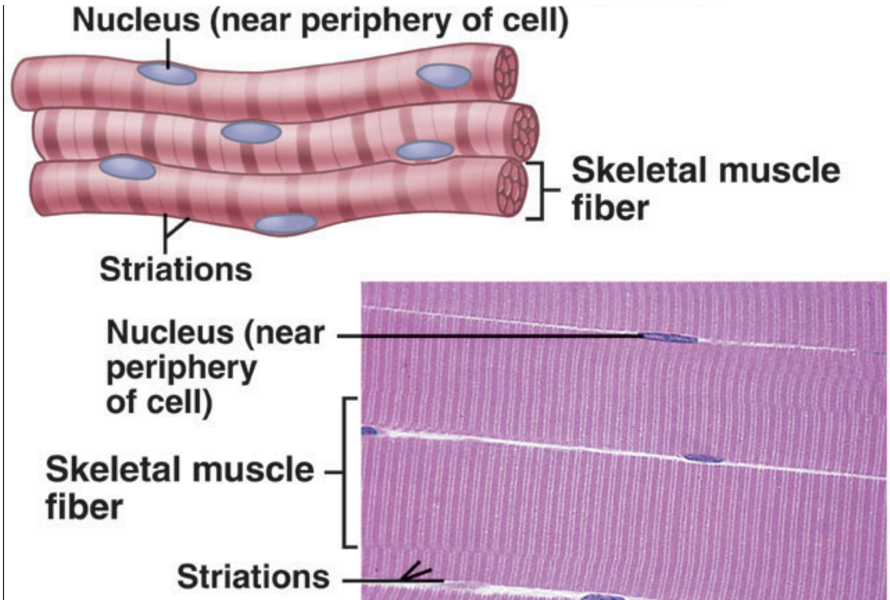
Muscle

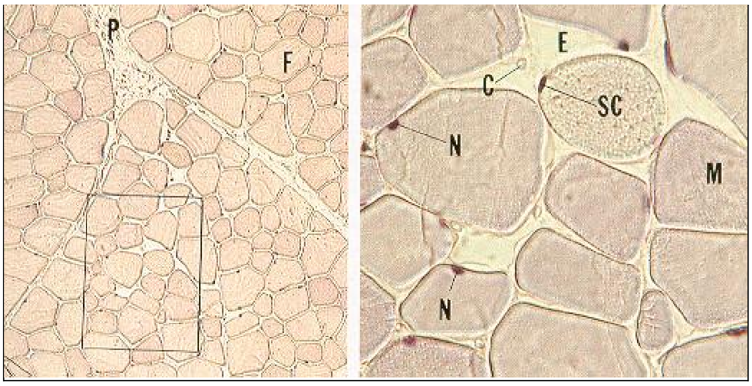
Outlines:

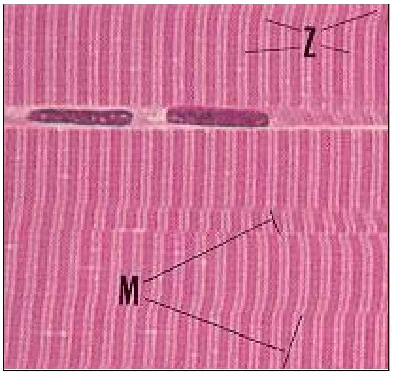
1. 肌肉依據解剖學及功能分為 **skeletal muscle**(骨骼肌)、**cardiac muscle**(心肌)、**smooth muscle**(心肌)三種。其中 **skeletal muscle** 和 **cardiac muscle** 都具有橫紋而被歸類為 **striated muscle**(橫紋肌);**smooth muscle** 則不具有橫紋而被歸類為 **non-striated muscle**。
2. 肌肉組織由胚胎的 **mesoderm**(中胚層)發育而來，具有 **contractile protein** 而大量堆積細胞骨架，漸漸發育成可以收縮的肌肉組織。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，以骨骼肌為例子，會先發育成單核的 **myoblast**，接著 **myoblast** 的細胞膜彼此 **fuse** 在一起，成為管狀多核的 **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



(a) Skeletal muscle





1. 骨骼肌的層級： **muscle** 整束的肌肉 → **muscle faciculus** 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

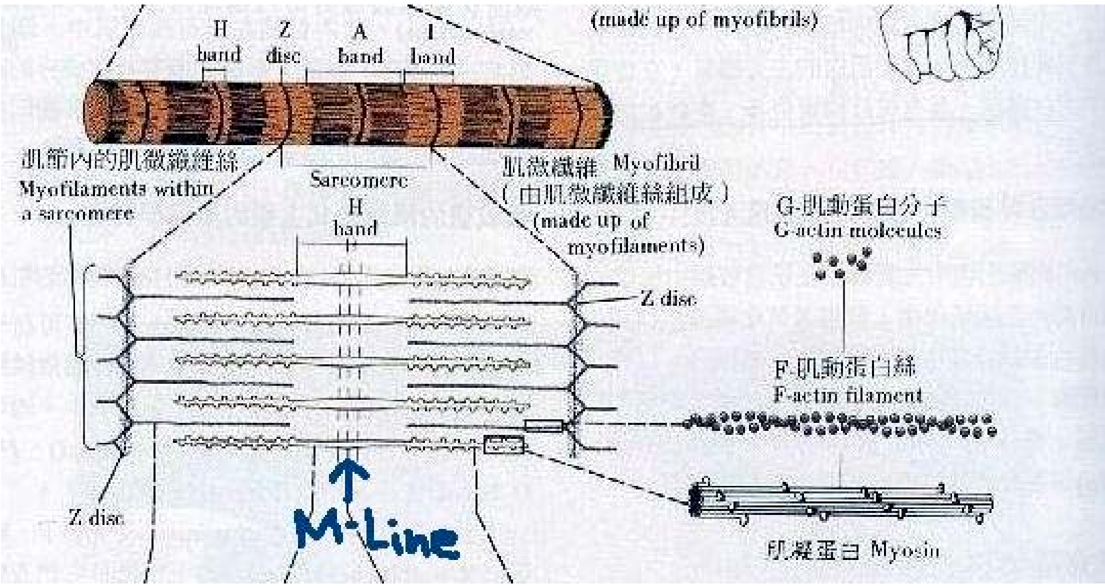
Skeletal muscle ~ muscle fiber (muscle cells)

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 1.5μm，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。

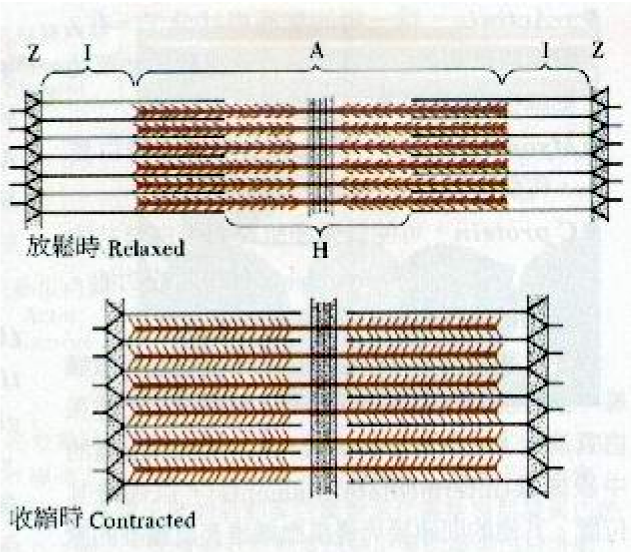


3. Sarcomere (肌小節): 組成 myofibrils 的基本單元，兩條 Z-line 之間即稱為 sarcomere，主要分成:
   dark band 暗帶(anisotropic)---含有 A band、H band、M-line
   light band 明帶(isotropic)---含有 I band、Z-line

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 cicterna**)合稱爲**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

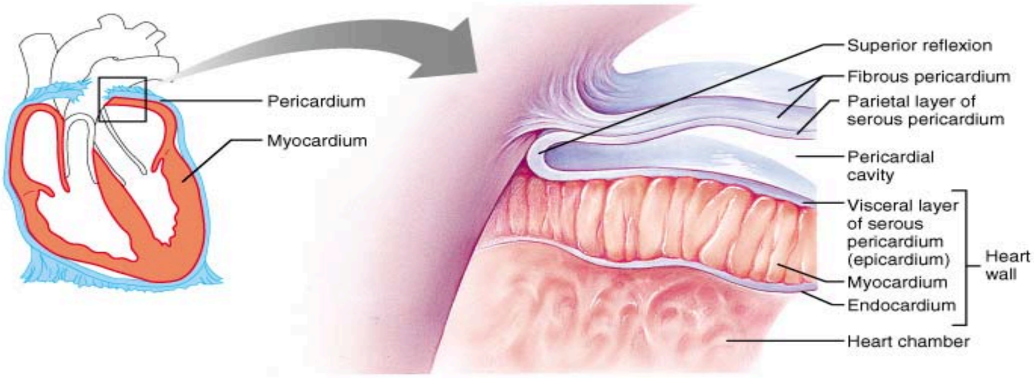


1. **Sliding filament theory** 肌纖維絲滑動模型:(左圖)這是探討肌肉收縮運動的主要理論，當肌肉收縮時，以肌小節爲單位，兩旁的 **Z-line** 會向中間移動，而連帶的使 **actin filaments** 也向中間移動而滑入 **myosin filaments** 之間的空隙，使整個肌小節收縮變小(但是肌原纖維的長度是不變的!)。透過此模型，可以看出肌小節收縮時，**H-band** 和 **I-band** 都會縮小，其餘則不變
2. 肌原纖維的滑動機制：肌肉放鬆時，**tropomyosin**會佔據**actin filaments**上的活化區，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** 的功能爲抑制 **actin-myosin interaction**。

Cardiac muscle（心肌）

1. 心臟壁（heart wall），分為<u>epicardium</u>（心外膜）、<u>myocardium</u>（心肌層）和<u>endocardium</u>（心內膜）三部份。



(a) epicardium 其實是 visceral layer of serous pericardium，pericardium 有三層，屬於 connective tissue

(b) myocardium 含有心肌及結締組織

(c) 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

2. <u>Purkinje fiber</u>： 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。

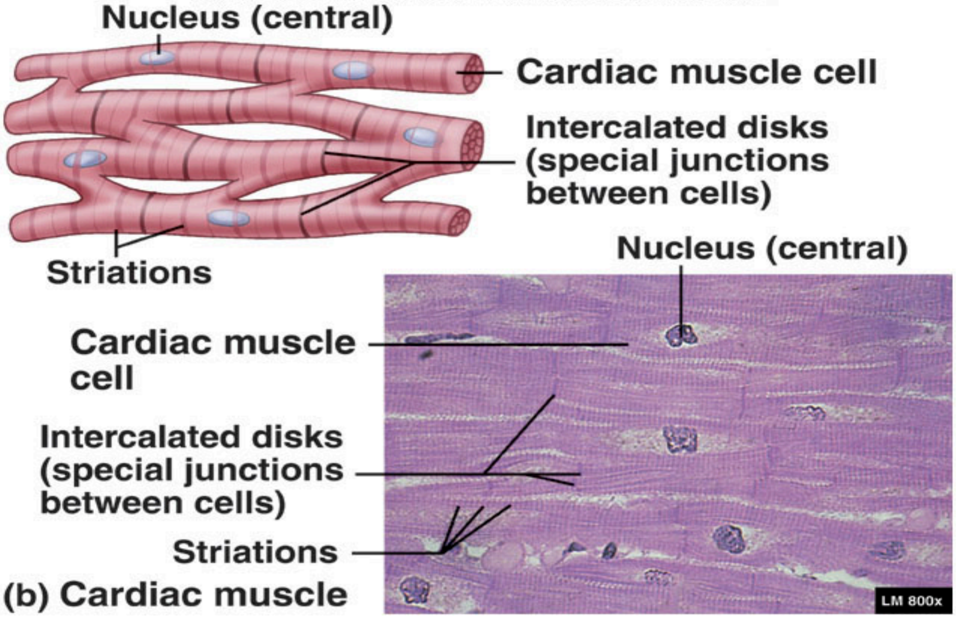
3. 以下介紹心肌細胞的一些特徵

(a) 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

(b)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<u>不規則</u>，有大有小的構造，有的有核（骨骼肌橫切則是規則的形狀）

(c) nucleus： one or two（較少），centrally located， pale-staining

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



(b) Cardiac muscle

(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

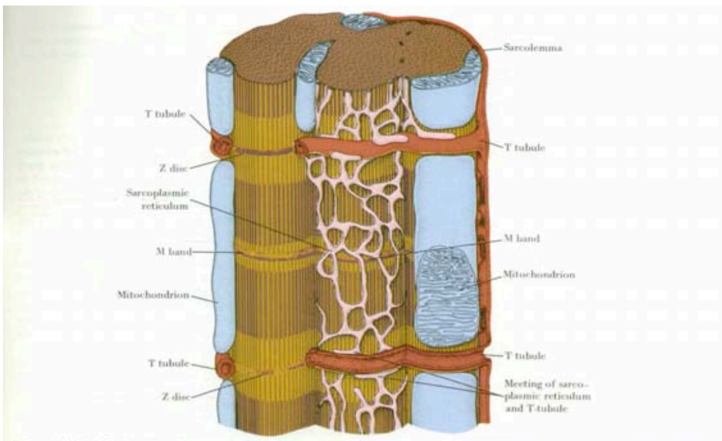


Figure 10.12. Organization of mammalian ventricular cardiac muscle fiber. The transverse tubules are much larger than the T tubules of skeletal muscle and carry an investment of basal lamina material into the cell. They also differ in that they are located at the level of the Z disc. The portion of the sarcoplasmic reticulum adjacent to the T tubule is not in the form of an expanded cisterna, but rather, it is organized as an anastomosing network. (Redrawn from Fawcett DW, McNutt S: *The Journal of Cell Biology* 42:1, 1969, by copyright permission of The Rockefeller University Press.)

(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

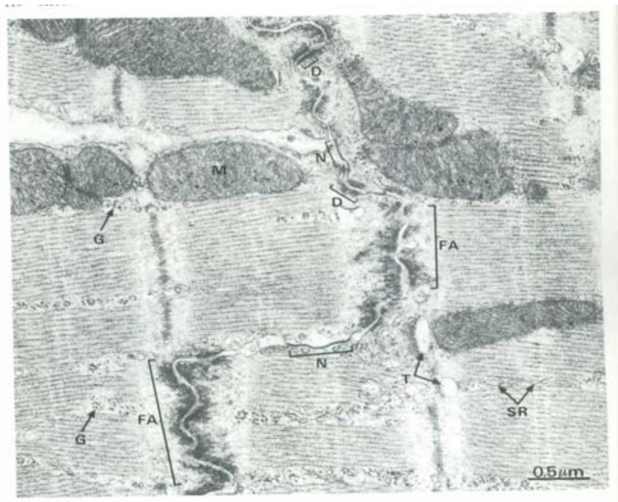


Fig. 6.22 Cardiac muscle: intercalated disc

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

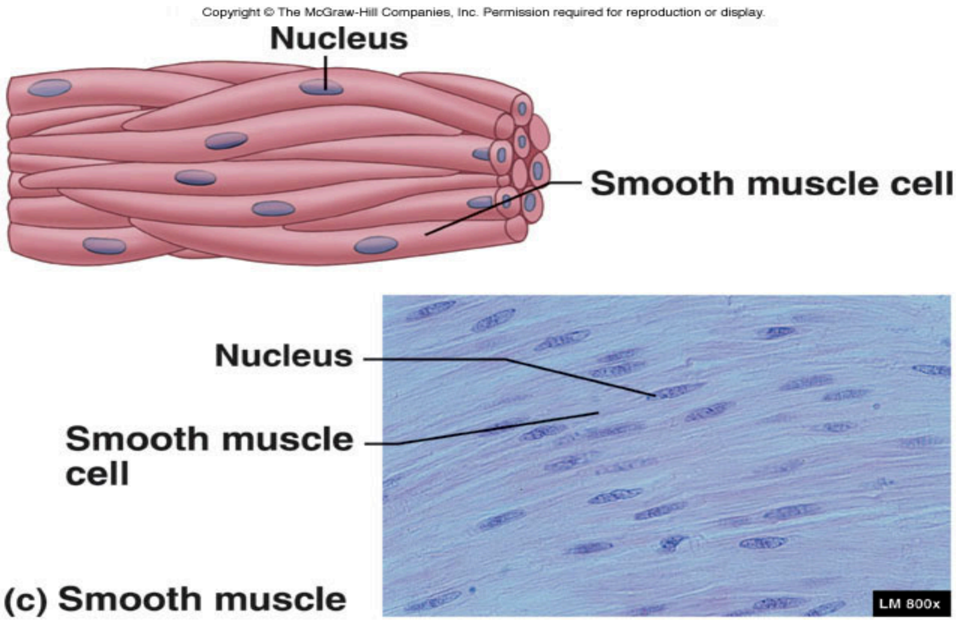
2) 前者有 triad 之構造；後者則沒有 triad

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）。



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. 以小腸爲例，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。