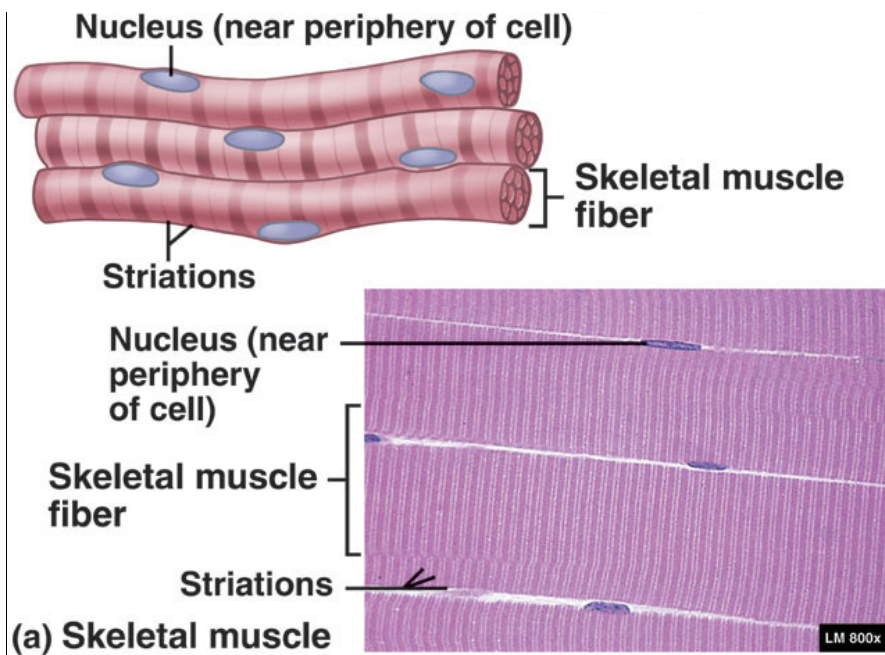


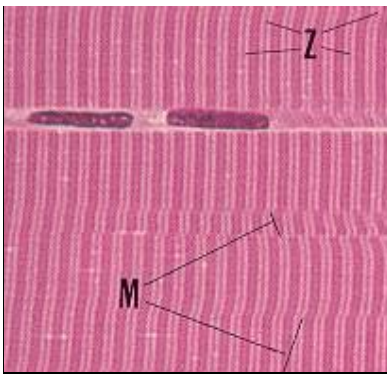
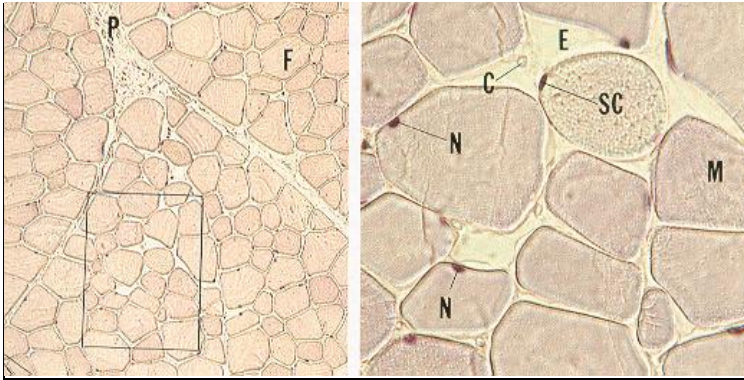
Muscle

Outlines:

1. 肌肉依據解剖學及功能分爲 **skeletal muscle**(骨骼肌)、**cardiac muscle**(心肌)、**smooth muscle**(平滑肌)三種。其中 **skeletal muscle** 和 **cardiac muscle** 都具有橫紋而被歸類爲 **striated muscle**(橫紋肌)；**smooth muscle** 則不具有橫紋而被歸類爲 **non-striated muscle**。
2. 肌肉組織由胚胎的 **mesoderm**(中胚層)發育而來，具有 **contractile protein** 而大量堆積細胞骨架，漸漸發育成可以收縮的肌肉組織。其中在最後一個階段由 **myotome** 發育成 **muscle** 時不同的肌肉組織有不同的變化，以骨骼肌爲例子，會先發育成單核的 **myoblast**，接著 **myoblast** 的細胞膜彼此 **fuse** 在一起，成爲管狀多核的 **myotube**，最後才形成骨骼肌，所以骨骼肌是高度分化的肌肉組織，平滑肌則比較原始。
3. 肌肉經過鍛鍊而變粗的原因：肌肉細胞內的 **cytoskeleton**(細胞骨架)變多，而不是肌細胞數目的增加。

Skeletal muscle ~ main structure





1. 骨骼肌的層級： **muscle** 整束的肌肉 → **muscle fasciculus** 肌束，由數條肌纖維構成 → **muscle fiber(muscle cells)** 肌纖維 == 肌細胞 → **myofibril(cytoskeleton)** 肌原纖維(細胞骨架)
2. 骨骼肌中也有許多結締組織，並有許多神經或血管穿過。和骨骼肌相關的結締組織有三：
 - a. **epimysium(deep fascia)** 肌外膜，又稱深肌膜，包圍著肌肉的最外圍
 - b. **perimysium** 肌束膜，區隔肌束和肌束的界線
 - c. **endomysium** 肌內膜，包圍在個別的 **muscle fiber** 外面

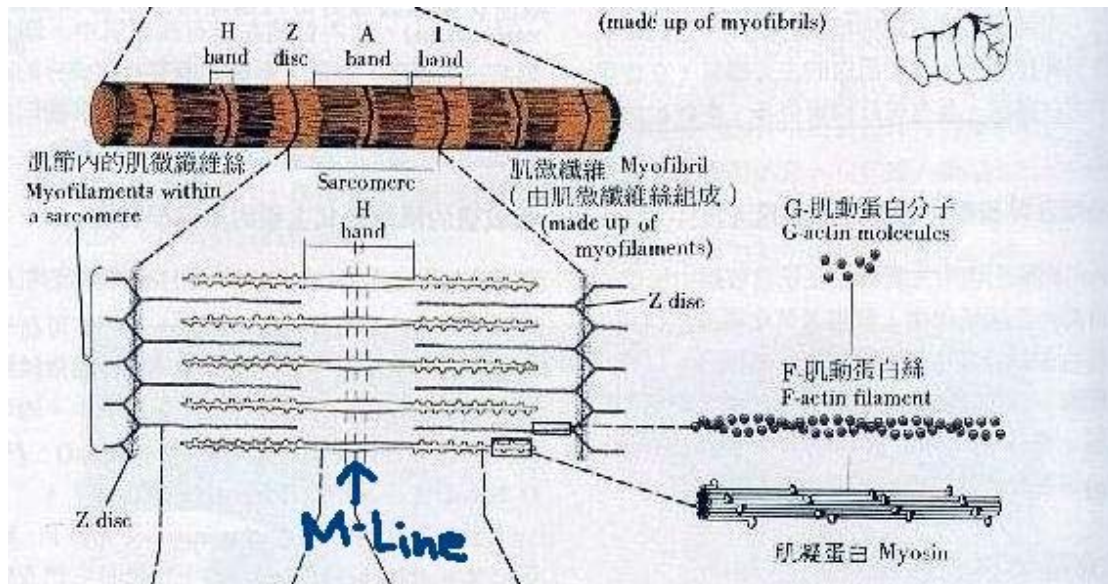
Skeletal muscle ~ muscle fiber (muscle cells)

Muscle fiber 等於 **muscle cells**，是組成肌肉的基本單元

1. **nuclei**: 肌細胞的細胞核有兩個特點~ **multi-nucleation**(多核)、**peripherally located**(核位於細胞邊緣)
2. **myofibrils** (肌原纖維，又稱 **myofilament**) 共有兩種

* **Myosin (thick) filaments:** 粗肌絲(又稱肌凝蛋白)，長約 $1.5\mu\text{m}$ ，寬約 15nm ，含有 2 heavy chains 及 2 pairs of light chains，在尾端形成 cross bridge 突起。

* **Actin (thin) filaments:** 細肌絲(又稱肌動蛋白)由 tropomyosin、troponin(含有 TnT、TnC、TnI 三種 subunits)、F-actin filaments(由 G-actin 組合成)所組合成。



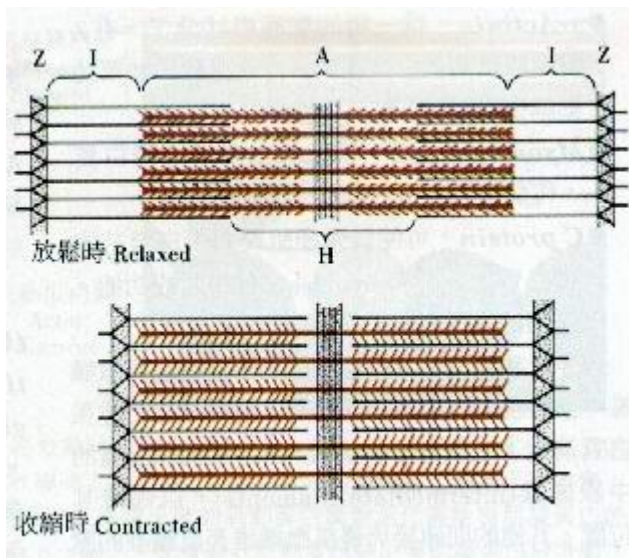
3. **Sarcomere (肌小節):** 組成 myofibrils 的基本單元，兩條 Z-line 之間即稱為 sarcomere，主要分成：
dark band 暗帶(anisotropic)---含有 A band、H band、M-line
light band 明帶(isotropic)---含有 I band、Z-line

4. **sarcoplasm (肌細胞質):** 含有 mitochondria、Golgi complex、glycogen、lipid droplets、myoglobin(肌蛋白，負責攜帶氧氣)、以及 sarcoplasmic reticulum(肌內質網，簡稱 SR)。SR 是由具有 tubules + terminal cisterna(管狀和末端膨大的構造)的 smooth ER (縮寫為 sER) 所組成，可以儲存 Ca^{2+} 。

5. **sarcolemma(肌細胞膜):** 肌細胞膜有一特殊的構造 ~ transverse tubules(簡稱 T-tubules)，發源自細胞膜，並向

內穿透。T-tubules和位於其兩側的cisterna(就是上面所介紹SR的terminal cisterna)合稱為Triad(三合體)，T-tubules可以傳遞來肌細胞膜表面的興奮，並傳至鄰近的cisterna使其釋放出 Ca^{2+} 。骨骼肌的T-tubules是在A、I-band的交界處，和心肌不同。

Skeletal muscle~ muscle contraction



1. Sliding filament theory

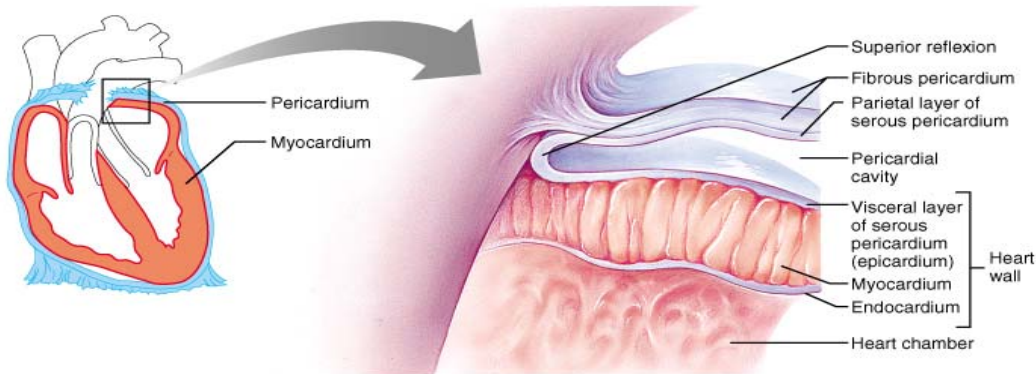
肌纖維絲滑動模型：(左圖)這是探討肌肉收縮運動的主要理論，當肌肉收縮時，以肌小節為單位，兩旁的Z-line會向中間移動，而連帶的使actin filaments也向中間移動而滑入myosin filaments之間的空隙，使整個肌小節收縮變小(但是肌原纖維的長度是不變的!)。透過此模型，可以看出肌小節收縮時，H-band和I-band都會縮小，其餘則不變

2. 肌原纖維的滑動機制：肌肉放鬆時，tropomyosin會佔據actin filaments上的活化區，使其無法和myosin filament的cross bridge作用；肌肉收縮時，troponin上的TnC和 Ca^{2+} 結合，導致tropomyosin離開actin上面的活化區(註)，使actin的活化區可以和cross bridge作用，許多cross bridge一起作用便使actin filaments沿著myosin filaments滑動，接著就是整個肌小節的縮小了。

(註)troponin 透過 TnT 和 tropomyosin 連接來調控其狀態，而TnI 的功能為抑制 actin-myosin interaction。

Cardiac muscle (心肌)

- 心臟壁 (heart wall)，分爲 **epicardium** (心外膜)、**myocardium** (心肌層) 和 **endocardium** (心內膜) 三部份。

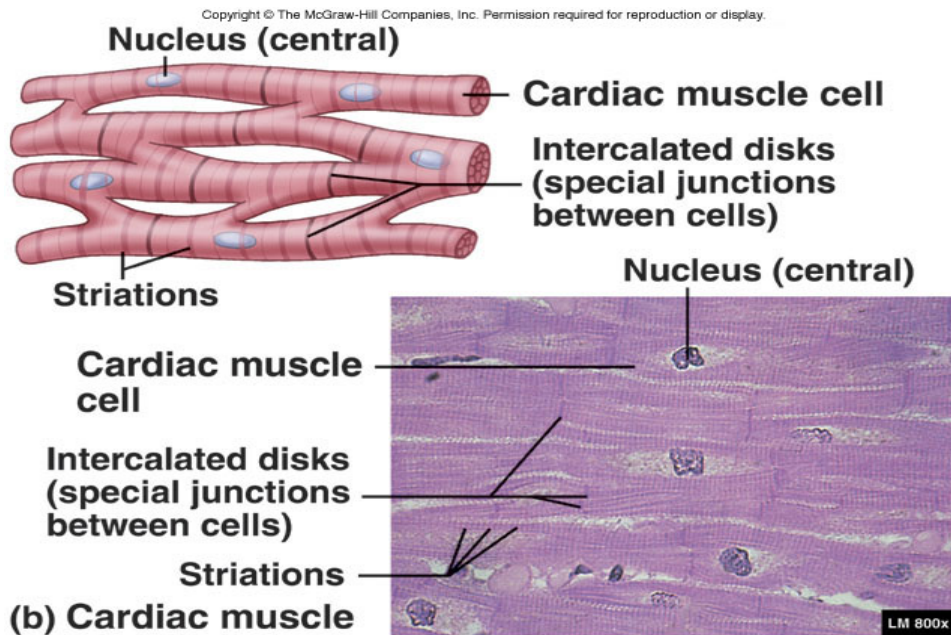


Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

- epicardium** 其實是 **visceral layer of serous pericardium**, **pericardium** 有三層，屬於 **connective tissue**
 - myocardium** 含有心肌及結締組織
 - endocardium** 由單層扁平的內皮細胞 (**endothelium**) (在最內側) 和少量結締組織構成
- Purkinje fiber**: 位於心室中隔，靠近 **endocardium** 的地方，不是神經組織，而是特化的心肌細胞，功能是傳遞電位衝動，比一般心肌細胞大，一個接一個形成 **fiber**，含少量的 **myofibril**。顯微鏡下找 **cells of Purkinje fiber** 的要點：**near endocardium**，細胞肥大、淡染且排列在一起。
 - 以下介紹心肌細胞的一些特徵
 - cardiac muscle cells** 一個接一個排列，細胞會分叉 (**branch**) 再連接另一細胞，形成網狀結構，而細胞間有 **connective tissue**，含許多微血管等
 - 心肌細胞縱切可觀察到橫紋及 **intercalated disc** (光圈要調小)；橫切則看到形狀 不規則，有大有小的構造，有的有核 (骨骼肌橫切則是規則的形狀)
 - nucleus**: **one or two** (較少)，**centrally located**，

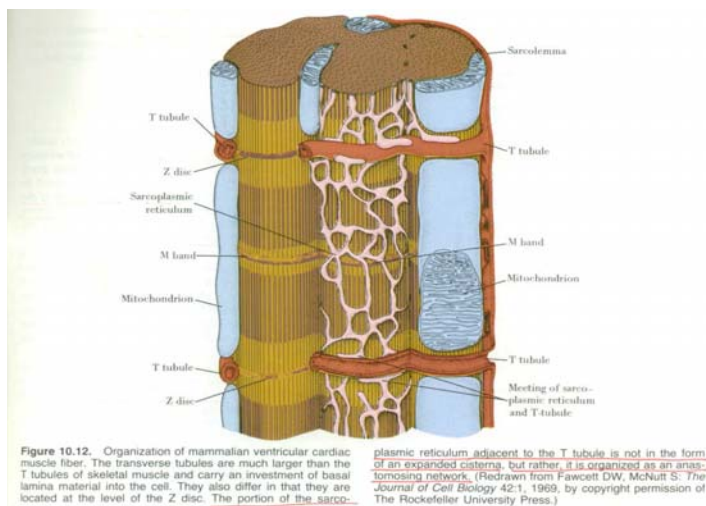
pale-staining

(d) myofibrils : similar to skeletal muscle , 排列整齊 , 形成橫紋



(e) sarcoplasm :

- 1) 量比 skeletal muscle cell 多
- 2) numerous mitochondria → continuous aerobic metabolism in heart muscle
- 3) numerous lipid droplets → fatty acids (the major fuel of the heart) are stored as triglycerides in lipid droplets
- 4) sarcoplasmic reticulum: 有 tubules 構造 , 但沒有 terminal cisterna 的池狀構造 , 所以不會形成 triad



(f) sarcolemma :

1) T-tubule located at Z-line

2) cell 間有連結的構造，稱為 **intercalated disc**，由 **desmosome (macula adherens)**，**gap junction (nexus)** 以及 **fascia adherens (簡寫 FA) (zonula adherens)** 三種構造組成

細胞以指狀突起 (**intercalated disc**) 互相緊密連結，此方式也可增加接觸表面積。

電子顯微鏡下的 **intercalated disc** 部分

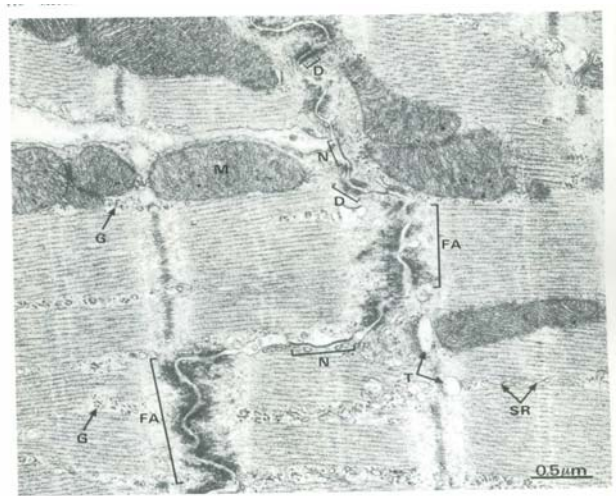


Fig. 6.22 Cardiac muscle: intercalated disc (EM × 31 000)
Intercalated discs are specialized transverse junctions that occur less frequently and provide anchorage for...

FA : fascia adherens ; D : desmosome

N : nexus (就是 gap junction)

※心肌細胞的重要特徵：有分叉、有橫紋、有 **intercalated disc**

※簡述 **skeletal muscle** 和 **cardiac muscle** 從細胞層級看有何不同

1) 前者的 **T-tubule located at A-I junction** ; 後者的 **T-tubule located at Z-line**

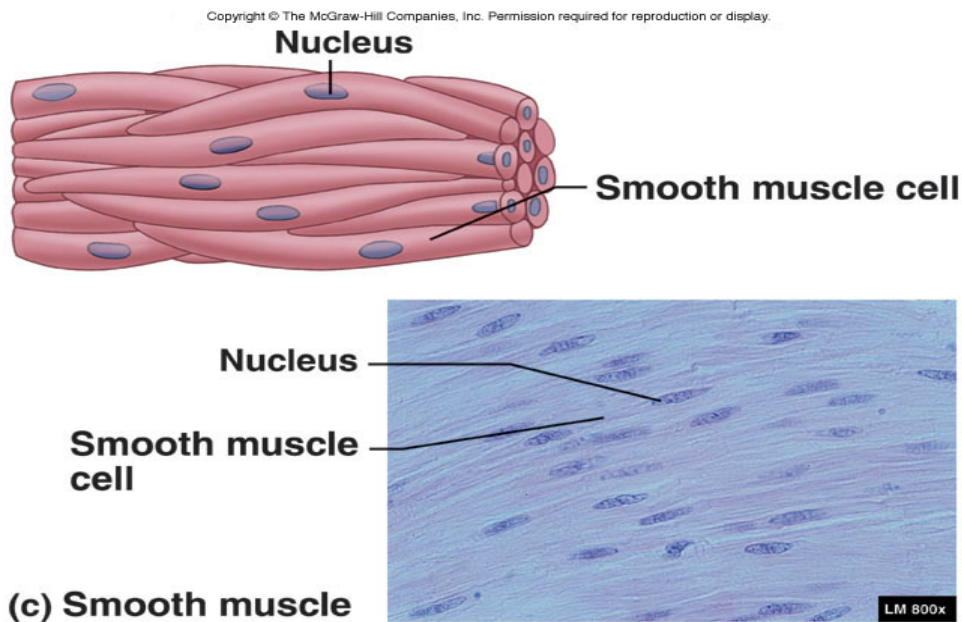
2) 前者有 **triad** 之構造 ; 後者則沒有 **triad**

3) 前者沒有 **intercalated disc** ; 後者有 **intercalated disc**

Smooth muscle (平滑肌)

1. 平滑肌細胞保有 **mesenchyme** 原始細胞的形狀 → 紡錘狀

(**spindle-shaped**)，分布在腸胃道的壁 (**gastrointestinal tract**) 和動脈、大型靜脈的壁上 (**wall of vessels**)。



(c) **Smooth muscle**

2. 以下介紹平滑肌細胞的特徵

(a) **nucleus** : **one, centrally located**。肌肉收縮時細胞受到擠壓，此時的細胞核呈螺旋狀 (蚯蚓狀)

(b) **myofibrils** :

1) 也有 **actin** 和 **myosin**，但是呈不規則排列 (**less orderly arranged**) → **no striation**

2) 有 **dense body** 的構造 → **similar to Z-line**，**actin** 就連接在 **dense body** 上

(c) **sarcoplasm** : **various organelles, poor sarcoplasmic reticulum**

(d) **sarcolemma** :

1) **no T-tubule**

2) 肌肉收縮時需要的 Ca^{2+} ，是以 **caveolae** 或 **vesicles** 的構造直接將 Ca^{2+} 攝取進來。**caveolae** → 細胞膜形成凹陷；**vesicles** → 位於膜下的小泡

3) 有發達的 **gap junction**，傳遞電位訊息

(e) 細胞橫切看起來一圈一圈，細胞間有少量結締組織，內含 **reticular fibers**，微血管很少

3. 以小腸為例，小腸最內側有 **simple columnar epithelium**，外側有平滑肌以內環外縱的方式排列。小腸橫切面→環走平滑肌被縱切，縱走平滑肌被橫切；小腸縱切面→環走平滑肌被橫切，縱走平滑肌被縱切。
4. 血管壁的平滑肌是環走的。動脈壁的平滑肌較厚，等粗的靜脈只有薄薄一層的平滑肌。