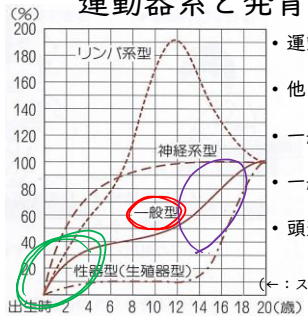


### 運動とは？

- 運動とは、骨格筋が収縮して、骨を動かす事。
- 骨と筋を合わせた物を運動器(系)、これらを学問的にした物を運動器学という。

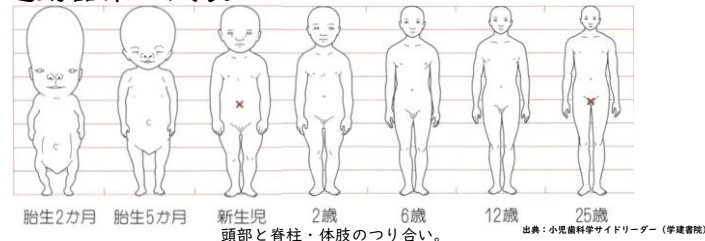
### 運動器系と発育



- 運動器系に**骨格**の大部分は 一般型である。
- 他に 呼吸器・消化器も、**一般型**である。
- 一般型の特徴は**S字状(シグモイド)曲線**を描く。
- 一般型は**出生時**と**思春期**の成長が著しい事を示す。
- 頭蓋に関しては、一般型の成長から外れる。

(ト: スキャモンの臓器発育曲線)

### 運動器系の成長



- ヒトの身体は歴齢により、頭部と体軀の間で大きな差が見られる。
- 胎生2か月の段階では、頭部が身長 $\frac{1}{2}$ を占め。
- 新生児の頃は頭部は身長 $\frac{1}{4}$ 程と成り、体の中心は臍のあたりとなる。
- 成長が完了すると頭部は身長 $\frac{1}{8}$ 程と成り、体の中心は恥骨結合のあたりとなる。

### 骨年齢

- 歴齢に対して骨年齢は、**生理的年齢**という。
- 骨年齢は放射線写真により骨成熟度を確認し、12歳くらいまで用いられる。
- 骨年齢は手根骨など 10の骨によって計測される。



歴年齢(歳)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
手根骨数	2	3	3	4	4~5	5~7	7~8	8~9	9	9	9	10
足根骨数	4	4~6	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9

骨年齢が遅れる事でわかる疾患:

Down症・甲状腺機能低下症・下垂体機能低下症・くる病 etc

### 骨格総論

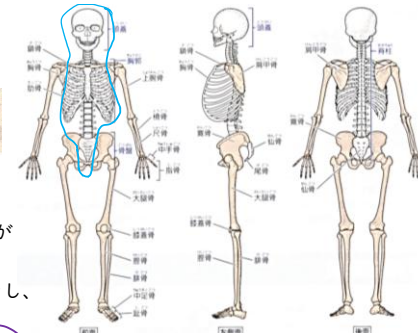
骨格  
 体軸性骨格: 頭蓋骨, 脊柱, 肋骨, 胸骨  
 付属性骨格: 上肢の骨, 下肢の骨

- 骨**(bone)が主体となり、これに**軟骨**(cartilages)が加わって、人体の骨組みである**骨格**(skeleton)が構成される。

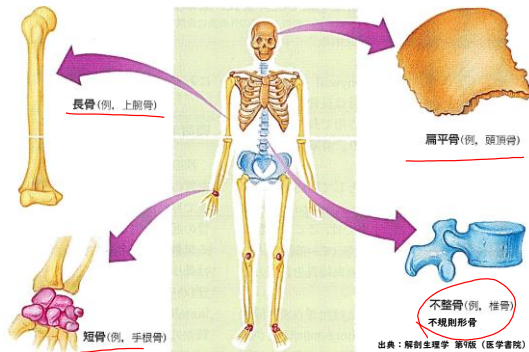
- 骨は**連結**すなわち**広義の関節**をなし、**靭帯**によって補強される。

- 骨、軟骨、関節、靭帯によって**骨格系**(skeletal system)が構成され、**筋系**とともに**運動器系**(locomotor system)を形成する。

- 骨格は、**頭蓋骨、脊柱、肋骨、胸骨**からなる**体軸性骨格**〔軸骨格(axial skeleton)〕と、その他の骨、上肢と下肢の骨からなる**付属性骨格**(appendicular skeleton)に区分される。



### 骨の形態 (形状分類)



- 骨の形は色々あるが外形の共通点で種類が分けられている。
- 頭部の骨の様に空気を含む物は含気骨と言われる。
- 腱の内部に生じる種子骨、頭蓋の縫合部に存在する小さく扁平な縫合骨がある。

### 骨の形態 (骨の特徴)

- 個々の骨には、さまざまな形態的特徴がみられる。
- 主として筋(腱)や靭帯の付着部となるもの
- 転子、結節、隆起、突起、棘、顆、上顆などは骨の一部が突出している部分で、突出部の形の違いやその大小によって名称が異なる。
- 粗面はざらざらした面やそれをもつ突隆部。
- 線は幅が狭く、低い隆起線であり、稜はある程度の厚みや幅をもった隆起線。
- 窩はある程度の大きさや深さをもったくぼみ。
- 主として神経や血管の通路となるもの
- 孔は単一の骨の中に開いたものや、複数の骨が合してできる。
- 切痕は骨の切れ込んだ部分をいい、溝は狭く長いくぼみ。
- 裂は骨と骨の間にできる裂け目。
- 管は単一の骨の中を走るもの、複数の骨が合してできるものもある。

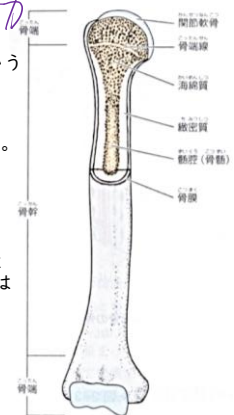
### 骨の構造 (肉眼的構造)

- 長管骨の場合、幹の部分を骨幹、その両端を骨端。
- 骨端の断面では、骨端軟骨の骨化によってできた骨端線が認められる。
- 骨の周囲は関節面を除いて骨膜(periosteum)という淡黄色の線維性膜で覆われ、関節のところでは骨膜が関節包に移行、関節面は骨膜でなく、一般に硝子軟骨からなる関節軟骨(articular cartilage)で覆われる。
- 骨膜内は、骨の実質(骨質)であり、骨質の表層部に、緻密質(緻密骨:compact bone)と内部の海綿質(海綿骨:spongy bone)に区分。
- 緻密質はその名の示すように、緻密な骨質の部分であり、海綿質は骨質が網状の骨梁を形成する。
- 長管骨の緻密質は骨幹で厚く、骨皮質とも呼ばれる。
- 骨端では緻密質は薄くなるが、代わり海綿質が内部のほとんどを占め、あらゆる方向の外力に抗する構造になる。

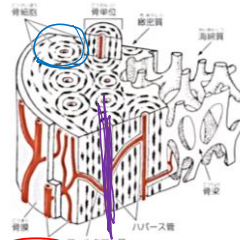


### 骨の構造 (肉眼的構造)

- 長管骨の骨幹では、骨質に囲まれた髄腔(marrow cavity)という腔所が内部にある。
- 骨質の内面は骨内膜(endosteum)と呼ばれる薄層で覆われ、髄腔やそれに続く海綿質の小腔内は骨髄(bone marrow)で満す。
- 骨髄は造血組織である赤色骨髄と、脂肪化し造血機能をもたなくなった黄色骨髄とに分けられる。
- 幼児期の骨髄はすべて赤色骨髄だが、成長とともに四肢末端から徐々に脂肪組織化し、成人四肢の長管骨ではほとんど黄色骨髄に置き換わるが、椎骨・胸骨・肋骨・腸骨は高齢になっても赤色骨髄を残す。
- 短骨の緻密質は長管骨に比べて薄く、海綿質との境界は不明瞭で扁平骨の両面は硬い緻密質で、その間に薄い海綿質を入れている。



## 骨の構造 (顕微鏡的構造)



### 骨組織、骨膜、骨内膜の構造

- 骨組織は細胞と細胞間質からなる。
- 細胞は骨細胞(osteocyte)、骨芽細胞(osteoblast)、破骨細胞(osteoclast)であり、骨細胞は骨基質の小腔、すなわち骨小腔の中に存在。
- 骨芽細胞と破骨細胞は、ハバース管の周囲や海綿質の内表面(骨内膜)に存在。
- 細胞間質は骨基質と呼ばれ、線維と線維間質からなる。
- 線維は太い膠原線維(コラーゲン線維)で、束をつくり密に配列する。
- 線維間質の主成分はカルシウム塩であるヒドロキシアパタイト  $[Ca_5(OH)(PO_4)_3]$

骨細胞

## 骨の構造 (顕微鏡的構造)

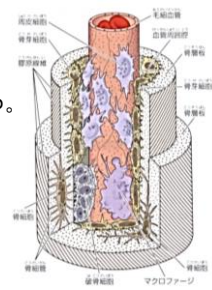


ペロ酸  
→ 骨小腔

### 骨組織、骨膜、骨内膜の構造

- 骨重量の約1/3を占める膠原線維などの有機質は、骨に剛性(曲げやねじりなどの力に対して変形しにくい性質)を与え、骨重量の約2/3を占めるヒドロキシアパタイトなどの無機質は骨に硬さを与える。
- 骨組織の外表面を覆う骨膜は、外側部の線維層と内側部の骨形成層からなる。
- 線維層は神経線維に富む交織密性結合組織。
- 骨形成層では骨芽細胞が分化し、新しい骨組織が形成される。
- 骨組織の内表面(骨髄面)を覆う骨内膜は、一列に配列する骨芽細胞層と散在性の破骨細胞からなり、骨膜とは異なる。

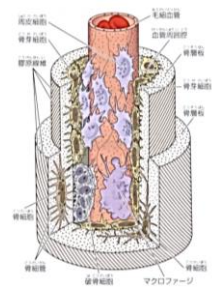
## 骨の構造 (顕微鏡的構造)



### 緻密質の構築

- 骨の表在部を構成する緻密質には血管を通すための管系が2つ。
- 1つは骨の長軸に平行に走る無数の、ハバース管(Haversian canal)と呼ばれる。
- 他の1つはフォルクマン管(Volkmann's canal)と呼ばれ、骨表面からほぼ垂直方向に進入し、ハバース管と交通する。
- これらの管を通して、骨膜側から進入した血管が骨質や骨髄に分布する。
- ハバース管を中心として、骨質の層板(骨層板)が同心円状に重なり、円柱を形成する。
- この円柱の1つ1つをハバース系(Haversian system)といい、骨の構成単位であり、オステオン(osteon; 骨単位)とも呼ばれる。
- 海綿質にも骨層板はあり、それが網状の骨梁を形成するが、ハバース管はない。

## 骨の構造 (顕微鏡的構造)



### 緻密質の構築

- ハバース系の構造をさらに詳しく観察すると、骨層板内には、大量のヒドロキシアパタイト(カルシウム塩)と、平行に走行する緊張した膠原線維(コラーゲン線維)が多数存在。
- 膠原線維の走行は隣接する骨層板ではほぼ直交する。
- 層板と骨層板との間にはたくさんの小腔(骨小腔)が点在し、その中に骨細胞が閉じ込められている。
- 骨小腔からは多数の骨細管が出ており、この中に骨細胞の細い突起が収まっている。
- 骨細管は隣の骨層板の骨小腔からのものと互いに連絡し合う。
- そして、ハバース管から骨細管を介して骨細胞へ酸素や栄養が送られる。
- なお、骨幹の中央部付近には肉眼で確認できる栄養孔があり、比較的大きな動静脈がここを通過して骨内部と連絡している。

## 骨の構造 (骨の血管と神経)

### 血管

- 長管骨の骨幹には2系統の血管分布がある。
- 1つは少数のやや太い動脈が栄養孔から緻密質を貫いて骨髓に達し、骨髓および海綿質に酸素と栄養を与え、同時に、フォルクマン管に細い枝を出して緻密質の内側部を養うものである。
- もう1つは細い血管が骨膜からフォルクマン管を通じてハバース管に入り、血液を供給するもので、これは主として緻密質の外層部の栄養に関与する。
- また、骨端や骨幹端には周囲の動脈網からそれぞれ多くの動脈が進入する。
- 静脈はそれぞれの動脈に沿って走行している(伴行静脈)。
- 長管骨以外の骨では骨膜から表層の緻密質を貫いて動脈が進入する。

### 神経

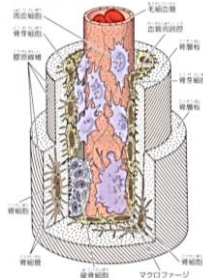
- 骨に分布する神経は主に無髄神経線維で、骨膜に豊富にみられ、痛覚に関与する。
- フォルクマン管やハバース管を通る物や栄養孔を通して骨髓に分布する物もあるが、これらは血管支配の交感神経線維である。

## 骨の構造 (骨の機能)

- ①:骨格は人体の支柱となり、その形を保持し、体重を支える。
- ②:いくつかの骨が集まって腔所を形成し、その腔内に臓器を入れて保護する。  
:頭蓋には頭蓋腔があり、その中に脳を入れる。  
:脊柱には脊柱管があり、脊髄を入れる。  
:胸部は肺や心臓を骨盤は膀胱や子宮などを保護している
- ③:骨格はこれに付着する筋と共同して運動を行う。  
:骨格は筋の収縮・弛緩により動かされるので、筋を「能動的な運動器」、骨格を「受動的な運動器」と呼ぶことがある
- ④:骨の内部には軟組織である骨髓があり、特に赤色骨髓は血球をつくる造血(hematopoiesis)という重要な働きをする。  
:赤血球、各種の白血球血小板が骨髓でつぐられ、胎児では肝臓や脾臓でも血球がつぐられる。
- ⑤:骨にはリン酸カルシウムや炭酸カルシウムが多く含まれ、カルシウムの貯蔵場所という役割がある。  
(カルシウムは体重の1~2%を占め、その99%が骨および歯に含まれる)

## 骨の構造 (骨の発生)

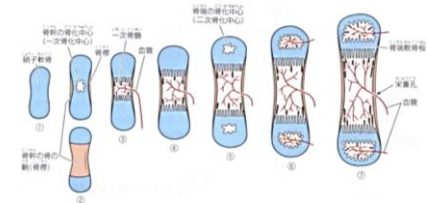
- 骨組織は中胚葉由来の間葉から発生し、間葉細胞に由来する骨芽細胞が骨質の新生に、破骨細胞が骨質の破壊・吸収にそれぞれ関与する。
- 間葉細胞は個体発生過程ですべての結合組織細胞に分化する可能性をもった未分化な細胞である。
- 骨芽細胞はかなり大型(20~30μm)の細胞で単核であるが、破骨細胞はさらに大きく(50μm前後)、多数の核をもつ巨大細胞。
- 骨形成の過程は骨化(ossification)といわれ、軟骨内骨化(軟骨性骨化)と膜内骨化(膜性骨化)の2種がある。
- いずれの骨化においても、骨芽細胞による新生と破骨細胞による吸収の調和によって骨組織自体は形成される。
- この新生と吸収は成長してからの骨においても繰り返され、さまざまな要因による骨の再構築(リモデリング)にかかわっており、さらに骨折の治癒過程にもかかわる。



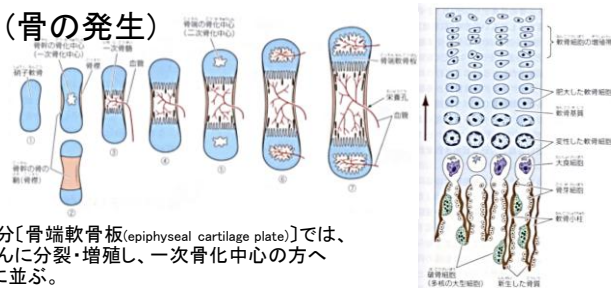
## 骨の構造 (骨の発生)

### 軟骨内骨化

- 軟骨内骨化(endochondral ossification)は、はじめに間葉細胞で骨の原型となる硝子軟骨がつくれたのち、軟骨組織が破壊されて骨組織に置き換えられるもので、この発生様式によってつくられる骨を置換骨という。
- 体軸性骨格や付属性骨格の大部分がこれによりできる。
- 長管骨の場合、将来の骨幹部に相当する部分を被う軟骨膜の骨形成層から骨芽細胞が最初に分化して、軟骨をとりまく鞘状の骨である骨嚢を形成する。
- 骨幹中央部の軟骨組織が変性して溶解し、ここへ外から血管に富んだ間葉組織が進入したのち、骨芽細胞が出現して骨組織を形成し始める。(一次骨化中心)
- この骨化は次第に両側の骨端に向かって進行する。



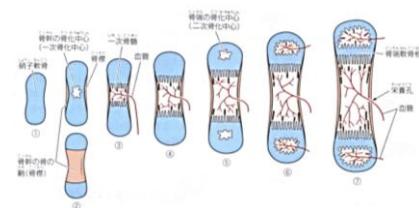
### 骨の構造 (骨の発生)



#### 軟骨内骨化

- 骨幹の両端部分[骨端軟骨板(epiphyseal cartilage plate)]では、軟骨細胞が盛んに分裂・増殖し、一次骨化中心の方へ向かって柱状に並ぶ。
- 周囲に軟骨基質を沈着しながら肥大していく。
- 列の先端に近づくとき軟骨基質は石灰化、軟骨細胞は変性し、これらは破軟骨細胞(chondroclast; 破骨細胞と同様の性状をもつ)や大食細胞に吸収される。
- 残存した軟骨基質が骨幹の中央部に向かって小柱状に突出する(軟骨小柱)。

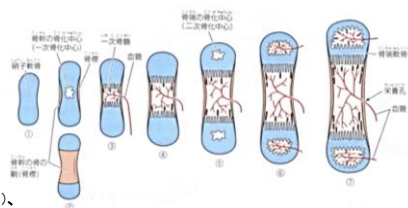
### 骨の構造 (骨の発生)



#### 軟骨内骨化

- 小柱の表面に骨芽細胞が並んで骨基質を分泌し、骨基質はまず類骨(osteoid)となり、類骨は石灰化して骨となる。
- 骨がつくれる一方、一部が破骨細胞によって破壊・吸収されることによって海綿状の骨が形成され、髄腔の拡大もおこる。
- 骨質の中に閉じ込められた骨芽細胞は骨細胞となり、骨小腔の中にとどまる。
- 骨端軟骨板によって軟骨が盛んにつくられ、骨端側に長さを増していくとともに、一次骨化中心側から骨端に向かって軟骨の骨への置換と一部の骨の破壊・吸収が順次おこって骨形成が進行する。

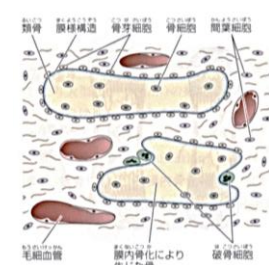
### 骨の構造 (骨の発生)



#### 軟骨内骨化

- 骨幹の骨化がかなり進むと(出生時期のころ)、骨端部でも血管が進入して軟骨が破壊、吸収され、骨組織に置換される(二次骨化中心)。
- 骨端表面の軟骨は残って関節軟骨となる。
- 骨端軟骨板は思春期から20歳過ぎにかけて骨組織に置き換わり、置き換わったところは骨端線(epiphyseal line)と呼ばれる。
- 骨の長さは、骨端軟骨板における軟骨細胞の増殖によって成長する。
- 骨の太さは、骨膜の骨芽細胞による骨組織の付加によって成長するが、このとき骨の内面では破骨細胞が一部の骨組織を破壊・吸収するので、骨が厚くなりすぎることはない。

### 骨の構造 (骨の発生)



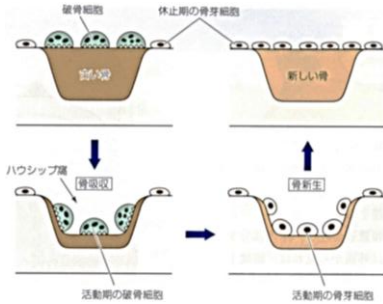
#### 膜内骨化

- 膜内骨化(membranous ossification)は、結合組織の中に軟骨を経ないで直接に骨組織が形成されるもので、この発生様式でつくられる骨を膜性骨(付加骨)という。
- 頭蓋底を除く頭蓋骨の大部分や鎖骨の一部などが、この様式で、できる場合、まず骨がつくれる所に間葉細胞(胎児性結合組織を構成する細胞の総称)が密集して間葉性の膜様構造を形成する。
- 次に、間葉細胞から骨芽細胞が分化して膜様構造の中に類骨が形成され、これがのちに石灰化する。
- こうして形成された組織ははじめは不整な島状であるが、その後の骨芽細胞による骨の付加と破骨細胞による骨の破壊によって、扁平な板状の骨ができあがる。
- 表層には骨膜下の骨芽細胞によって緻密質が付加される。

## 骨の構造 (骨の発生)

### 骨のリモデリング

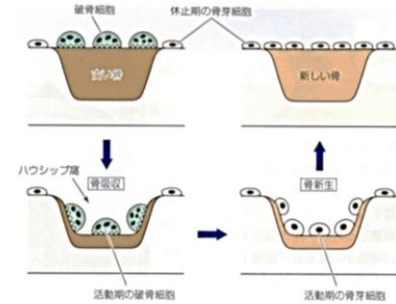
- 骨は固まって変化しないように見えるが、実際には破骨細胞による吸収(骨吸収)と骨芽細胞による形成(骨新生)の激しい繰り返しの結果、古い部分が新しい骨に絶えず生まれ変わっている。
- これを骨のリモデリング(remodeling; 再構築)。
- 骨のリモデリングは、まず破骨細胞が酸や酵素を出して古い骨を吸収(破壊)し、次に破壊した部分を埋め戻すように骨芽細胞がコラーゲンなどの骨質をつくり出し(骨形成)、その部分が石灰化することによって行われる。
- リモデリングは緻密質と海綿質の両方で行われ、緻密質に比べて海綿質が活発で、リモデリングの速度は骨や骨の部位でも異なるが、速いものでは3~5か月のサイクルで古い骨は新しい骨に生まれ変わるといわれている。



## 骨の構造 (骨の発生)

### 骨のリモデリング

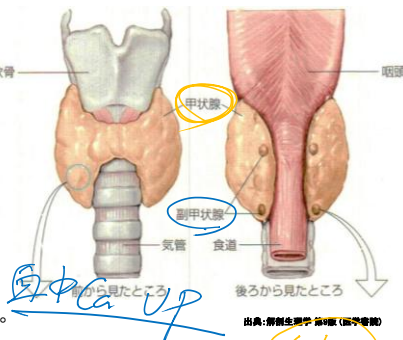
- 骨は重力に逆らって体を支え、運動時には筋の負荷を受けるなど、常にメカニカルストレス(力学的負荷)にさらされている。
- 無重力状態や長期臥床(寝たきり)など、メカニカルストレスの低下により顕著な骨量の減少がおこることはよく知られている。
- この骨量の減少は主として骨形成の抑制によるものであり、低い骨量レベルで骨吸収と骨形成が平衡状態に達することになる。
- また、高いメカニカルストレスにさらされ、より強度を必要とする場合には、骨形成が増加して高い骨量レベルで平衡状態に達する。



## 骨の構造 (骨の発生)

### 骨のリモデリング

- 骨吸収や骨新生は副甲状腺(上皮小体)ホルモン(パルモニン)、カルシトニン、活性型ビタミンD、アンドロゲン、エストロゲンなどのホルモンによっても調節されている。
- 血中のカルシウム濃度が下がると、副甲状腺から副甲状腺ホルモンが分泌、これによって破骨細胞による骨吸収が促進されて骨からカルシウムが溶け出す。
- 活性型ビタミンDが腎臓でつくられ、これによって、腸管からのカルシウム吸収が促進され、血中のカルシウムが骨へ沈着する。
- ビタミンDが不足すると、骨に石灰化障害が生じ、小児ではくる病に、成人では骨軟化症になる。



## 骨の構造 (骨の発生)

### 骨のリモデリング

- 反対に血中カルシウム濃度が上がると、甲状腺からカルシトニンが分泌されて破骨細胞による骨吸収が抑制され、骨からカルシウムが溶け出すのが抑えられる。
- アンドロゲンは、骨吸収を抑制し、骨新生を促進する作用を有する男性ホルモンである。
- エストロゲンは、骨吸収の抑制作用を有する女性ホルモンであり、閉経後の女性では、このホルモンの久乏により骨吸収が亢進し、骨粗鬆症の発症リスクが高まる。
- .

