成肌肉酸痛，而造成肌肉疲乏。 <sup>32</sup>



# Twitch Contraction

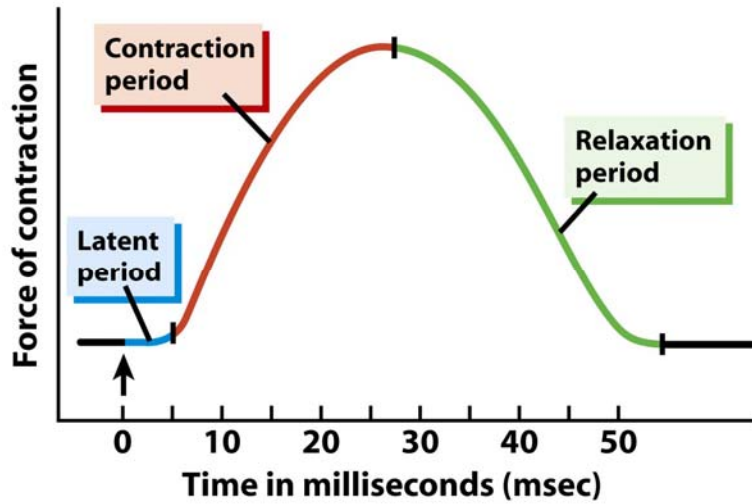


Figure 10-14 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e  
© 2006 John Wiley & Sons

33

# Summation of Contraction & Tetanic Contraction

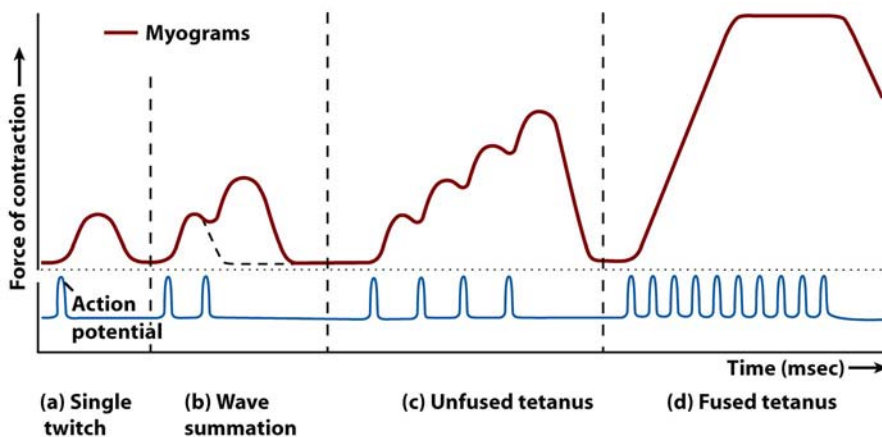


Figure 10-15 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e  
© 2006 John Wiley & Sons

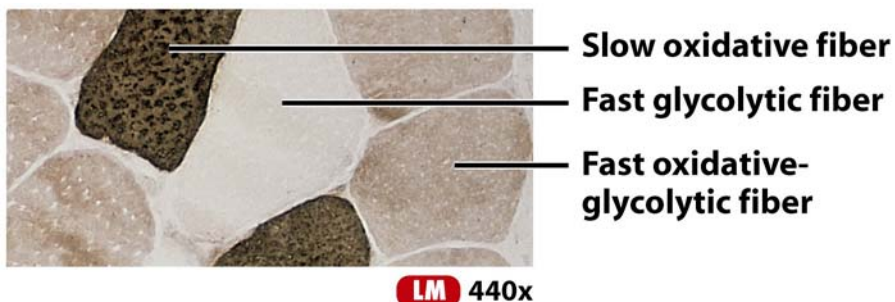
34

## 骨骼肌纖維的種類

特性	無氧快肌 (白肌)	有氧慢肌 (紅肌)	有氧快肌
肌凝蛋白ATP水解速率 (橫橋週期或收縮速率)	快	慢	快
有氧呼吸能力(粒線體、 myoglobin、微血管含量)	低	高	高
無氧呼吸能力 (肝醣含量)	高	低	中等
Muscle fiber直徑 (氧氣擴散距離)	大	小	中等
ATP主要來源	無氧呼吸	有氧呼吸	有氧呼吸
疲乏程度	容易	粉難	不容易

35

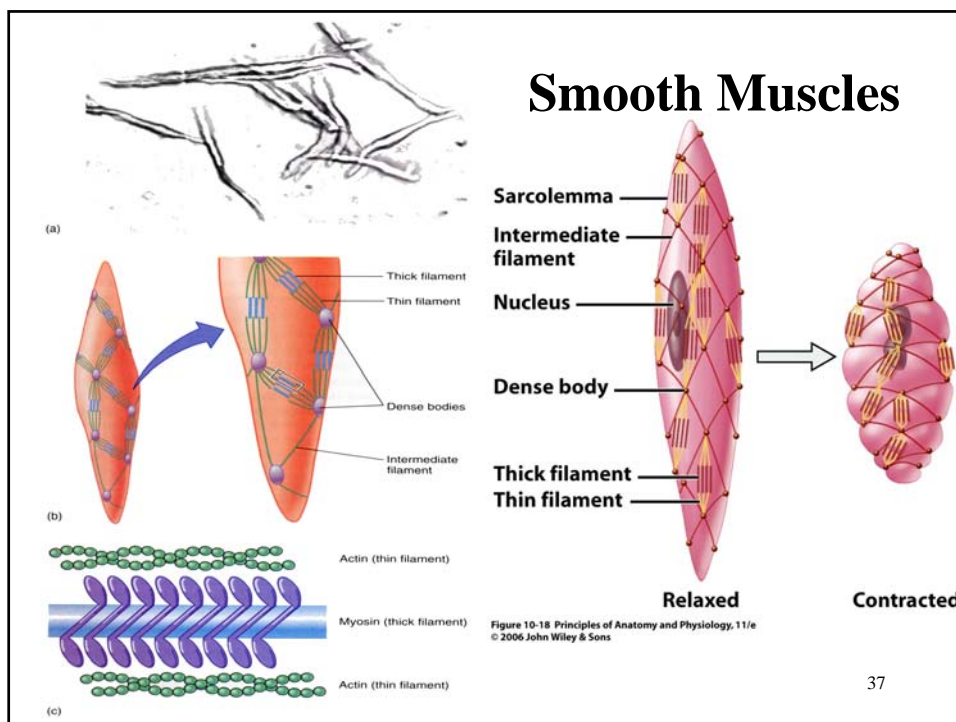
## 骨骼肌纖維的種類



**Transverse section of three types of skeletal muscle fibers**

Table 10-1 figure 1 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e  
© 2006 John Wiley & Sons

36



## 平滑肌的種類

名稱	特性
<b>單一單位平滑肌 (single-unit smooth muscles)</b>	(1) 產生自發性動作電位。例如: 膀胱、腸胃道等。 (2) 和心肌一樣，細胞與細胞間有gap junction的通道，利用電性突觸來傳導，因此平滑肌細胞形成一個單位一起行動(收縮)，所以稱之“單一”單位平滑肌。例如: 消化道管壁、子宮壁、小血管壁、輸尿管壁。
<b>多單位平滑肌 (multi-unit smooth muscles)</b>	(1) 沒有很多的gap junction，所以不是一個單位同時收縮，而是細胞獨立產生收縮。 (2) 具有豐富的自主神經支配，而且細胞和細胞間相當獨立。例如: 較大的動脈管壁、彩虹肌、輸精管、豎毛肌等。

# 平滑肌的種類

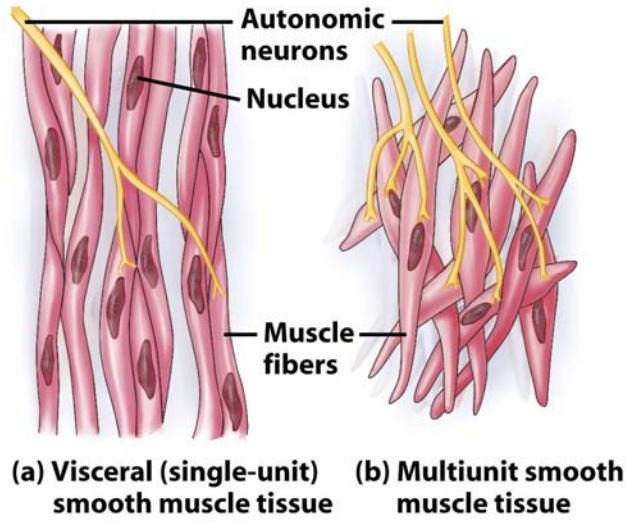
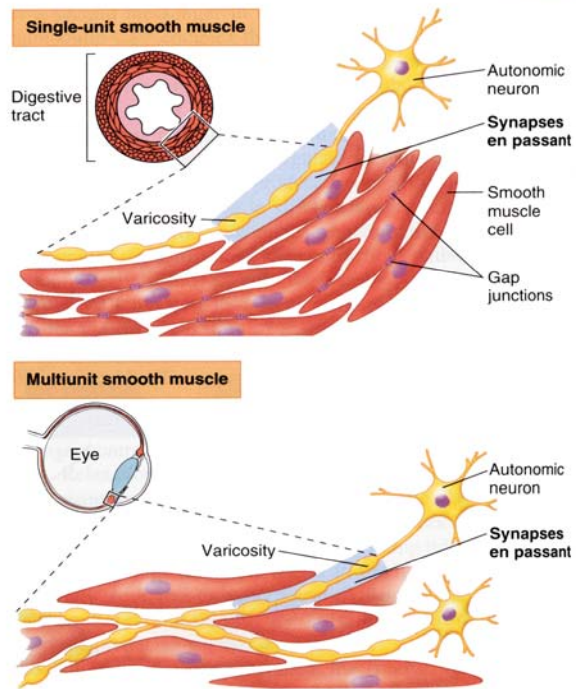


Figure 10-17 Principles of Anatomy and Physiology, 11/e  
© 2006 John Wiley & Sons

39



40

