

2017年6月8日

2年次前期

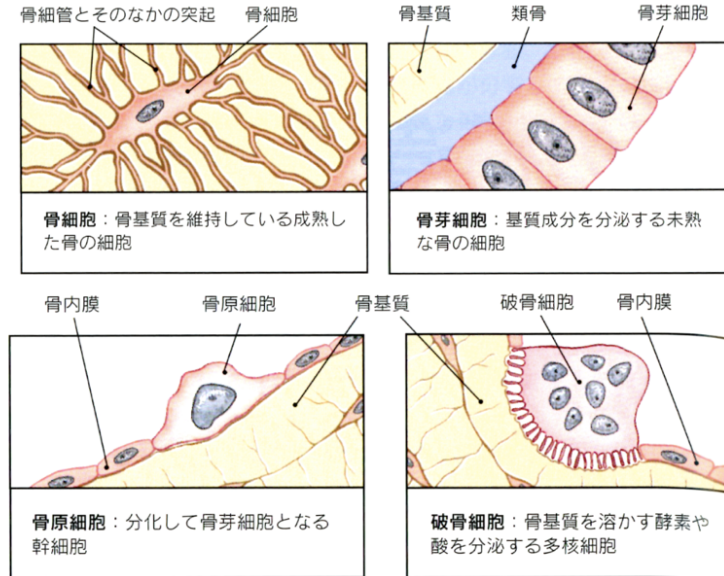
組織学総論

第8回 筋 Muscle

滋賀医科大学 解剖学講座

AP

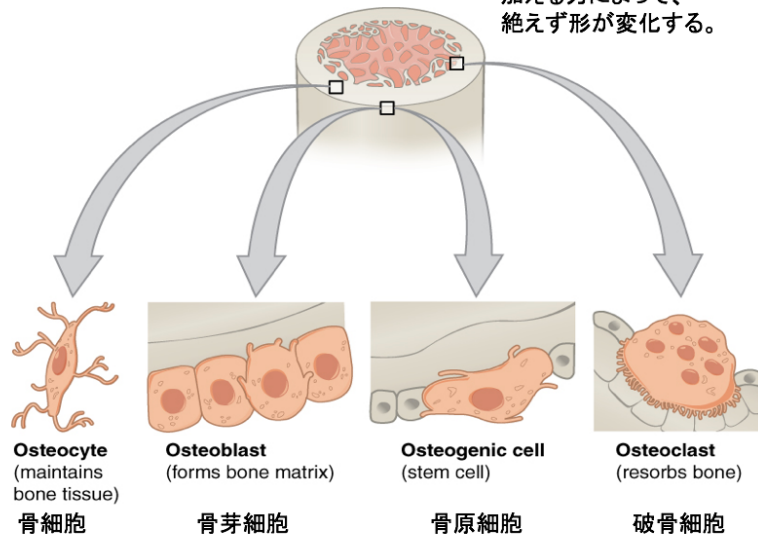
骨を構成する細胞



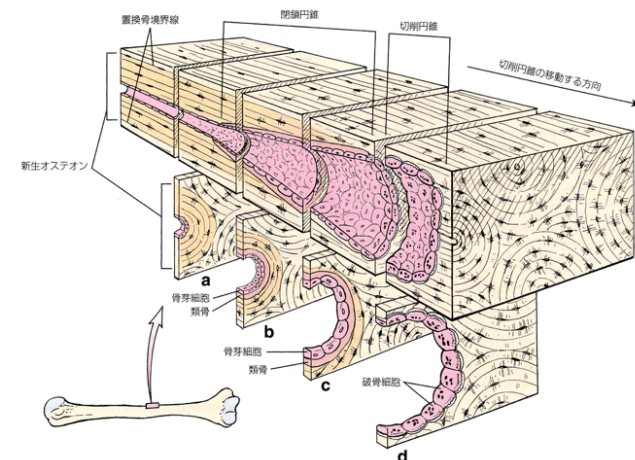
カラー人体解剖学

骨を構成する細胞

骨は人体でもっとも硬い組織だが、加える力によって、絶えず形が変化する。



骨のリモデリング



Ross組織学

緻密骨の中の骨細胞(osteocyte)

P.118

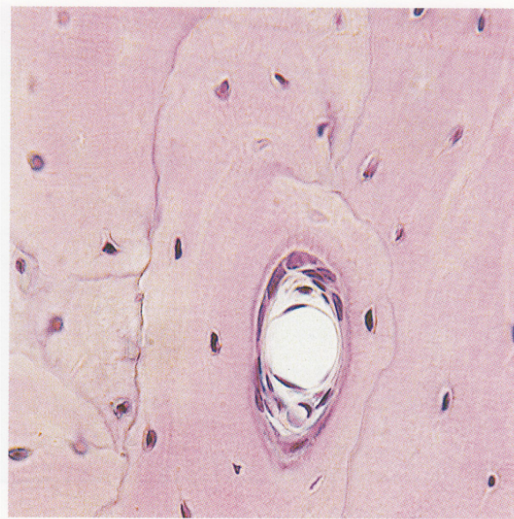
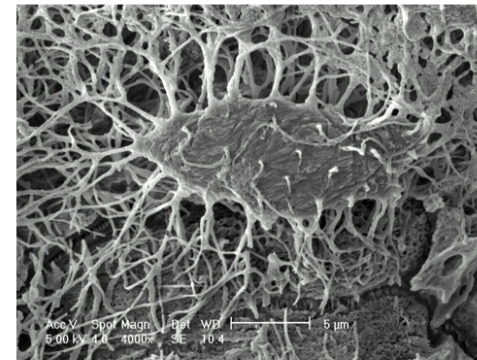


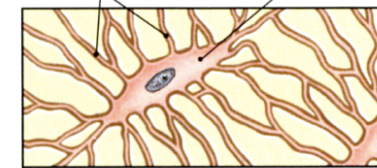
図7-5 脱灰した緻密骨の光学顕微鏡写真(×500)。骨小腔のなかに骨細胞が観察できる。オステオンと接合線にも注意。

骨細胞 osteocyte

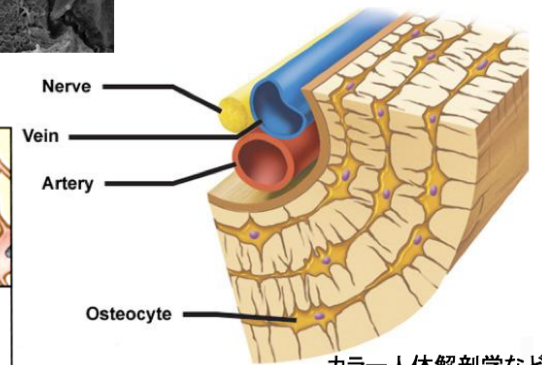
骨小腔に存在。
血液と連絡してカルシウム代謝に関わる



骨細胞とそのなかの突起 骨細胞

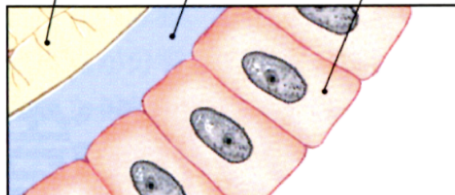


骨細胞：骨基質を維持している成熟した骨の細胞



カラー人体解剖学など

骨基質 類骨 骨芽細胞



骨芽細胞：基質成分を分泌する未熟な骨の細胞

骨芽細胞 osteoblast

自ら分泌した骨基質につつまれて成熟した骨細胞になる。

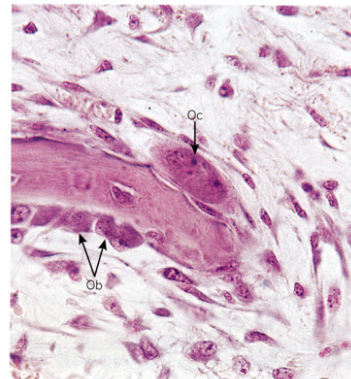
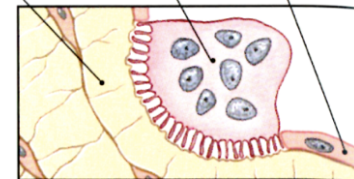


図7-6 膜内骨化の光学顕微鏡写真(×500)。骨芽細胞(Ob)は骨針の表面に並んでおり、類骨を分泌している。破骨細胞(Oc)はハウシップ侵蝕(食)窩のなかに見られる。

骨基質 破骨細胞 骨内膜



破骨細胞：骨基質を溶かす酵素や酸を分泌する多核細胞

破骨細胞 osteoclast

P.119

多核の巨大細胞
酸を分泌して骨を溶かす(骨融解)
骨芽細胞の働きのバランスによって、
骨代謝が行われる。
バランスの崩れ ex. 骨粗しょう症

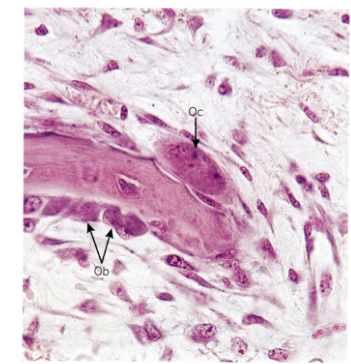


図7-6 膜内骨化の光学顕微鏡写真(×500)。骨芽細胞(Ob)は骨針の表面に並んでおり、類骨を分泌している。破骨細胞(Oc)はハウシップ侵蝕(食)窩のなかに見られる。

破骨細胞の機能

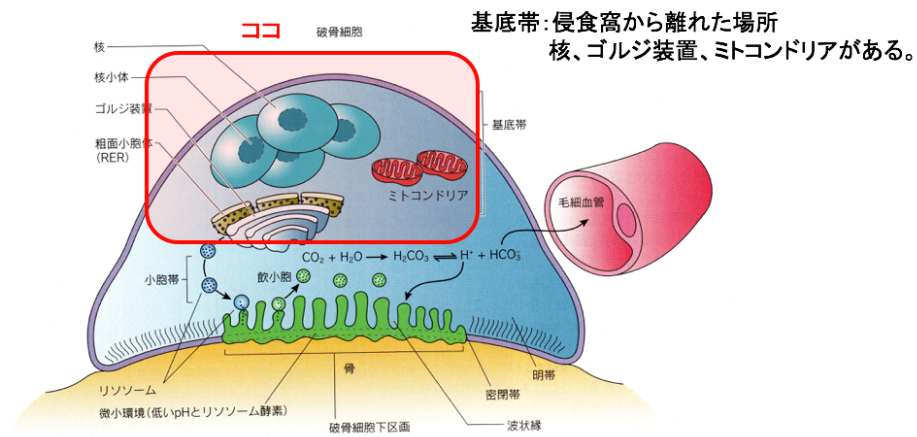


図7-8 破骨細胞の機能を示す模式図。(Gartner LP, Hiatt JL, Strum JM: Cell Biology and Histology [Board Review Series]. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 1998, p 100.より)

破骨細胞の機能

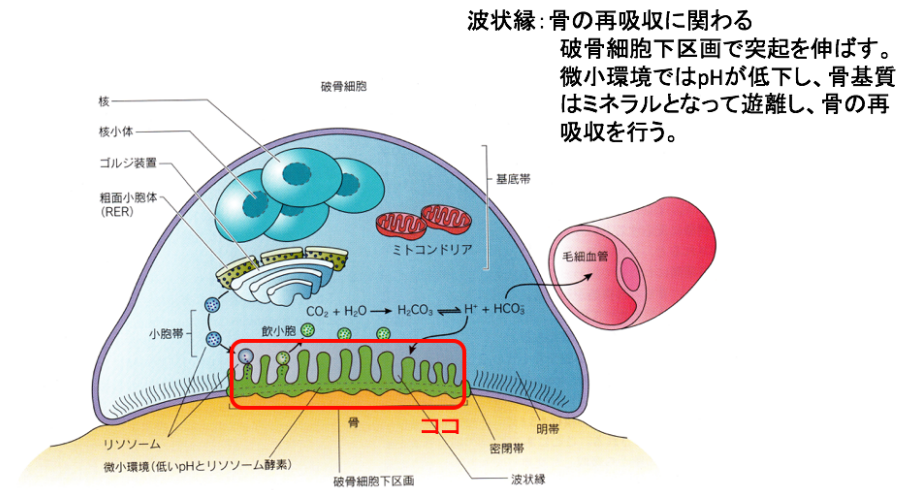


図7-8 破骨細胞の機能を示す模式図。(Gartner LP, Hiatt JL, Strum JM: Cell Biology and Histology [Board Review Series]. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 1998, p 100.より)

破骨細胞の機能

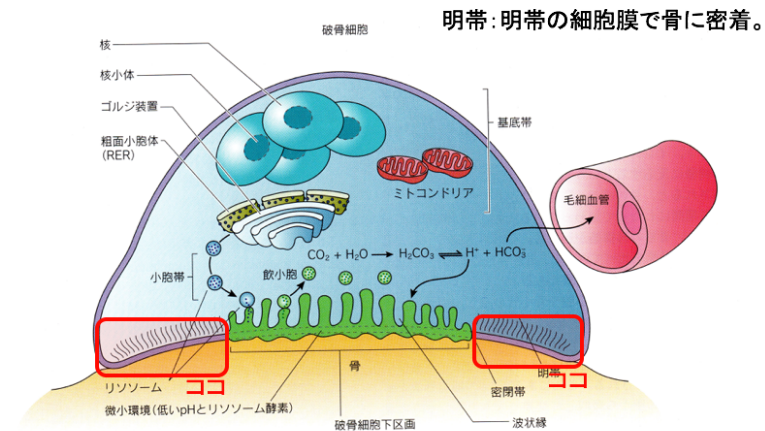


図7-8 破骨細胞の機能を示す模式図。(Gartner LP, Hiatt JL, Strum JM: Cell Biology and Histology [Board Review Series]. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 1998, p 100.より)

破骨細胞の機能

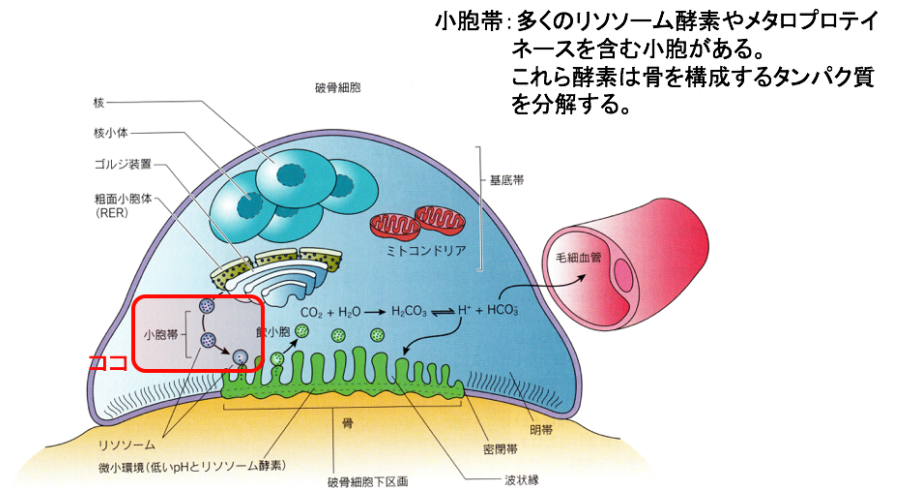


図7-8 破骨細胞の機能を示す模式図。(Gartner LP, Hiatt JL, Strum JM: Cell Biology and Histology [Board Review Series]. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 1998, p 100.より)

骨の発生

- ①膜内骨化
- ②軟骨内骨化

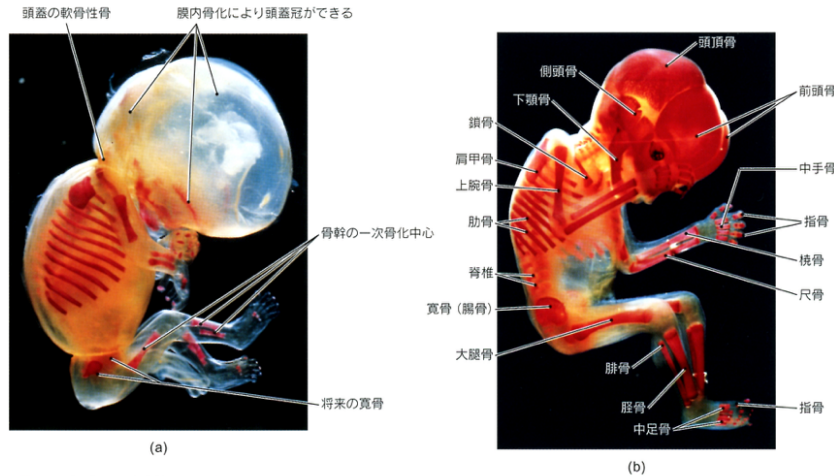
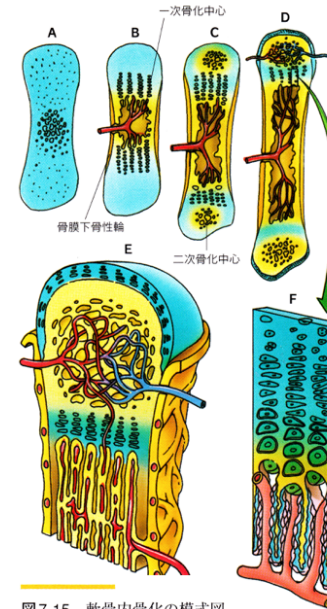


図 5-6 胎児における膜内骨化と軟骨内骨化
発達中の骨格要素を示すために、アリザリンレッドを用いて染色し透徹してある。
(a) 10 週齡。頭蓋に膜性骨と軟骨性骨の両方が見られるが、頭蓋骨の境界はまだ確定していない。
(b) 16 週齡。頭蓋には頭蓋骨の不規則な辺縁が見える。四肢の骨格のほとんどは軟骨内骨化によって作られる。10 週齡に比べ 16 週齡では、手首や足首の骨がはっきりしていることに注意。

カラー人体解剖学

骨の形成(軟骨内骨化)

長骨、短骨の形成



A. 硝子軟骨からなる鋳型が生じる

B. 血管が侵入し(一次骨化中心)し、骨膜ができる。骨化すると元の軟骨に栄養がいかないので死滅する。破骨細胞が骨膜下骨性輪に穴をあけて、内部に侵入。骨原細胞や毛細血管が侵入し、骨基質を作る。石灰化軟骨/石灰化骨複合体が生じる。破骨細胞が石灰化軟骨/石灰化骨複合体を破壊して、骨腔が生じる。

B→C→D 骨膜下骨輪が肥厚し、骨端にむかって成長する。

C. 骨端に二次骨化中心が生じる。
一次骨化と同じだが、骨膜下骨輪は生じない。

D,F 石灰化軟骨/石灰化骨複合体が見られ、これは骨端線になる。

E 二次骨化中心の拡大図

図 7-15 軟骨内骨化の模式図。

骨の形成(軟骨内骨化)

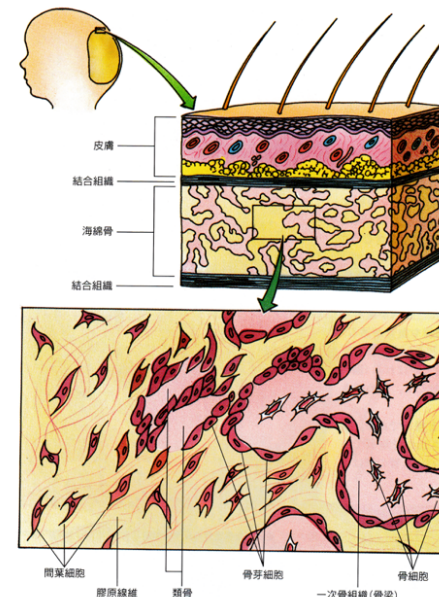
長骨、短骨の形成
鋳型(硝子軟骨)から骨ができる

表 7-3 軟骨内骨化の過程

過程	解説
硝子軟骨モデルの形成	発生しつつある胚の一部に、小さな硝子軟骨モデルが形成され、そこから骨が発生する。いくつかの軟骨細胞は成熟して大きくなり、やがて死ぬ。軟骨基質は石灰化する。
一次骨化中心	
骨幹の中央で、軟骨膜に血管が侵入	軟骨膜に血管が侵入すると、軟骨膜が骨膜に変化する。
骨芽細胞が基質を分泌し、骨膜下骨輪を形成	骨膜下骨輪は一次骨で形成される(膜内骨化)。
骨幹の芯にある軟骨細胞が肥大化し、死滅して変性	骨膜と骨があるため、軟骨細胞に栄養が拡散されない。軟骨細胞が変性し、軟骨中隔に大きな空所が生じる。
破骨細胞が骨膜下骨輪に孔を開け、骨形成芽が進入	骨原性細胞や毛細血管が孔を通して軟骨モデルに侵入すると、石灰化をきたして骨基質を作り始める。
石灰化軟骨/石灰化骨複合体の形成	石灰化軟骨の中隔に沈着した骨基質はこの複合体を作る。組織学的には、石灰化軟骨は青く、石灰化骨は赤く染まる。
破骨細胞は石灰化軟骨/石灰化骨複合体の吸収を開始	石灰化軟骨/石灰化骨複合体が破壊されて髄腔が拡大する。
骨膜下骨輪は肥厚し、骨端に向かって成長し始める	一定の時期を過ぎると、骨幹軟骨は完全に骨に置換される。
二次骨化中心	
骨端で骨化が開始	一次骨化中心と同様に骨化が始まるが、骨膜下骨輪は生じない。骨芽細胞は石灰化軟骨骨格に骨基質を沈着させる。
骨端板で骨が成長	骨の関節軟骨はそのまま残る。骨端板は存続して、骨端板の骨端側で成長する。骨端板の骨幹側で骨が付加される。
骨端と骨幹が結合	骨成長の最終段階では、骨端板は増殖を停止する。骨成長は骨幹と骨端が融合するまで続く。

膜内骨化の模式図

大部分の扁平骨の作り方



間葉組織の中で骨形成

間葉細胞は直接骨芽細胞に分化

血管系に富む環境で起きるので、網目構造(骨梁など)を形成する。

骨梁の膠原線維が不規則に走り、その中に類骨が生じる。

類骨の中に骨細胞、周囲に骨芽細胞がある。

図 7-13 膜内骨化の模式図。

膜内骨化中の骨細胞

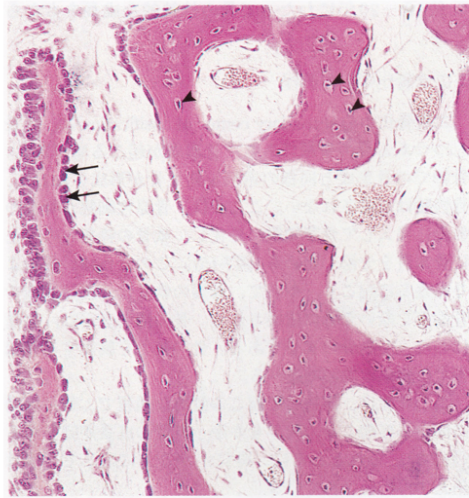
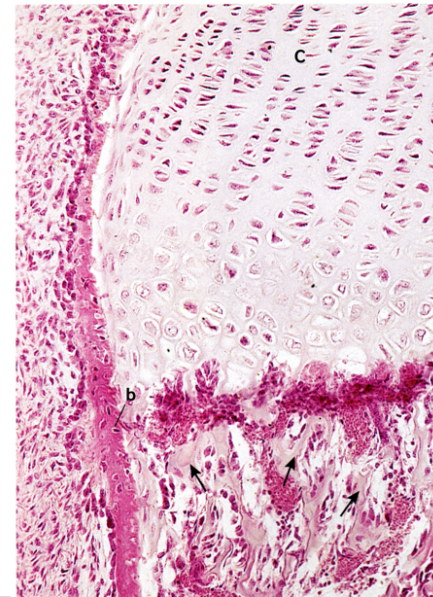


図7-14 膜内骨化の光学顕微鏡写真(×122)。骨梁が表面に並んでいる骨芽細胞によって形成されている(矢印)。骨小腔に閉じ込められた骨細胞(矢頭)が観察される。原始的なオステオンが形成され始めている。

骨の形成(軟骨内骨化)



軟骨から骨への移行部分

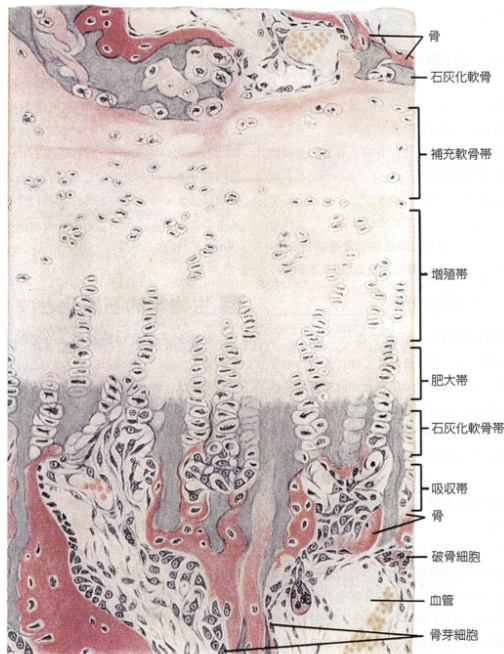
上半分は軟骨((C: cartilage)

移行部では軟骨細胞と骨基質(矢印)が混ざって存在する。

骨化すると軟骨は死んで石灰化する。(bで示した)

図7-17 軟骨内骨化の光学顕微鏡写真(×13)。写真の上半分は、成熟し、肥大し、表面が石灰化をきたした軟骨細胞を含む軟骨(C)。下半分では、石灰化した軟骨あるいは骨基質(矢印)が吸収され始め、骨(b)が形成されている。

軟骨内骨化による骨成長



Ross組織学

骨の形成(軟骨内骨化)での軟骨細胞

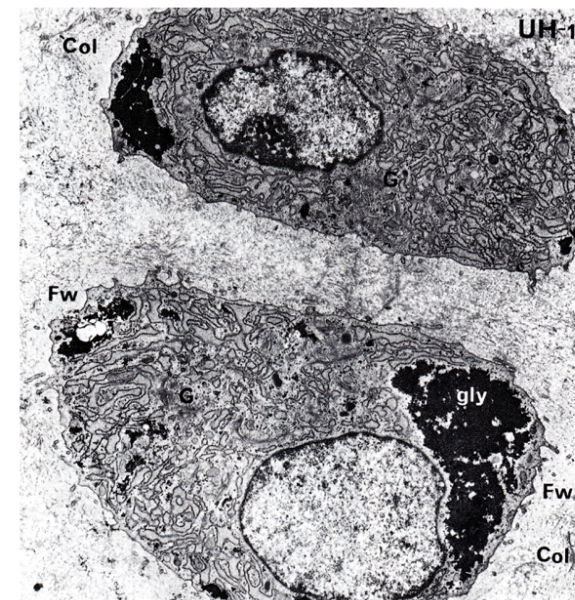


図7-18 成長している下顎頭の、肥大帯の軟骨細胞の電子顕微鏡写真(×83,000)。多数の粗面小胞体と発達しつつあるゴルジ装置(G)が観察される。細胞の一端にあるグリコーゲン(gly)の集積に注意。これは死を迎える直前の特徴である。Col: 膠原繊維, Fw: 細胞領域基質。(Marchi F, Luder HU, Leblond CP: Changes in cells' secretory organelles and extracellular matrix during endochondral ossification in the mandibular condyle of the growing rat. Am J Anat 190: 41-73, 1991, より)

破骨細胞の電子顕微鏡像

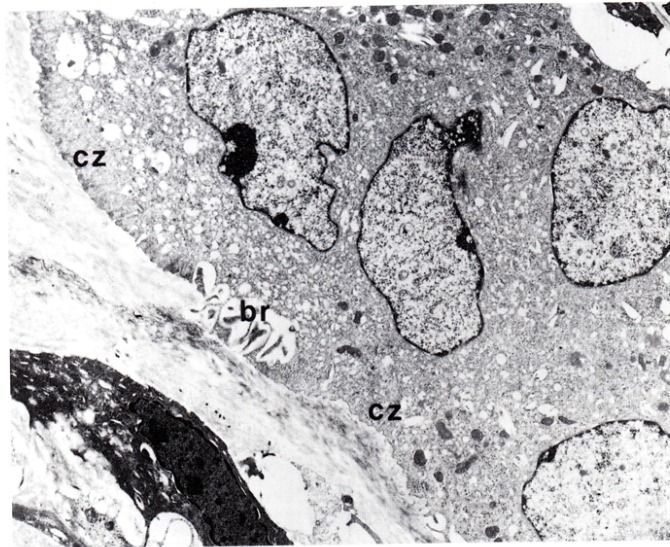
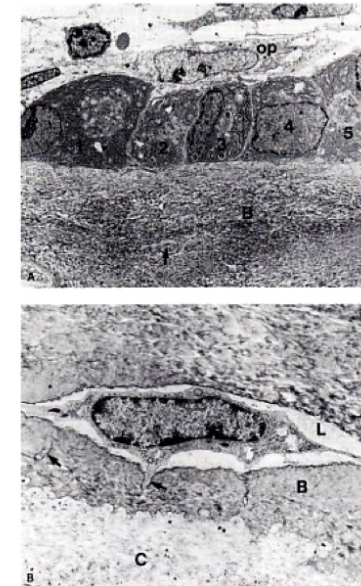


図7-9 破骨細胞の電子顕微鏡写真。多核細胞の波状縁 (br) の両側にある明帯 (cz) に注意。(Marks SC Jr, Walker DG: The hematogenous origin of osteoclasts. Experimental evidence from osteopetrotic [microphthalmic] mice treated with spleen cells from beige mouse donors. Am J Anat 161: 1-10, 1981. より)

骨形成に関わる細胞の電子顕微鏡像



骨を形成している細胞の電子顕微鏡写真

A. 1-5で骨芽細胞を示す。

B. 骨小腔の中の骨細胞

軟骨内骨化

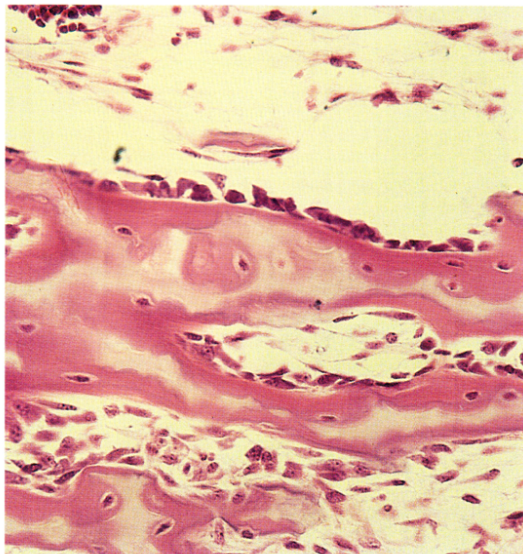
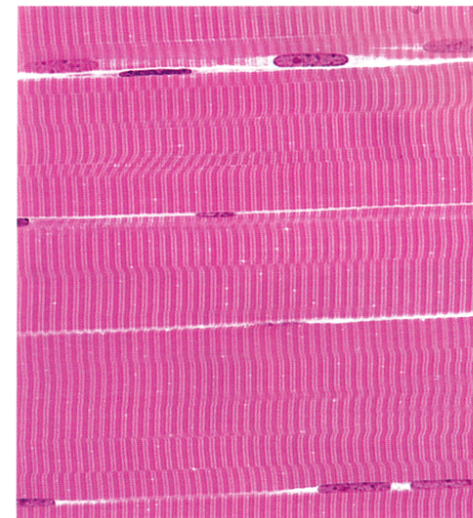


図7-16 軟骨内骨化の光学顕微鏡写真 (×270)。

筋 Muscle



筋組織
筋線維からできている。
収縮能を持つ。

注意！
筋線維は膠原線維などと違い
細胞である。

図8-1 骨格筋の縦断面の光学顕微鏡写真 (×500)。筋線維 (筋細胞) は横方向に走る。縦方向の細い線が横紋である。

筋 Muscle

1. 骨格筋

- ・筋の被膜
- ・骨格筋線維の微細構造
- ・筋の収縮と弛緩
- ・神経支配
- ・筋紡錘

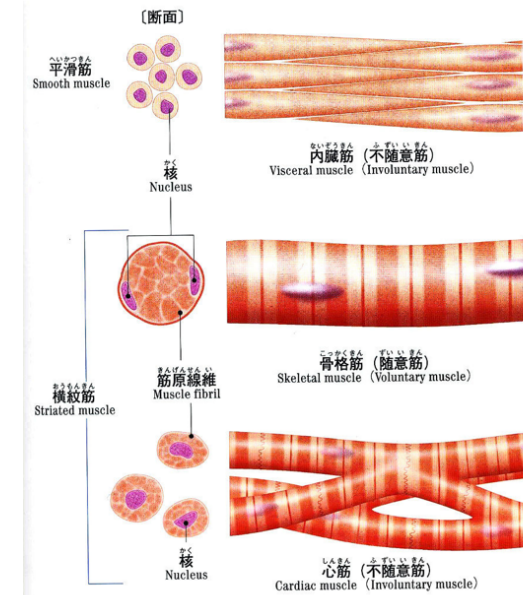
2. 心筋

- ・心筋細胞
- ・介在板

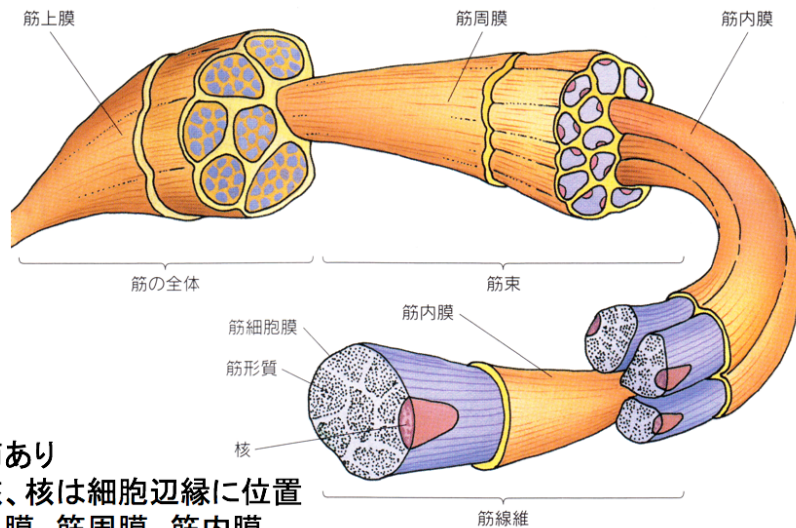
3. 平滑筋

- ・平滑筋線維
- ・平滑筋の微細構造
- ・収縮調節
- ・神経支配

3種類の筋肉



骨格筋 (3種類の筋の比較)



筋節あり
多核、核は細胞辺縁に位置
筋上膜、筋周膜、筋内膜
細胞(筋線維は長くて円柱状)

平滑筋 (3種類の筋の比較)

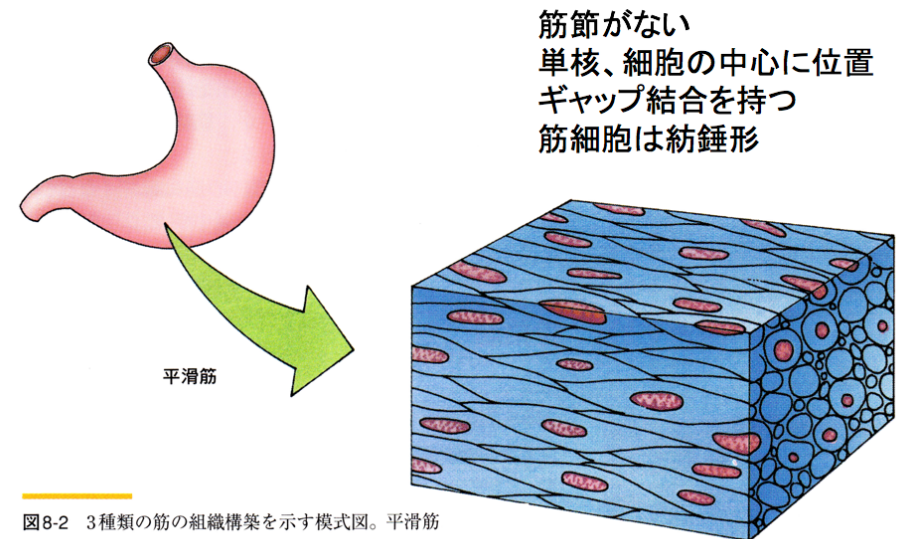


図8-2 3種類の筋の組織構築を示す模式図。平滑筋

心筋（3種類の筋の比較）

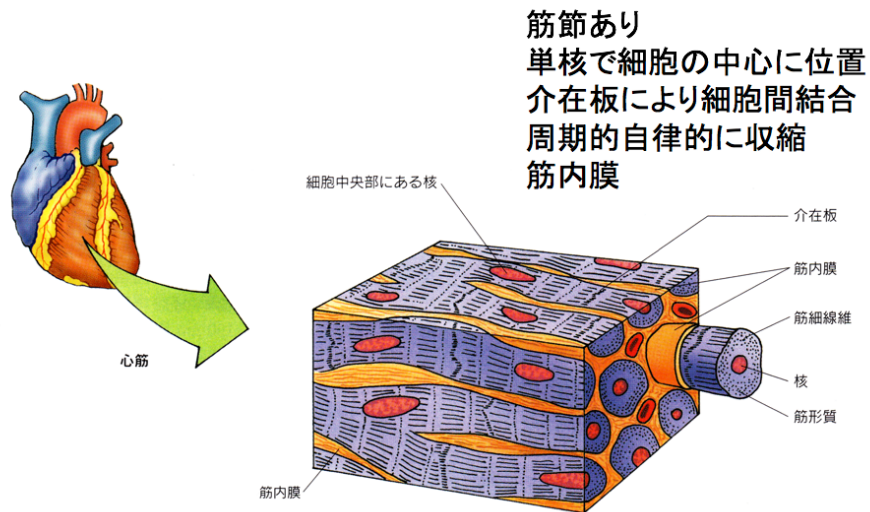


図8-2 3種類の筋の組織構築を示す模式図。心筋。

3種類の筋の比較

	骨格筋	心筋	平滑筋
構造上の特徴			
筋細胞	巨大な細長い細胞	短く、幅の狭い細胞	短い、細長い紡錘形の細胞
存在場所	骨格に付着する筋 内臓の横紋筋	心臓、上大静脈、下大静脈、 肺静脈	血管、内臓など
結合組織	筋上膜、筋周膜、筋内膜	筋内膜	筋内膜、鞘、束
筋線維	1個の骨格筋細胞	数個の心筋細胞のつながり 分枝あり	1個の平滑筋細胞
横紋	あり	あり	なし
核	多数、細胞周辺部	細胞の中央に1個	細胞の中央に1個
横細管	三つ組み形成、筋節あたり2本	二つ組み形成、筋節あたり1本	滑面小胞体
細胞間結合	なし	介在板	ギャップ結合

骨格筋 Skeletal muscle

縦断面: 明瞭な横縞が見える

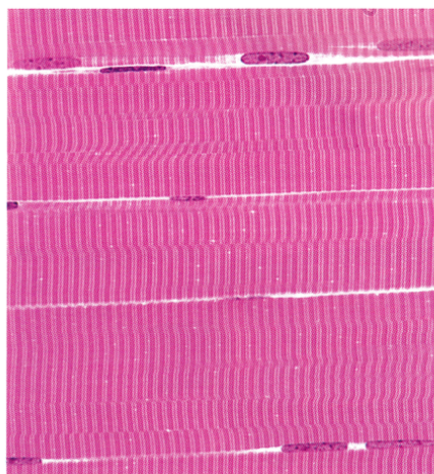


図8-1 骨格筋の縦断面の光学顕微鏡写真(×500)。筋線維(筋細胞)は横方向に走る。縦方向の細い線が横紋である。

横断面: 核が細胞辺縁にある。

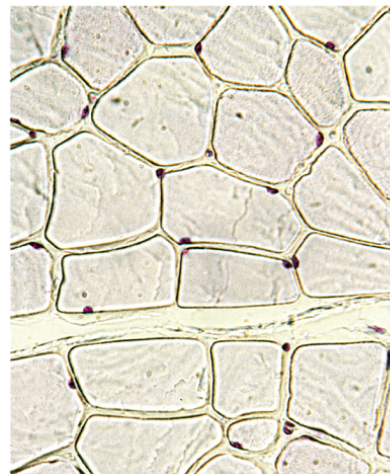
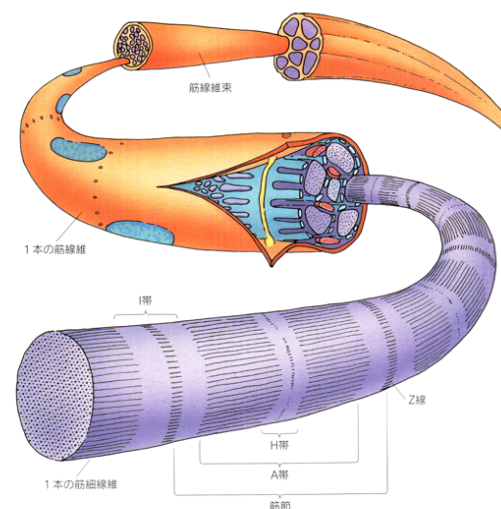


図8-3 骨格筋の横断面の光学顕微鏡写真(×500)。紫色に染まった核が細胞の辺縁に位置することに注意。

骨格筋細胞の筋細線維と筋節構造



I帯: Isotropic (単屈折) 明帯
顕微鏡観察で明るくみえる。

A帯: Antisotropic (複屈折) 暗帯
光が屈折暗く見える。

H帯: Hensen's disc
A帯の中のやや淡染する領域

Z線: Zwischenscheibe (ワッシャーの意)
I帯の中にやや淡染する領域

図8-4 骨格筋細胞にある筋細線維と筋節の構造を示す模式図。

T細管と筋小胞体(と筋細線維)

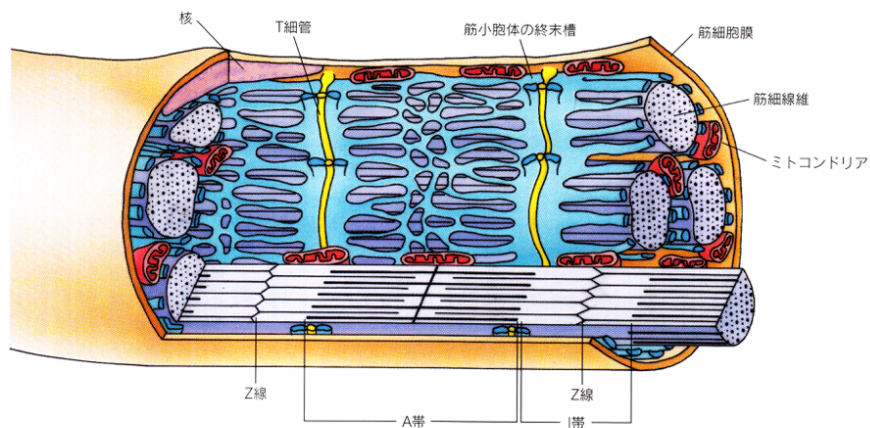


図8-5 骨格筋線維の三つ組と筋節の構造を示す模式図。

実際の骨格筋の電子顕微鏡像

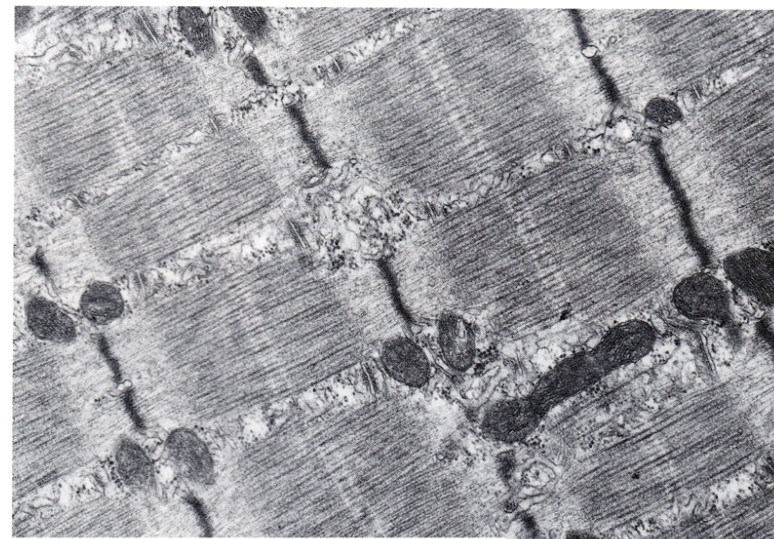


図8-6 ラット骨格筋の縦断面の電子顕微鏡写真(×17,397)。

筋形質(筋細線維)の構成要素

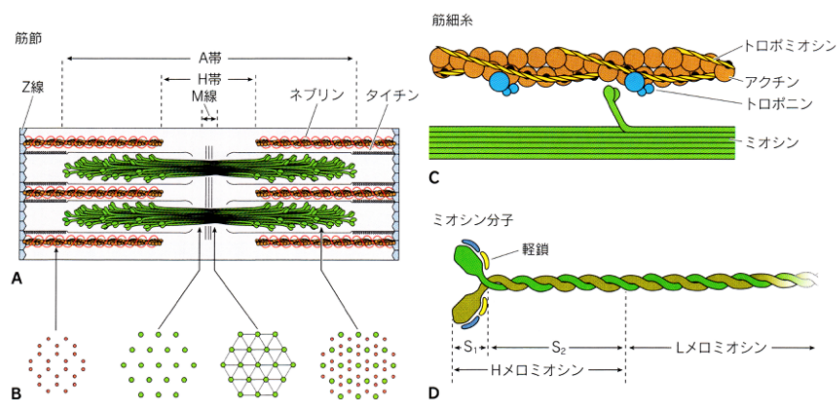
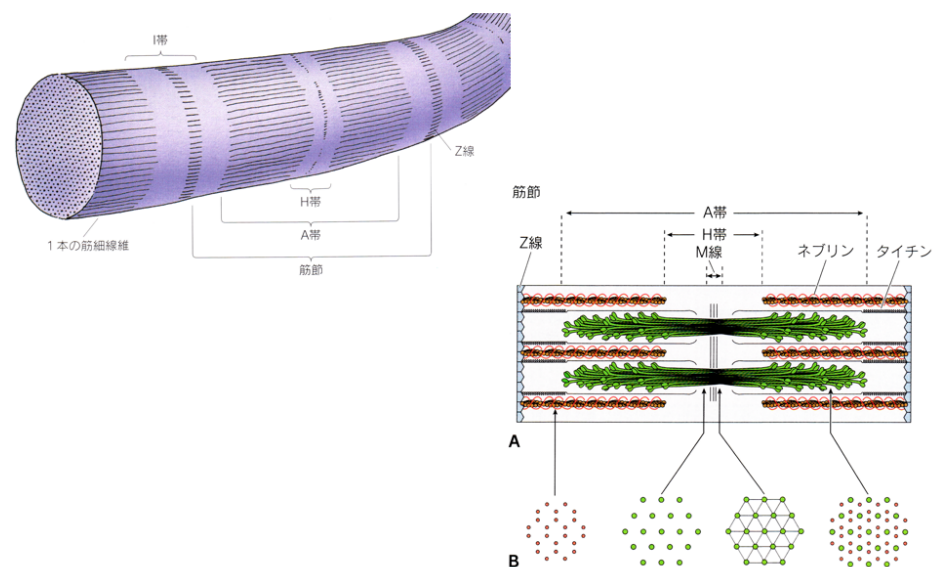


図8-8 筋形質とその構成要素の模式図。A：筋形質，B：矢印で示した部位における筋形質の横断面，C：細いフィラメントと太いフィラメント，D：ミオシン分子，S₁：S₁サブフラグメント，S₂：S₂サブフラグメント。

サルコメア(筋節)



筋収縮はATP分解をエネルギーにする

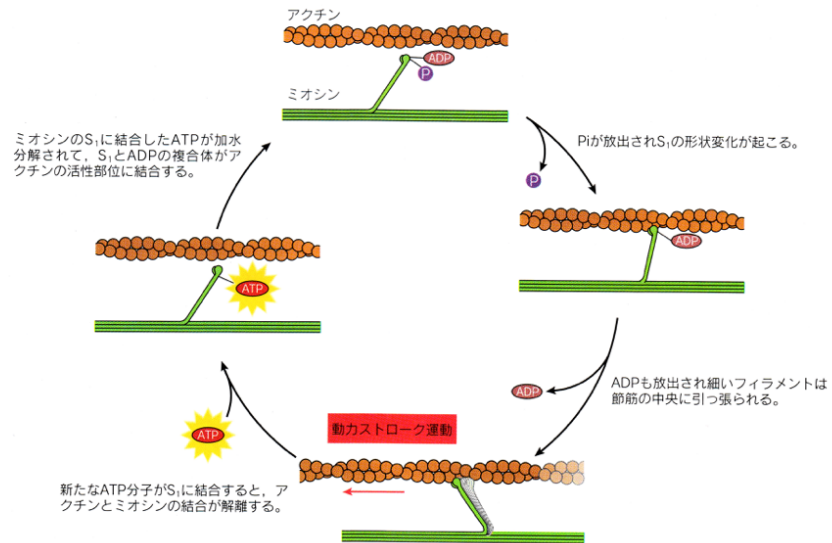


図8-10 筋収縮におけるアデノシン三リン酸(ATP)の役割の模式図。ADP: アデノシン二リン酸, PとPi: 無機リン酸。

神経筋接合部

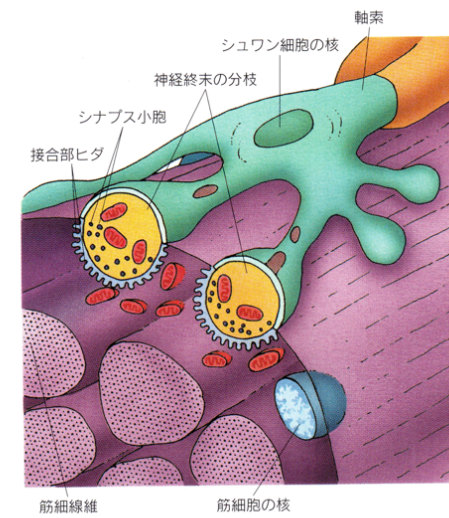


図8-13 神経筋接合部の模式図。

神経筋接合部

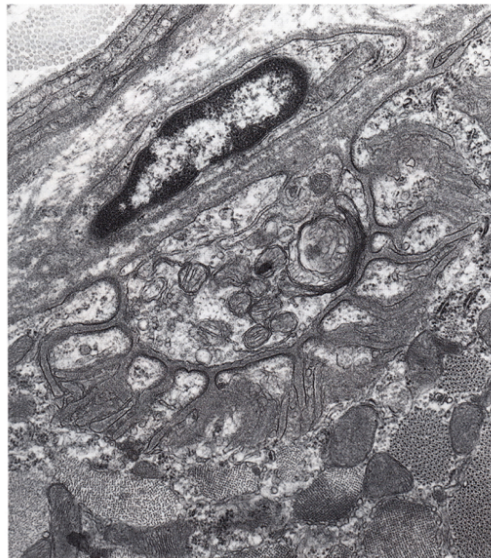
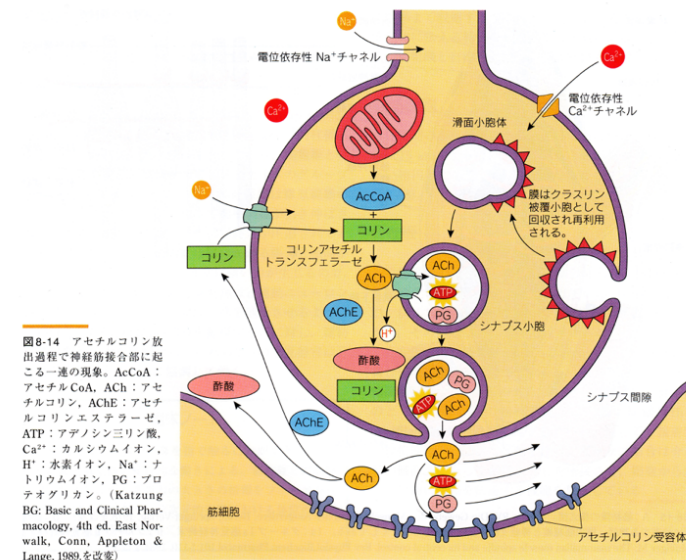
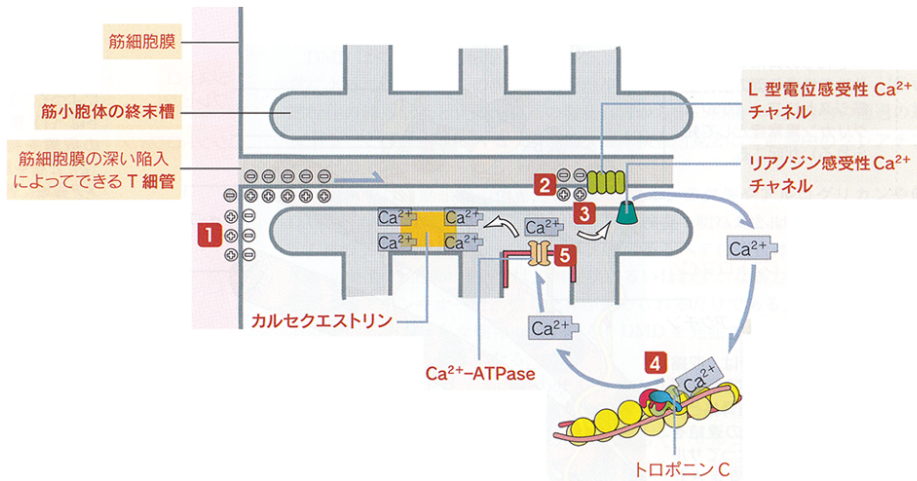


図8-12 マウス神経筋接合部の電子顕微鏡写真。

神経筋接合部でのアセチルコリン伝達



筋細胞膜での活動電位発生から筋収縮までの過程



筋紡錘

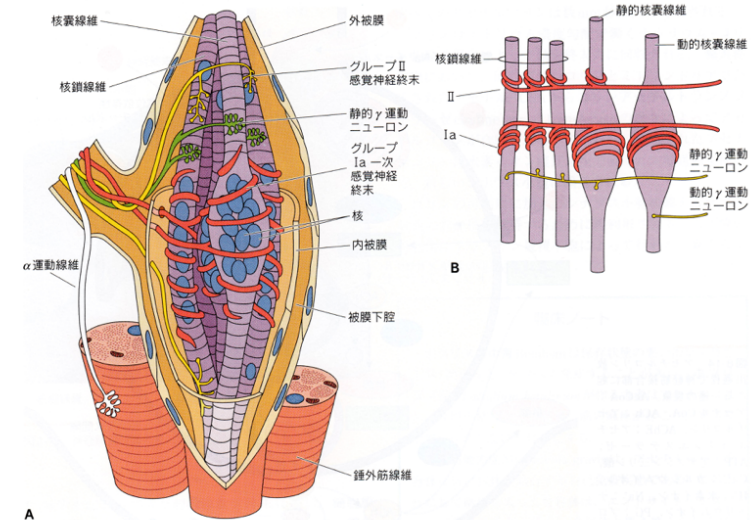


図8-15 A: 筋紡錘の模式図。(Krstic RV: Die Gewebe des Menschen und der Säugetiere. Berlin, Springer-Verlag, 1978.を改変) B: 筋紡錘に分布する神経。錘内筋線維と神経支配を広げて分かりやすくしてある。Ia: グループIa感覚神経終末, II: グループII感覚神経終末。

(1) 伸張反射と拮抗反射 (筋紡錘の反射)

■伸張反射 stretch reflex (筋伸展反射 myotatic reflex): 筋を受動的に引き伸ばすと、収縮する反射。

膝蓋腱反射

- 1) 膝蓋腱を叩く
- 2) 大腿四頭筋が引き伸ばされる
- 3) 筋紡錘が引き伸ばされる
- 4) Ia 求心性線維が興奮
- 5) 前角α運動ニューロンが興奮 (単シナプス性神経回路)

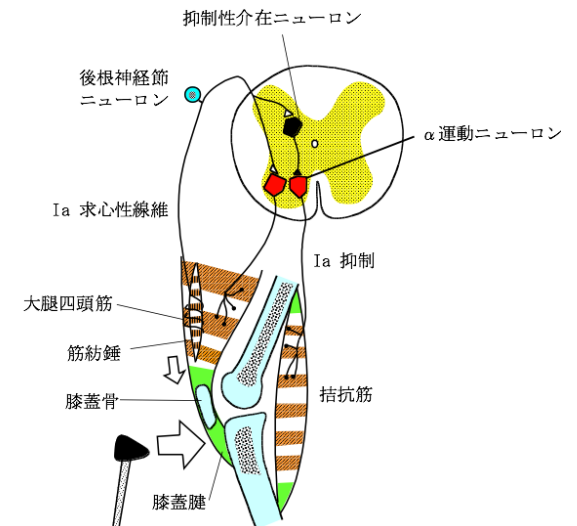
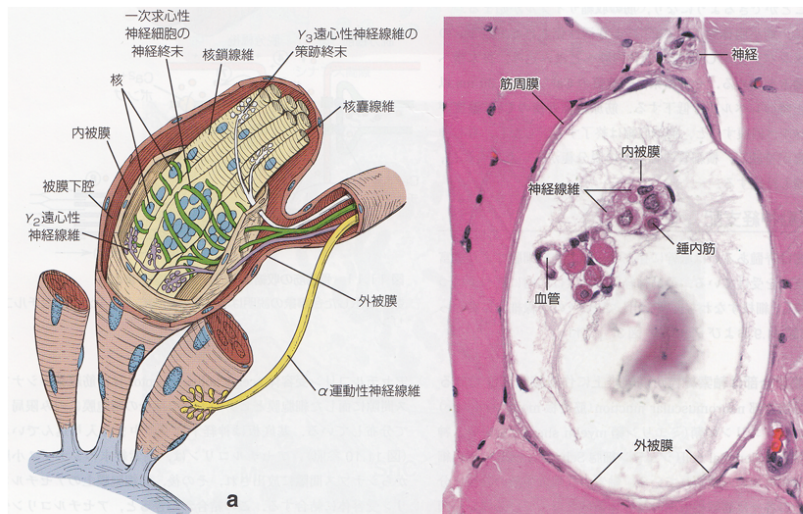
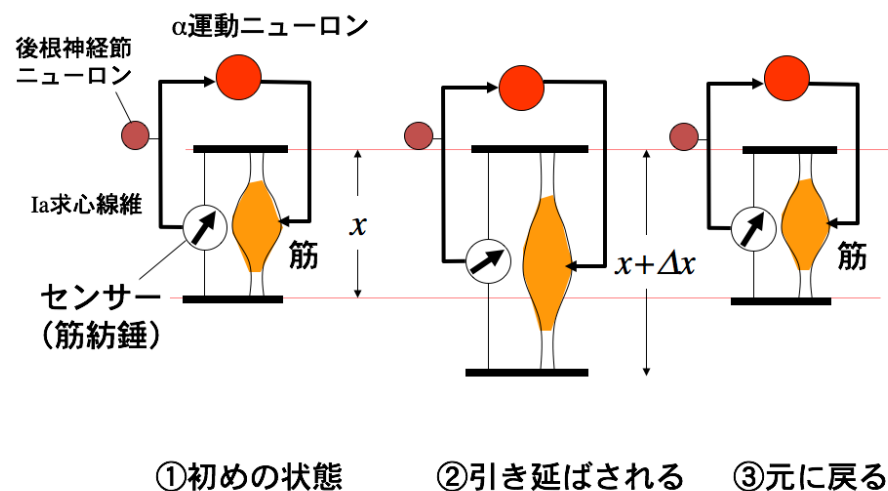


図1 伸張反射とIa 抑制反射 (膝蓋腱反射を例にして)



■伸張反射（筋伸展反射）の生理的意義



■ γ 運動ニューロンは錘内筋を収縮させる

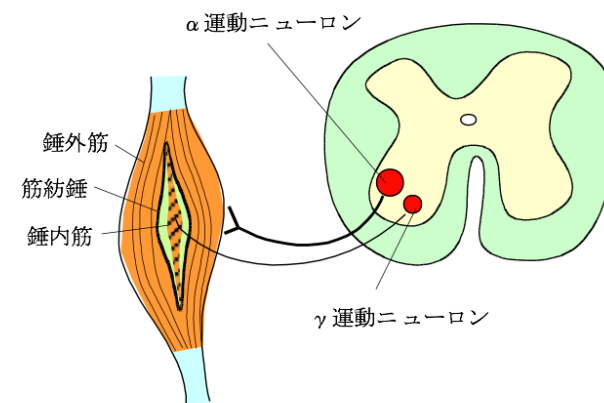
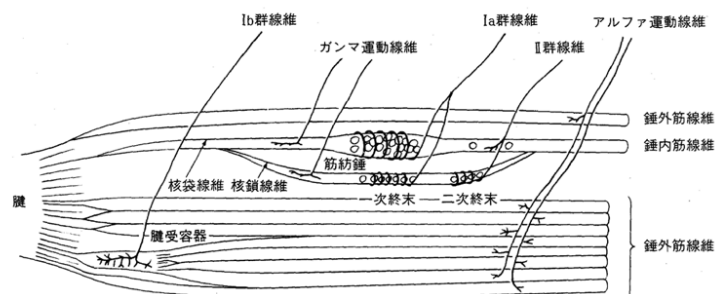


図9 α 運動ニューロンと γ 運動ニューロン

■末梢神経線維の分類

線維の太さによる分類				電気生理学的分類		
	直径(μ m)	髄鞘化	名前	伝導速度(m/sec)	名前	支配
求心性	12~20	○	Ia, Ib	70~120	A α	筋紡錘、ゴルジ器官
	5~12	○	II	30~100	A β	筋紡錘
	1~5	○	III	5~30	A δ	皮膚感覚
	1以下	×	IV	0.5~2	C	皮膚、内臓感覚
遠心性	12~20	○	α	70~120	A α	骨格筋
	2~7	○	β	15~40	A γ	筋紡錘



心筋 cardiac muscle

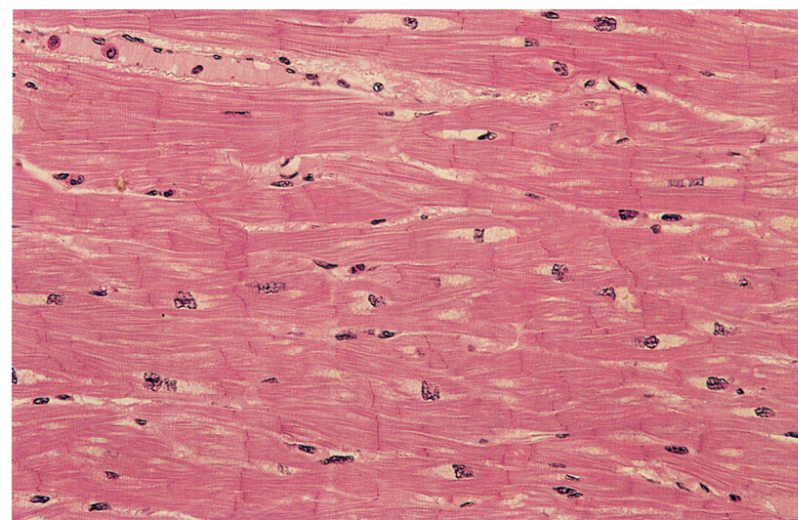


図8-18 心筋細胞の縦断面。心筋の特徴的な分枝パターンを示す($\times 270$)。

骨格筋 Skeletal muscle

(心筋との比較)

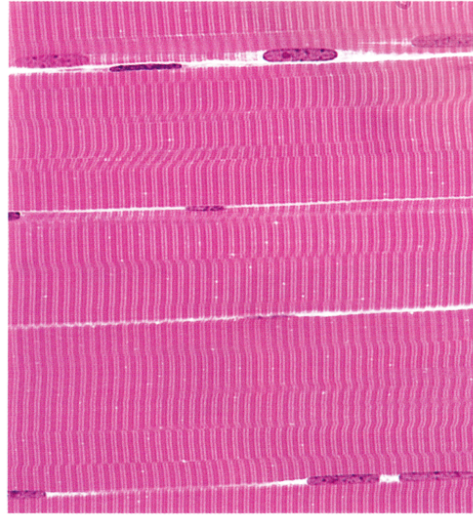


図8-1 骨格筋の縦断面の光学顕微鏡写真(×500)。筋線維(筋細胞)は横方向に走る。縦方向の細い線が横紋である。

心筋 cardiac muscle

心筋縦断面

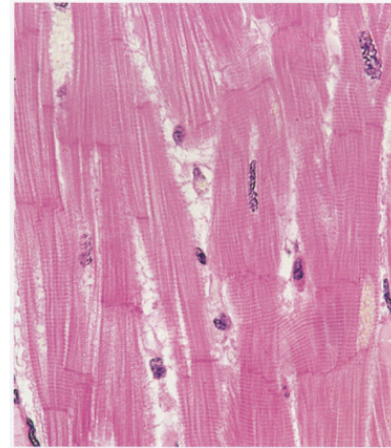


図8-16 心筋の縦断面の光学顕微鏡写真(×500)。

心筋横断面

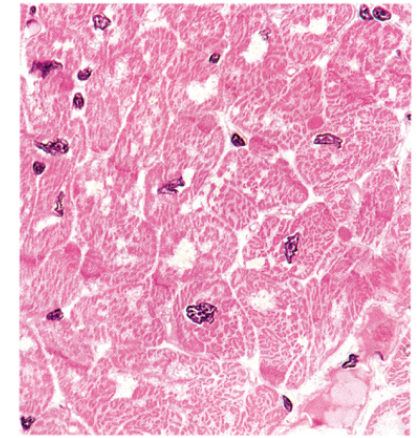


図8-17 心筋の横断面の光学顕微鏡写真(×500)。

心筋 cardiac muscle

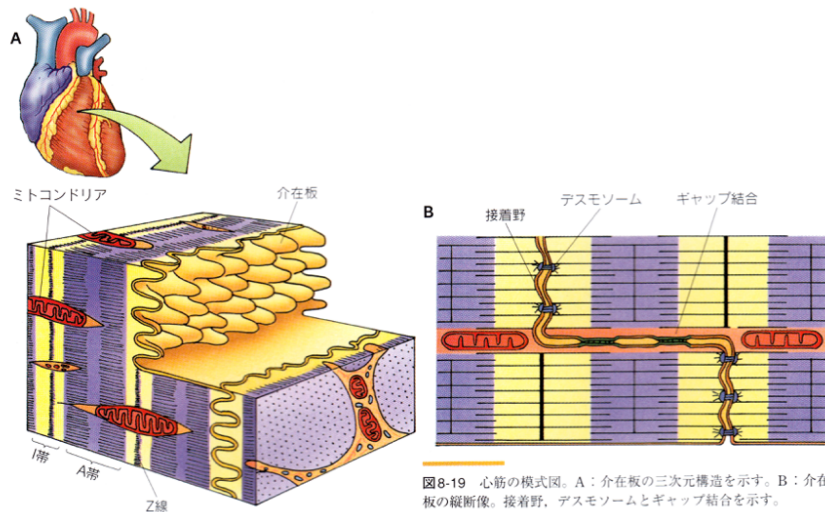


図8-19 心筋の模式図。A：介在板の三次元構造を示す。B：介在板の縦断面像。接着野、デスモソームとギャップ結合を示す。

心房性ナトリウム利尿ペプチドを含む顆粒

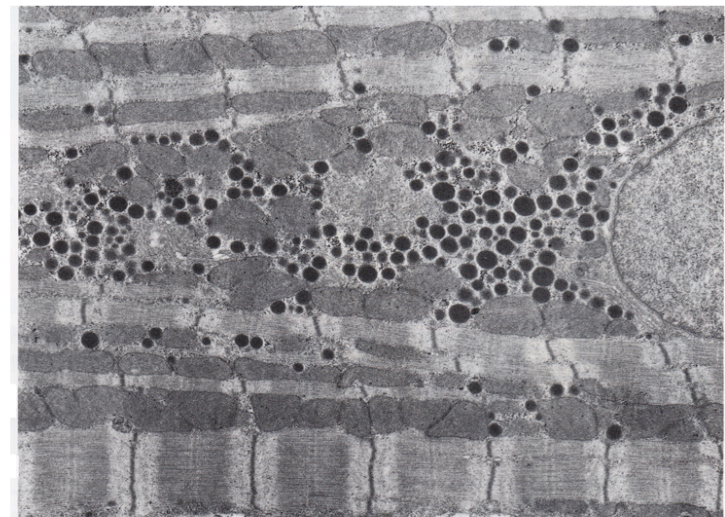


図8-22 ラット心房の心筋細胞(×11,635)。心房性ナトリウム利尿ペプチドを含む分泌果粒が観察される。

平滑筋の光学的顕微鏡像

平滑筋縦断面

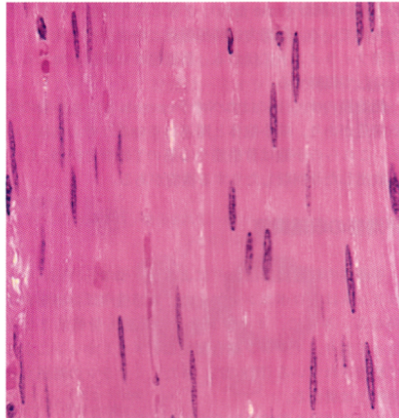


図8-23 平滑筋の縦断面の光学顕微鏡写真(×500)。

平滑筋横断面

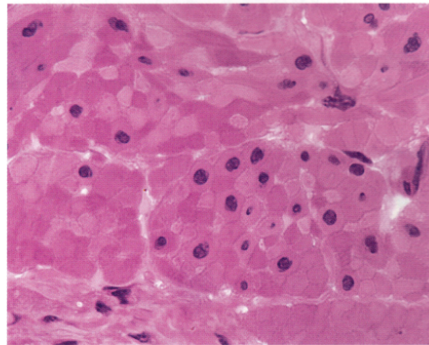


図8-24 平滑筋の横断面の光学顕微鏡写真(×500)。

平滑筋が収縮すると核はラセン状に縮まる

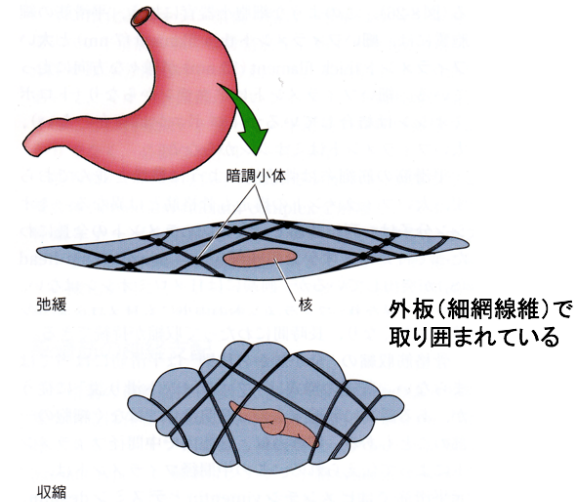


図8-25 弛緩状態と収縮状態の平滑筋細胞の模式図。

平滑筋の収縮調節

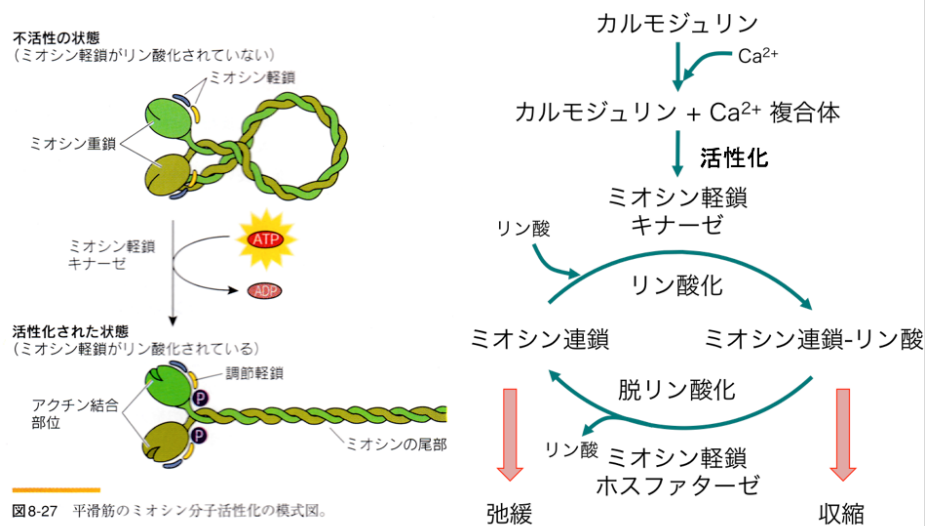
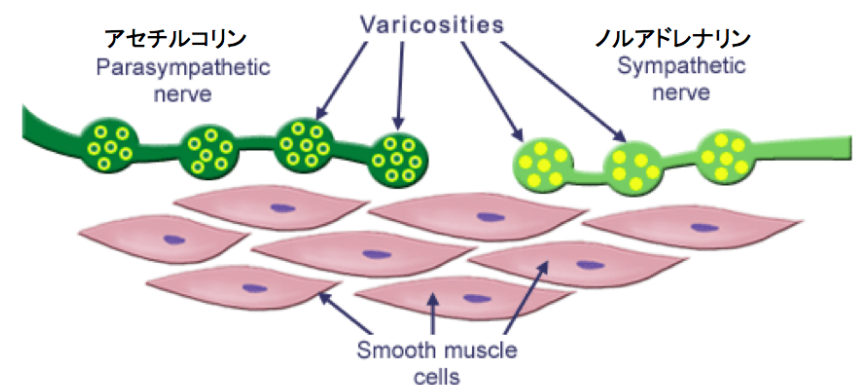


図8-27 平滑筋のミオシン分子活性化の模式図。

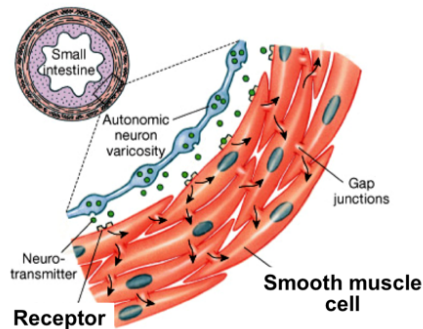
平滑筋の神経支配 (en passant synapse)



平滑筋の神経支配

一元平滑筋

Single-unit smooth muscle

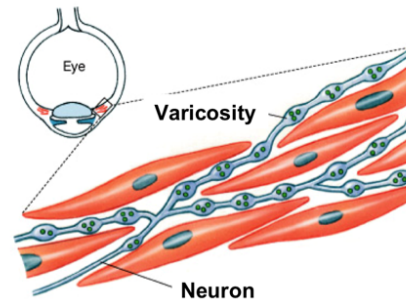


消化管の平滑筋層

(隣の平滑筋細胞とはギャップ結合でつながっている)

多元平滑筋

Multi-unit smooth muscle



眼球の毛様体筋

3種類の筋の比較

	骨格筋	心筋	平滑筋
構造上の特徴			
筋細胞	巨大な細長い細胞	短く、幅の狭い細胞	短い、細長い紡錘形の細胞
存在場所	骨格に付着する筋 内臓の横紋筋	心臓、上大静脈、下大静脈、 肺静脈	血管、内臓など
結合組織	筋上膜、筋周膜、筋内膜	筋内膜	筋内膜、鞘、束
筋線維	1個の骨格筋細胞	数個の心筋細胞のつながり 分枝あり	1個の平滑筋細胞
横紋	あり	あり	なし
核	多数、細胞周辺部	細胞の中央に1個	細胞の中央に1個
横細管	三つ組み形成、筋節あたり2本	二つ組み形成、筋節あたり1本	滑面小胞体
細胞間結合	なし	介在板	ギャップ結合
機能			
神経支配の型	随意	不随意	不随意
遠心性神経	体性神経	自律神経	自律神経
収縮のタイプ	全か無か	全か無か、周期的	遅く部分的
Ca ⁺⁺ の調節	終末槽のカルセクエストリン	細胞外からのカルシウムイオン	カベオラ
Ca ⁺⁺ の結合	トロポニンC	トロポニンC	カルモジュリン
成長と再生			
通常での有糸分裂	なし	なし	あり
加重への反応	肥大	肥大	肥大と過形成
再生	部分的	通常)なし	あり