

第1章

運動器の構造と機能

到達目標

運動器の構造と機能の概略について述べることができる。

学習のポイント

- ・骨の構造と機能
- ・関節の構造と機能
- ・中枢神経・末梢神経の構造と機能
- ・骨格筋の構造と機能
- ・腱・靱帯の構造と機能

1 骨・関節の構造と機能

1.1 骨の構造

(1) 骨の形状による分類

1) 長管骨 (図 1.1)

上腕骨、大腿骨、脛骨など四肢を形作る管状の骨。成長期には骨端部 (epiphysis) と骨幹端部 (metaphysis) との間に骨端軟骨 (epiphyseal plate) があり、内軟骨性骨化により長軸方向の成長を行っている。骨端軟骨は成長時期が終了すると消失する。皮質骨に囲まれた管状の部分は骨幹部 (diaphysis) といい、その端は関節軟骨で覆われている。

2) 扁平骨

頭蓋骨、腸骨、肩甲骨など扁平な骨の総称で、内板と外板の間に海綿骨がある。

3) 短骨

手根骨、足根骨などの関節軟骨を含んだ短小な骨で、海綿骨と皮質骨からなる。

4) 種子骨

足、手、膝などの近傍にみられる球状の小さな骨で、大きな骨に付着する腱内にある。膝蓋骨は大腿四頭筋腱内の種子骨である。種子骨は腱に対する滑車の役割をし、骨への力の伝達を円滑にする。

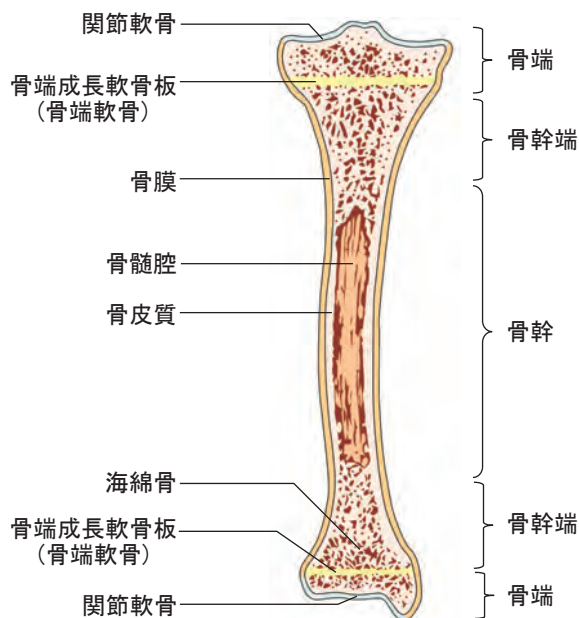


図 1.1 長管骨の構造模式図

1.2 骨の組織

(1) 皮質骨と海綿骨

骨は外郭をつくる皮質骨（緻密骨；cortical bone）と骨髓内に存在する海綿骨（cancellous bone）からなる。長管骨では海綿骨は骨端部、骨幹端部に多く存在し、骨梁構造をつくる（図 1.1）。

皮質骨を構成する基本構造は、円柱形をしたオステオン（osteon）という微小構造からなっている。オステオンには長軸方向の血管であるハバース管と横方向に連結する血管のフォルクマン管があり皮質骨外の血管につながっている（図 1.2）。

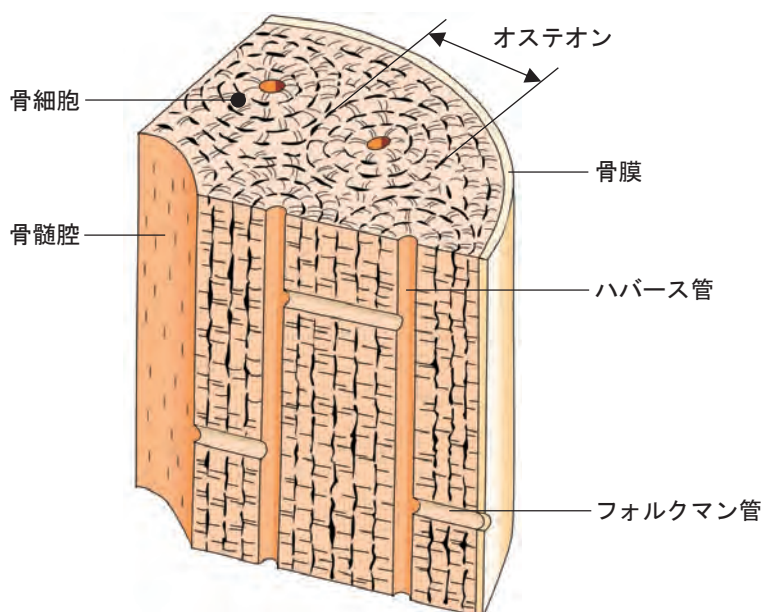


図 1.2 皮質骨とオステオンの模式図

(2) 骨膜

骨膜（periosteum）は皮質骨の外周を覆う結合組織で外層と内層に分けられる。外層（線維層）はコラーゲン線維と線維芽細胞からなり、筋組織と接している。内層（胚芽層；cambium layer）には多分化能をもつ細胞がある。骨形成能があり、骨の横径成長と外形の修正を行っている。成長が終了すると横径成長も止まるが、一旦骨折すると盛んに分裂増殖し、骨癒合を促進する。

(3) 骨髓

骨髓（bone marrow）は骨の空洞を満たしている。骨髓には多分化能を有する細胞があり、骨、軟骨、線維組織などに分化する間葉系幹細胞と血液細胞に分化する造血幹細胞が存在する。骨髓は胎生 5 カ月目から最も主要な造血組織となり、すべて

の血球成分は骨髓において産生される。活発な骨髓は赤血球産生のため、肉眼的に赤い色（赤色骨髓）をしているが、老化などにより造血機能が低下すると脂肪成分が増え、黄色を呈する（黄色骨髓）。成人で活発に造血機能を示すのは頭蓋骨、鎖骨、脊椎、胸骨、肋骨、骨盤の骨髓である。

(4) 骨の構成成分

1) 細胞成分

骨の細胞成分は骨芽細胞（osteoblast）、骨細胞（osteocyte）、破骨細胞（osteoclast）である。骨芽細胞は骨表面に配列し、骨基質を産出する。骨基質は初め未石灰化の類骨で10日前後に石灰化が始まる。基質産生を終えた骨芽細胞は骨細胞となる。破骨細胞は石灰化組織を吸収する多核の巨細胞である。骨芽細胞はアルカリフォスファターゼ活性が強く、破骨細胞は酸性フォスファターゼが強陽性である。骨芽細胞と破骨細胞は互いに連携し、分化の調節を行っている（図1.3）。

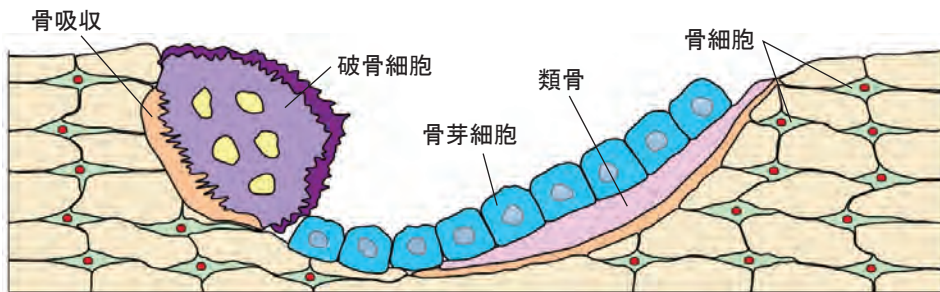


図1.3 骨芽細胞と破骨細胞の模式図

2) 細胞外基質

骨細胞外基質には、無機質と有機基質がある。無機質は主にリン酸カルシウム（ハイドロキシアパタイト）であり、その他、炭酸、マグネシウム、ナトリウム、亜鉛などがある。骨有機基質の90%以上は1型コラーゲンで、その他、プロテオグリカンなどの糖タンパク物質が存在し、骨の粘弾性を維持している。

3) 骨再造形（リモデリング；remodeling）

骨は成長した後も、常に吸収と形成を行っており、この代謝機能を骨リモデリングという。成長完了後の骨組織の約80～90%は骨単位から成り立っているが、成人ではこのうち10～20%がリモデリングされている。リモデリングには破骨細胞と骨芽細胞が関与し、体液中のカルシウムバランスと骨の形態維持に密接に関連している。このリモデリングにより骨折の変形治癒も矯正される。

1.3 骨の機能

(1) 骨代謝

骨には体を支持をする働きと、カルシウムおよびリンの貯蔵庫として体液の電解質平衡を維持する作用がある（骨代謝；カルシウム、リンの代謝）。血液中のカルシウム濃度は9～11mg/dLであり、厳密に維持されている。カルシウムは筋収縮弛緩、神経のシグナル伝達、血液の凝固、食物の消化、などに関与しているため、生体はカルシウム恒常性を維持している。

骨に作用するホルモンとビタミンを下記に示す。

1) 副甲状腺（上皮小体）ホルモン

血清カルシウム値が低下すると反応性に分泌され、血清カルシウム濃度を上昇させる。

2) カルシトニン

甲状腺濾胞細胞から分泌され、骨吸収が亢進し血清カルシウム濃度が上昇したとき、これを下げる作用がある。骨粗鬆症やPaget病の治療薬としても使用される。

3) 成長ホルモン

成長軟骨の増殖と肥大を促進する。成長ホルモンの過剰は巨人症、末端肥大症を生じる。欠乏では下垂体性の小人症となる。

4) 甲状腺ホルモン

骨格の成長と発達に必須である。過剰は頭蓋縫合の早期閉鎖を生じる。欠乏すると成長障害（クレチン病）を生ずる。

5) エストロゲン

卵巣から分泌され、骨吸収を抑制し、形成を維持する。閉経期には海綿骨は減少する。

6) アンドロゲン

精巣から分泌され、骨基質の形成を促進する。

7) 副腎皮質ホルモン（ステロイドホルモン）

長期投与で骨量を減少させ、骨粗鬆症を惹起する。大量投与では、海綿骨を含んだ骨髄の広範な壊死を生じ、大腿骨頭壊死や多発性骨壊死の原因となる。

8) ビタミンD

活性型ビタミンDは腸管からのカルシウム吸収作用と骨髄での破骨細胞形成促進により、血清カルシウムを上昇させる。

9) ビタミンA

欠乏により、骨の長軸方向の成長が阻害される。成長軟骨の軟骨増殖機能がある。

10) ビタミンC

コラーゲン、エラスチン、プロテオグリカンの合成に必須であり、骨基質の形成に関与している。

1.4 骨粗鬆症

人の骨量は成長期で増加し、骨格成熟に達する27歳前後で最大骨塩量 (Peak bone mass) となる。以後、加齢につれて、骨塩量は減少する。

骨粗鬆症 (osteoporosis) は骨量が減少し、骨の微細構造が劣化したために、骨が脆くなり骨折しやすくなった病態である。原発性骨粗鬆症と基礎疾患を有する続発性骨粗鬆症に分類される。骨粗鬆症のほとんどは原発性であり、エストロゲン分泌量の低下が原因の閉経後骨粗鬆症と、加齢に伴う腎機能の低下によって生じるビタミンDの低下が原因の老人性骨粗鬆症がある。原発性骨粗鬆症は、骨塩定量法 (DEXA) により、骨塩量が若年者の70%以下になることで診断される。また、脊椎に単純X線上、圧迫骨折や魚椎体が外傷によらず認められた場合も骨粗鬆症と診断される。血中のカルシウム、リン、アルカリフォスファターゼ濃度はすべて正常範囲内にある。無活動により骨粗鬆症は進行するため、疼痛をコントロールし早期に離床、歩行訓練を行う。

1.5 骨の発生、成長

骨の発生は軟骨原基から始まり、その軟骨細胞の分裂と基質産生による軟骨の成長と、軟骨の骨による置換 (内軟骨性骨化) によって進行する。骨の発生過程での骨形成には、膜性骨化と内軟骨性骨化の2つの様式がある。膜性骨化は横径成長、内軟骨性骨化は長軸方向への成長を行っている。

(1) 膜性骨化

未分化間葉系細胞が直接、骨芽細胞に分化して骨基質を形成する。頭蓋骨、顔面骨、鎖骨、肩甲骨などの形成や、長管骨の横径成長にあずかる骨膜による骨形成である。

(2) 内軟骨性骨化 (図 1.4)

胎生期のほとんどの骨形成や骨端軟骨での骨化様式である。軟骨基質の石灰化、その後の毛細血管侵入による軟骨吸収、骨芽細胞による石灰化軟骨基質の表面への骨の形成が起きる。肢芽の形成は胎生4~5週で、初期はすべて軟骨である。胎生期の長管骨軟骨原基の骨幹部の骨化 (1次骨化中心)、出生後の骨端骨化 (2次骨化中心)、成長軟骨での骨化様式が内軟骨性骨化である。

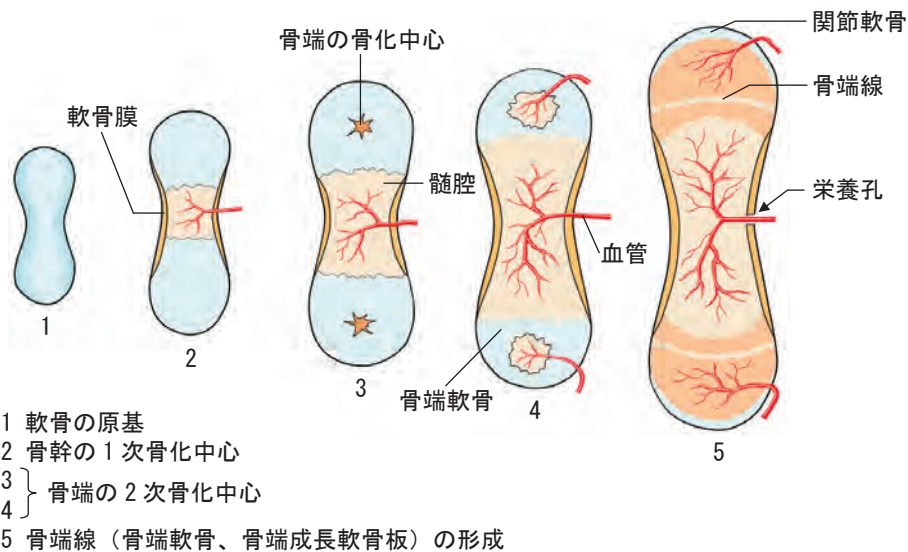


図 1.4 骨の発生・成長での内軟骨性骨化

2 関節の構造と機能

2.1 関節

関節は相対する2つあるいはそれ以上の骨を連結する構造体をいう（広義の関節）。関節は可動性に応じて不動関節と可動関節（狭義の関節）の2つに分類される。

(1) 不動関節

可動性がまったくないか、ごくわずかの可動性しかもたない関節のことをいう。

1) 線維軟骨結合

恥骨結合のように関節面は硝子軟骨に覆われるが、両骨間に線維軟骨が介在する。さらに、両骨間は靭帯によって強固に結合されている。関節腔や滑膜組織をもたない。

2) 軟骨結合

相対する骨が硝子軟骨で連結されているもので、成長期の長管骨の骨端と骨幹端の結合である骨端成長軟骨板がそれである。

3) 骨結合

成熟とともに癒合し、強直したものであり、骨端と骨幹端が癒合し骨結合となる。

4) 靭帯結合

頭蓋骨の縫合や遠位脛腓関節のように、2つの骨が線維性組織で直接結ばれたものである。

(2) 可動関節（滑膜関節：狭義の関節）（図 1.5）

可動性を有する関節で、大多数の関節はこれに属する。相対する骨端は硝子軟骨で覆われ、関節包という線維性の袋に囲まれている。関節包内には、関節腔という空隙が存在する。関節包の内面は滑膜によって覆われ、関節腔は滑液が満たされている。したがって、滑膜関節ともいい狭義の関節を意味する。

- ① 平面関節：椎間関節、肩鎖関節、手根間関節、足根間関節
- ② 蝶番関節：腕尺関節、指節間関節
- ③ 球関節：肩関節（肩甲上腕関節）、股関節
- ④ 橈円関節：橈骨手根関節、手根中央関節、環椎後頭関節
- ⑤ 顆状関節：膝関節、中手指関節
- ⑥ 車軸関節：上橈尺関節、下橈尺関節、正中環軸関節
- ⑦ 鞍関節：母指手根中手関節、胸鎖関節

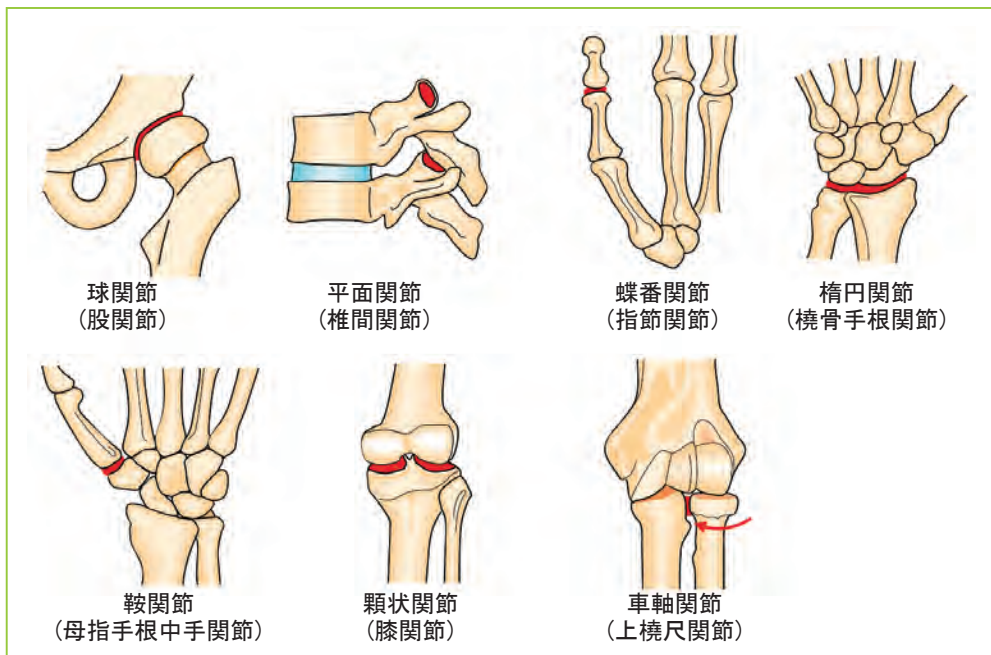


図 1.5 各種の可動関節

(3) 可動関節（滑膜関節）の構造（図 1.6）

可動関節は骨、関節軟骨、関節包、滑膜、靱帯などから構成されている。関節を形成する骨端は関節軟骨に覆われ、相対する骨は関節包で連絡され、骨端を包み込んでいる。関節包内面は滑膜で裏打ちされており、滑膜は関節腔内を満たす滑液の産生と吸収を行っている。関節包外層は強靱な靱帯様構造をしており、関節の安定

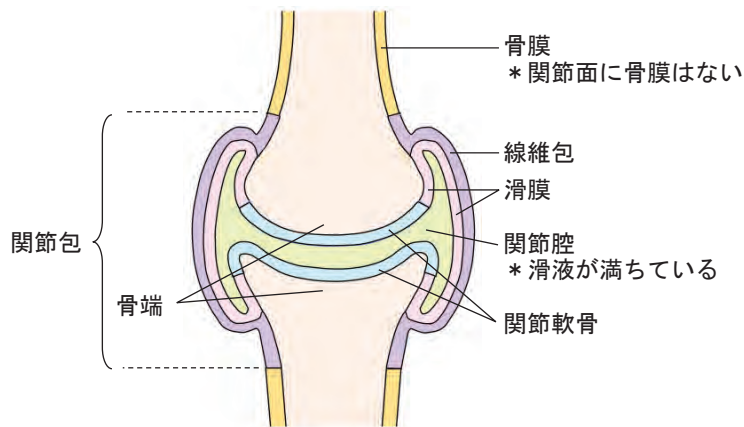


図 1.6 可動関節（滑膜関節）の模式図

性に寄与している。股関節、膝関節には関節腔内に靱帯をもち、強固に連結している。骨端の関節包外には筋肉と骨を結ぶ腱があり、筋肉が収縮することで関節の運動が可能となる。

膝、肩鎖関節、胸鎖関節、手関節の関節面には半月板あるいは関節円板が存在する。半月板は線維軟骨で形成され、辺縁 10～30%には血管がありこの部分は血行で栄養されている。残りの無血行部分は滑液によって栄養されている。

滑液は関節潤滑、関節軟骨や半月板の栄養を行っている。膝における正常な滑液は 3 mL 程度で無色あるいは黄色透明で、粘稠性があり、白血球数は $50 \sim 100/\text{mm}^3$ である。滑膜炎が強ければ、透明度は低下し、混濁し、粘稠性にも影響する。また、滑液中の白血球数は関節疾患の病態の判断の指標となる。関節はきわめて摩擦が少なく、摩擦係数は 0.002～0.006 でアイススケートの 1/10、人工関節の 1/100 といわれる。

(4) 関節軟骨の構造 (図 1.7)

成熟した関節軟骨は軟骨細胞の形態、基質の性状から大きく 4 層に分けられる。軟骨細胞は全容積の 4%以下で、そのほとんどは細胞外成分の軟骨基質である。また、細胞外成分の 70～80%は水分であるが、残りの構成成分は、コラーゲン 50%、プロテオグリカン 30～35%、非コラーゲン性タンパク質と糖タンパク質が 15～20% である。

軟骨基質において、コラーゲンは網目構造をつくり軟骨組織において、梁の役目を果たし形態維持と張力に抵抗する働きをしている。その間にプロテオグリカンが存在し、水分を保持している。

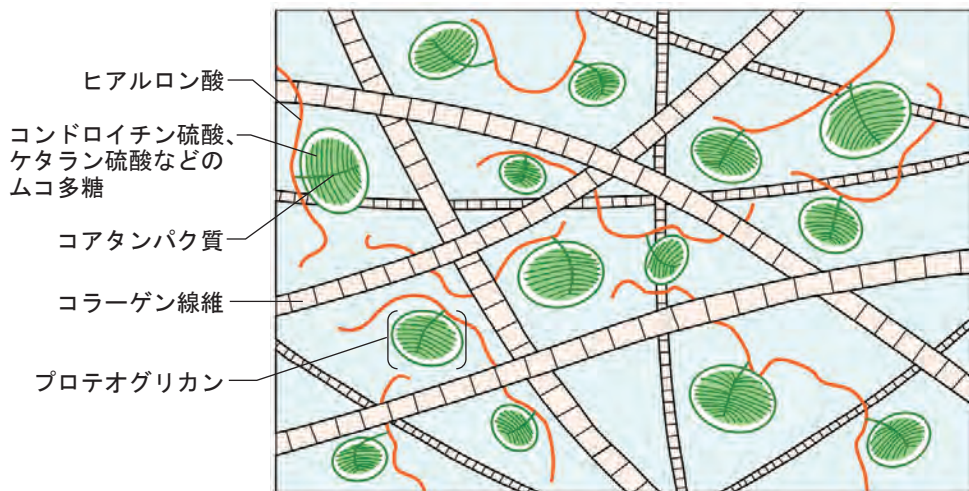


図 1.7 軟骨基質の模式図

3 神経の構造と機能

中枢神経系は脳と脊髄から構成され、末梢神経は脳神経、脊髄神経、自律神経より構成され、中枢神経系と末梢の身体組織との間で運動・感覚の情報を速やかに特異的に行う働きを有する。

3.1 脊髄（中枢神経）の構造と機能（図 1.8）

(1) 脊髄

脊髄（spinal nerve）の断面は、縦走する神経線維成分で構成される白質が、神経成分に富んだ灰白質を囲む構造となっている。灰白質は、存在する神経細胞の性質によって分類される。前角には遠心性神経の細胞体があり、脳から下りてきた運動に関わる神経は脊髄前角で下位運動ニューロンにシナプスをつくって連絡する。後角には末梢から入る求心性神経とシナプスを形成する神経細胞体がある。また腰髄・胸髄だけに側角があり、ここには交感神経の神経細胞体がある。

白質は大きく前索、側索、後索に分けられる。前索には上行路として触覚および圧覚を伝える前脊髄視床路が存在する。脊髄神経節からの1次ニューロン線維は後索内を上行、後角にある2次ニューロンと結合する。この線維は交差して反対側の前脊髄視床路を上行し、視床に終わる。側索の外側脊髄視床路は上行路として温・痛覚を伝えており、1次ニューロンは脊髄の膠様質のところで2次ニューロンと結合する。この線維は交差して反対側の側索へと進み外側脊髄視床路として視床まで

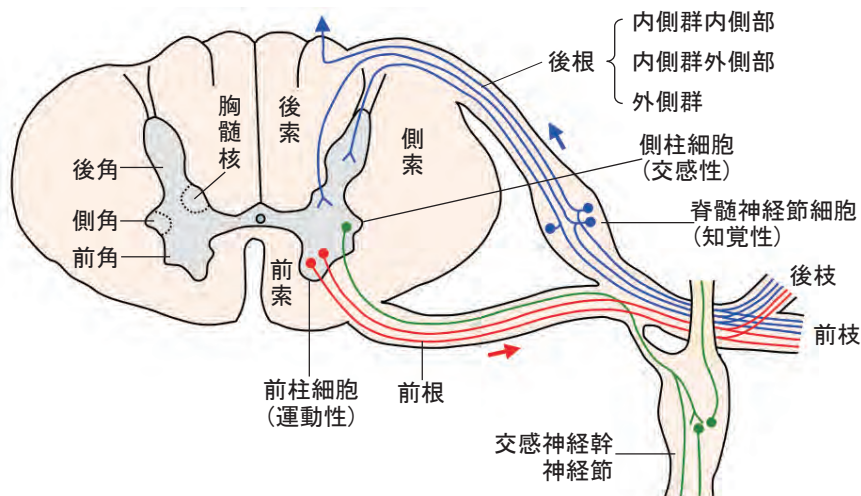


図 1.8 脊髓の模式図

上行する。下行路としては運動路として重要な錐体路が通る外側皮質脊髓路がある。錐体路は前頭葉運動皮質の第5層 Betz 細胞から始まり、内包後脚、中脳大脳脚の中2/3、橋腹側、延髄錐体部を通過した後、70～90%の大部分の線維は交叉して（錐体交叉）反対側の外側皮質脊髓路を下行して、介在ニューロンを介して運動ニューロンにシナプス結合する。

後索系は深部感覚（位置覚、振動覚）を伝える伝導路で、1次ニューロンは後根を経て脊髄に入り、交叉せずに薄束、楔状束を上行し延髄の後索核（薄束核、楔状束核）に終わる（脊髄延髄路）。2次ニューロンは延髄から出た後、直ちに交叉し、反対側に向かい内側毛帯となり、視床のVPL核に終わる（延髄視床路）。ここで3次ニューロンに接続し、内包、放線冠を経て知覚中枢（中心後回）に達し、意識レベルに到達する（視床皮質路）（図 1.9）。脊髄は胎生期は脊椎内を占めるが、新生児ではL3、成人ではL1まで上昇する。

(2) 神経根 (spinal root)

脊髄神経はそれぞれの部位から頸髄C1～8、胸髄T1～12、腰髄L1～5、仙髄S1～5、尾髄C0の31対存在する。頸部ではC1～7はそれぞれの椎体の上位に存在し、C8は第7頸椎の下位に存在するため、頸椎は7個であるが、脊髄神経は1対多い。胸椎以下では、それぞれの神経根はそれぞれの同番号のそれぞれの椎体の下位に存在する。神経根は前根と後根に分かれる。前根は運動神経からなり、運動終末を筋線維に与え筋支配を行う。さらに、微細な自律神経系に属する線維にも分枝する。後根は皮膚からの浅在・深在の知覚枝、および筋・腱からの知覚枝、および内臓からの求心性線維から構成される。

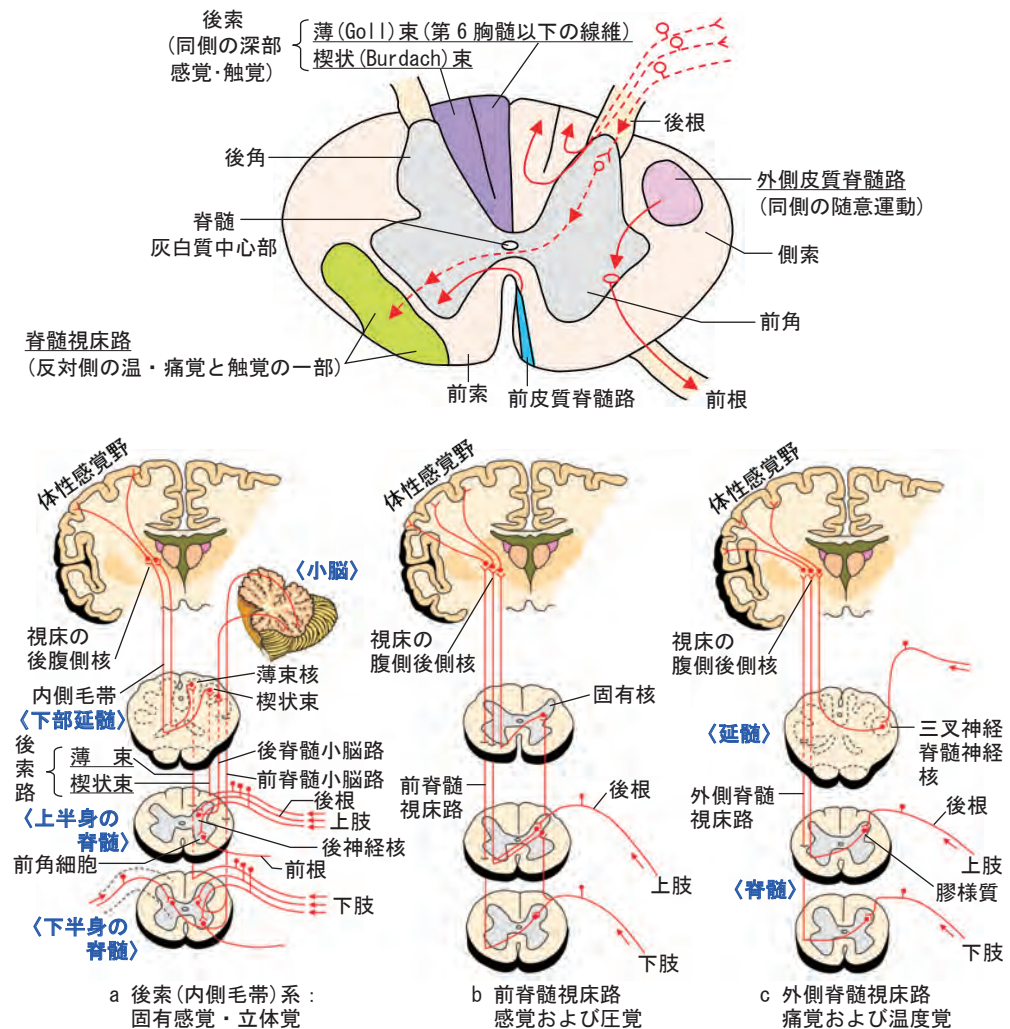


図 1.9 脊髄の伝導路の模式図

3.2 末梢神経の構造と機能

(1) 末梢神経の種類

脊髄から神経が分枝し、脊髄硬膜外に出た部位から終末目的器官に達するまでを末梢神経 (peripheral nerve) という。体性神経 (運動、知覚) と自律神経 (交感神経、副交感神経) からなる。体性神経系は、感覚神経と運動神経とがある。体性感覚や特殊感覚に基づく骨格筋の反射による運動機能の調節、大脳皮質の働きに基づく意志による運動機能に関与する。自律神経 (交感神経、副交感神経) は自律機能を制御している神経系で、各内臓器の活動 (心拍数、腸管運動など) を制御し、内部環境 (体温、血圧、体液の pH、水分量など) を一定に保つために不随意的に作用する機能をもつ。

(2) 末梢神経の構造 (図 1.10)

神経線維は、樹状突起を有する細胞体と軸索を有し、髄鞘の有無で有髄神経線維と無髄神経線維に分けられる。両神経ともシュワン (Schwann) 細胞に覆われているが、1 個のシュワン細胞が複数の軸索を取り込んでいるのが無髄神経であり、有髄神経では、1 個のシュワン細胞は 1 本の軸索を幾重にもらせん状に取り囲み、髄鞘 (ミエリン鞘) を形成している。軸索の表層には長軸方向にシュワン細胞が配列し、シュワン細胞同士はランビエ (Ranvier) 絞輪部分が中断してくびれている。この細胞突起間の間隙には細胞外イオンが軸索に流入し、絞輪部分で跳躍伝導を生じる。神経線維は A、B、C の 3 群に分類される。A 群は最も太い線維で伝導速度が最も速く、求心性 (一般に知覚線維) と遠心性 (一般に運動線維) の有髄神経である。B 群は有髄の交感神経節前線維であり、C 群は交感神経節後線維と一部の痛覚線維などの無髄線維である。

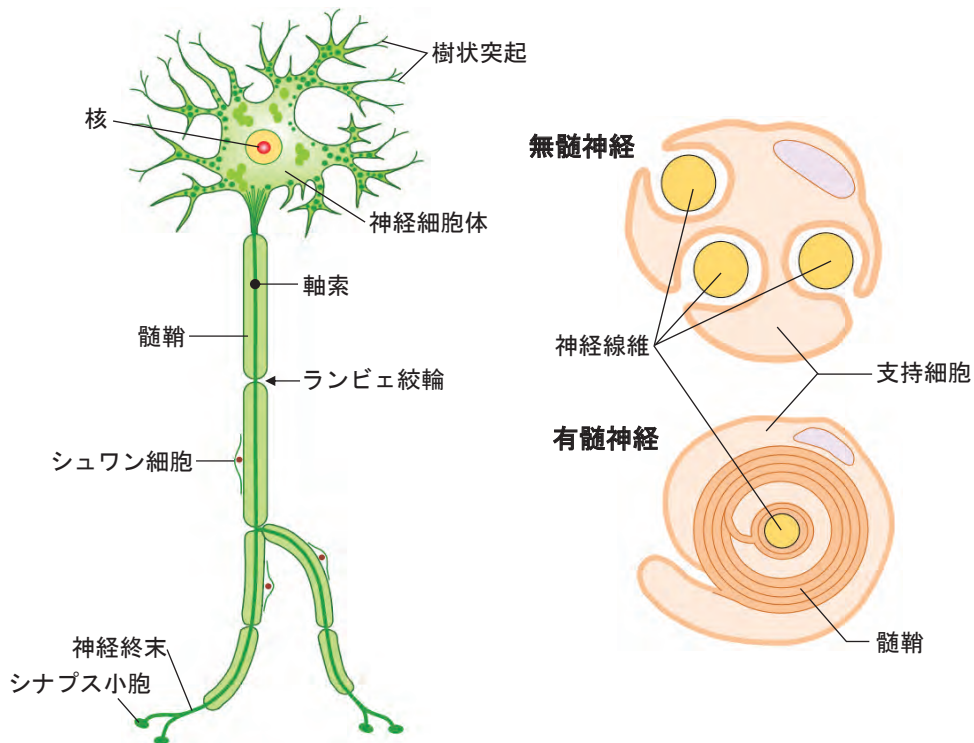


図 1.10 末梢神経の構造の模式図

(3) 神経筋接合部 (図 1.11)

神経筋接合部の神経終末の末端に神経インパルスが到達すると、神経伝達物質であるアセチルコリンが、筋形質膜と神経終末球の間に広がるシナプス間隙に放出さ

れる。筋形質膜の凹凸部を運動終板とよぶ。運動終板上にはアセチルコリン受容体があり、アセチルコリンを受け取ると、ナトリウムイオンチャネルが開き、ナトリウムイオンが流れ込む。すると筋活動電位が発生し、筋肉が収縮する。アセチルコリンはアセチルコリンエステラーゼにより急速に分解される。

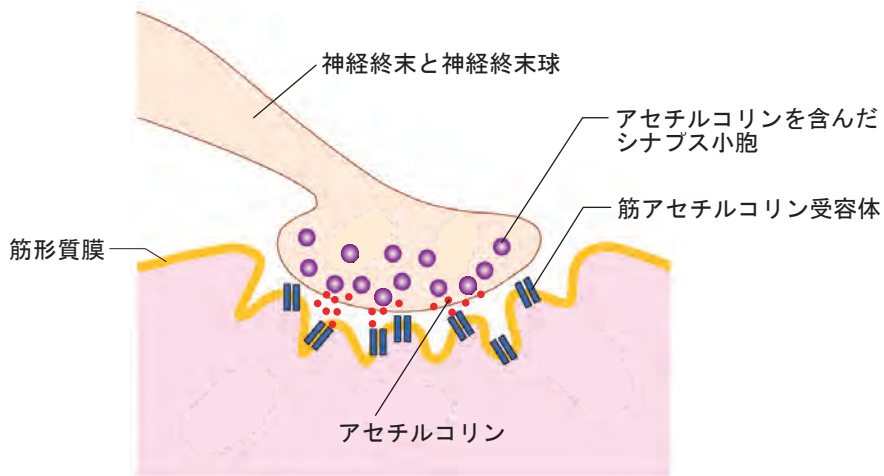


図 1.11 神経筋接合部の模式図

4 骨格筋の構造と機能

4.1 骨格筋の構造

骨格筋 (skeletal muscle) は骨格に付着し動きをもたらす。体重の約 40% を占め横紋筋、随意筋とよばれる。筋の膨れた部分を筋腹といい、収縮によって関節の運動を生ずる付着部を停止、固定されたままの付着部を起始という。筋の末端は腱、腱膜となって骨、軟骨、靱帯に付着する。筋収縮は筋線維の収縮によって生じるが、個々の筋線維の収縮は一定であり、筋全体の収縮力は筋線維の数に比例する。人の骨格筋は断面積 1 cm^2 当たり 3~4 kg の張力を出すことができる。

骨格筋は生体内で最も大きい多核細胞である筋線維から構成されている。個々の筋線維は筋内膜で覆われ、これが数十個集合し筋線維束を形成する。いくつかの筋線維束はさらに集合し筋周膜に覆われる (図 1.12)。

筋原線維 (myofibril) は筋収縮に重要なアクチンフィラメント (actin filament) とミオシンフィラメント (myosin filament) というタンパク質を内包している。アクチンフィラメントとミオシンフィラメントが一部重なりあうと偏光顕微鏡上、複屈折性を示す暗い A 帯と単屈折性の明るい I 帯を生ずる。I 帯はアクチンフィラメント

からなり、A 帯はアクチンフィラメントとミオシンフィラメントの重なりあう部分である。I 帯は暗い Z 帯で分けられ、A 帯の中央には明るい H 帯がみられる (図 1.12)。

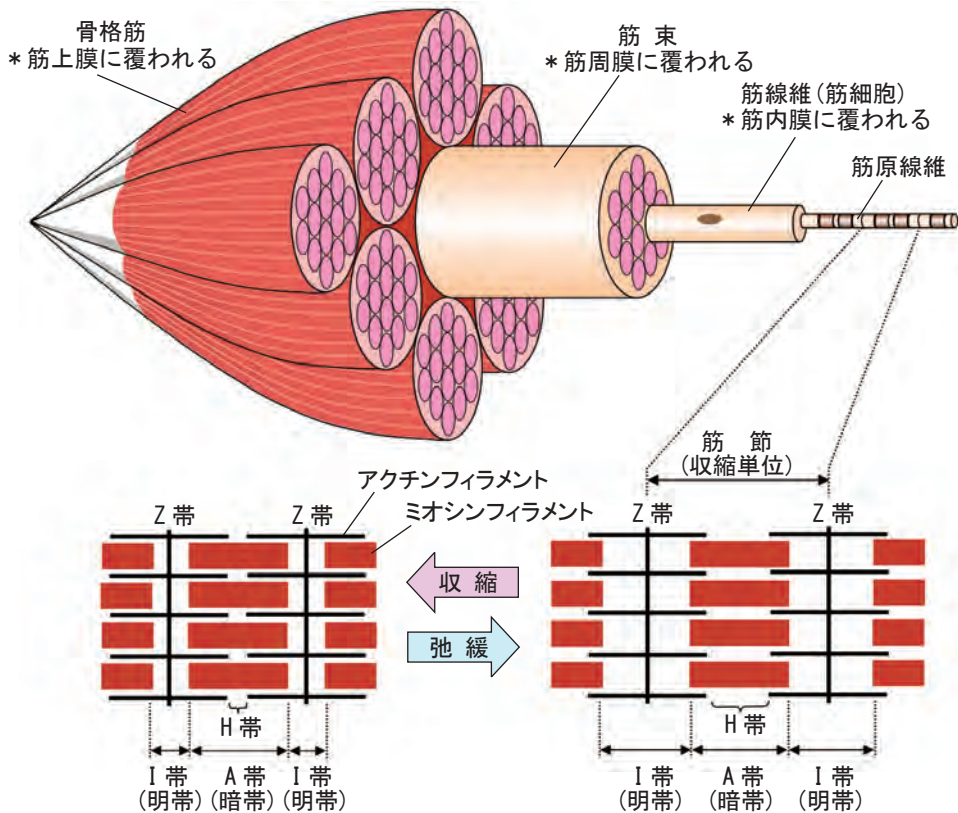


図 1.12 骨格筋の断面

4.2 遅筋と速筋

筋線維は形態学および組織学的に大きく 2 種類に分けられる。ミトコンドリアに富んで酸素を利用した持続的な収縮の可能な遅筋線維 (I 型、赤筋 ; red muscle、遅筋) と、ミトコンドリアは比較的少なくピルビン酸による瞬発的な収縮の可能な速筋線維 (II 型、白筋 ; white muscle、速筋) に分けられる。遅筋線維の赤色の原因は、酸素結合性タンパク質、ミオグロビンにある (表 1.1)。

4.3 筋の収縮

筋は収縮することで筋力を生じる。筋線維の長さが一定であれば等尺性収縮 (isometric contraction) といい、筋線維の長さが変化すれば等張性収縮 (isotonic contraction) という。神経と筋肉は、神経筋接合部というシナプスの一種を介して

表 1.1 遅筋と速筋の特徴

		遅筋（Ⅰ型、赤筋）	速筋（Ⅱ型、白筋）
ミオグロビン		多い	少ない
ミトコンドリア		多い	少ない
グリコーゲン		少ない	多い
収縮速度		遅い	速い
疲労度		遅い	速い
酸化還元酵素		多い	少ない
グリコーゲン分解酵素		少ない	多い
ATPase 染色	Routin (pH9.9)	白	黒
	酸性	黒	白
神経線維		細い	太い
伝導速度		遅い	速い
毛細血管		密	粗
		ヒラメ筋、前脛骨筋 大腿二頭筋	腓腹筋、長母指屈筋 長指屈筋

刺激の伝達を行っている。神経末端からアセチルコリンが放出され、筋肉の側にあるアセチルコリン受容体に結合し、筋線維の細胞膜を脱分極させる。これがT管系を伝わり筋全体に広がる。T管系に接する筋小胞体からカルシウムが放出され、このカルシウムをシグナルとしてアクチンフィラメントとミオシンフィラメントの間の滑り運動が起こり筋収縮となる。

5 腱の構造と機能

5.1 腱 (tendon)

腱は関節を動かすために、筋の収縮力を骨に伝達する働きがある。力を効果的に伝達するために、腱は伸びの限界をもち、張力に抵抗する。腱は主にⅠ型コラーゲンとプロテオグリカンを含むエラスチンから構成されている。細胞成分は、主に腱細胞、腱芽細胞があり、コラーゲン線維間に配列している。腱の最小単位はコラーゲン線維束で、その集合がコラーゲン線維である。さらにそれらが集合し、順に第1次線維束、第2次線維束、第3次線維束、腱となっていく（図 1.13）。腱表面は腱上膜で覆われ、さらにその表面をパラテノンという網目状の組織が覆っている。パラテノンは腱周囲組織に対する腱の動きを滑らかにすると同時に腱への血流供給の役割がある。

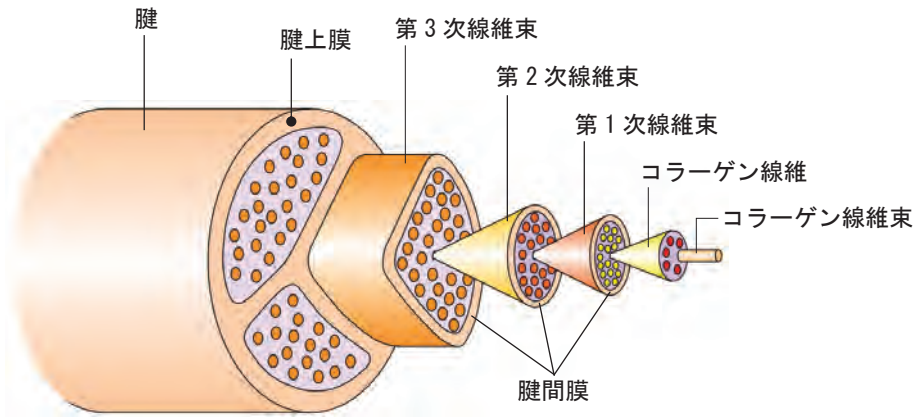
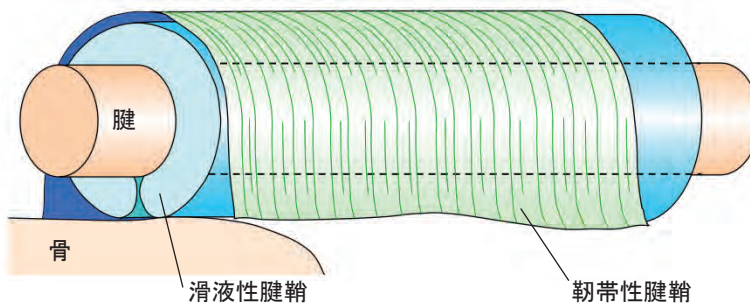


図 1.13 腱の微細構造

5.2 腱鞘 (tendon sheath) (図 1.14)

手や足の長くカーブした部分には摩擦を最小にするために、腱周囲に腱鞘が存在する。腱鞘は2層に分かれており、腱側である内側は滑液性腱鞘といい、外側は靭帯性腱鞘という。滑液性腱鞘の内部には滑液があり、腱の動きを円滑にし、腱を栄養している。靭帯性腱鞘はコラーゲン線維で構成されている。



出典) 標準整形外科学 (第8版), 医学書院, 2002 P361, 図 24-14 より一部改変

図 1.14 腱鞘の構造

5.3 筋腱接合部 (myotendinous junction : MTJ)、骨腱接合部 (osteotendinous junction : OTJ)

腱は近位で筋と筋腱接合部をつくり、遠位で骨と骨腱接合部をつくっている。筋腱接合部では、筋線維間に腱のコラーゲン線維が深く入り込んで結合している。このように接触面積を増加させ、筋腱接合部にかかる負荷を分散している。骨腱接合部には、2種類の結合様式が存在する。ひとつ目は、腱－非石灰化軟骨層－石灰化軟骨層－骨という4層構造により接合部での力学負荷を分散している直接付着（ダ

イレクトインサーション ; direct insertion) である。この構造は、アキレス腱付着部、指・趾の腱の付着部などでみられる。2つ目は、骨膜を貫通するシャーピー線維 (Sharpey's fiber) による間接付着 (インダイレクトインサーション ; indirect insertion) である。この構造は、半腱様筋筋腱、薄筋腱の付着部などでみられる。

6 靱帯の構造と機能

靱帯 (ligament) は骨と骨を結合し、関節を支持している。肉眼的は白い光沢をもった索状組織である。靱帯を構成する膠原繊維は主に I 型コラーゲンで、線維芽細胞がこの中に散在している。靱帯は骨に付着するのに、腱と同様に直接付着、間接付着の形態をとる。直接付着は、靱帯—非石灰化軟骨層—石灰化軟骨層—骨という4層構造を有し、膝前十字靱帯の脛骨、大腿骨付着部はこの付着様式である。間接付着は、シャーピー線維が骨膜を貫通し骨と付着する構造であるが、膝内側側副靱帯の脛骨付着部はこの付着様式である (図 1.15)。靱帯は、複雑な関節運動を制御し、関節内の他の組織への負荷を分配する働きがある。

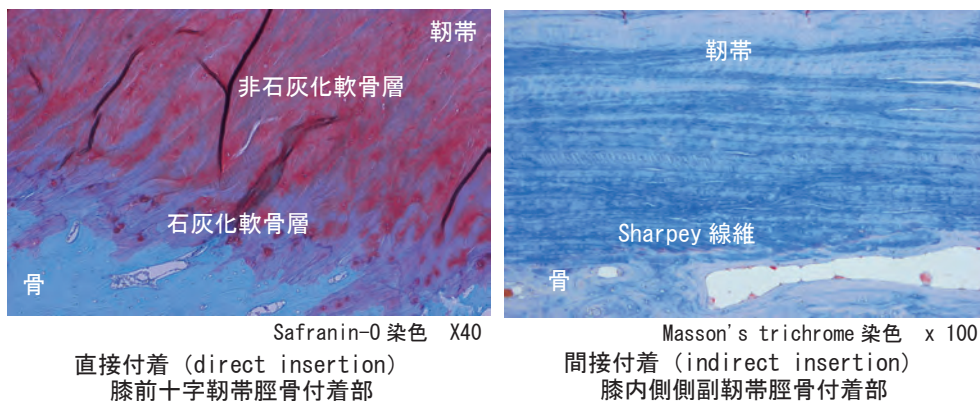


図 1.15 靱帯の骨付着部

章末問題

1 誤っているのはどれか。

1. 運動器とは骨や関節、筋肉、腱など体を支えたり、動かすための器官である。
2. 骨の役目は体を支えることだけである。
3. 血液中のカルシウムが少なくなると骨から補っている。
4. 筋肉は生体全体の 50% を占め、なかでも骨格筋が多く、エネルギー変換器としての役目がある。
5. 変形性関節症により歩行障害などを起こし、健康寿命を短縮することがある。

解説 骨には体を支持する働きの他に、カルシウムおよびリンの貯蔵庫として体液の電解質平衡を維持するカルシウム・リンの代謝作用がある。

解答 2

2 誤っているのはどれか。

1. 骨は細胞成分と基質からなる。
2. 骨にはカルシウム・リンの代謝作用がある。
3. 骨は皮質骨と海綿骨に分類される。
4. 関節部分も骨膜に覆われている。
5. 骨膜には骨形成能がある。

解説 関節部分は関節軟骨に覆われている。

解答 4

3 次のうち正しいのはどれか。

- ア. 骨を構成する無機質は主に炭酸カルシウムである。 イ. 骨にはリンが含まれる。
 ウ. 長管骨の長径成長は軟骨内骨化（内軟骨性骨化）により行われる。
 エ. 破骨細胞は正常状態の骨には存在しない。 オ. 骨膜は常に骨化をしている。
1. ア、イ 2. ア、オ 3. イ、ウ 4. ウ、エ 5. エ、オ

解説 骨を構成する無機質は主にリン酸カルシウム（ハイドロキシアパタイト）で

ある。正常骨に骨芽細胞、骨細胞、破骨細胞が存在する。骨膜は横径成長と外形の修正を行っているが、成長が終了すると横径成長も止まる。

解答 3

4 骨代謝について誤っているのはどれか。

- ア. 骨膜には血管・リンパ管・知覚神経が存在する。
イ. 上皮小体（副甲状腺）ホルモンは血中カルシウム濃度を調節する。
ウ. ビタミンDは腸管からのカルシウム吸収を促進する。
エ. ステロイドホルモン剤は骨量の増加を促す。
オ. 骨のリモデリング（骨再造形）は27歳頃がピークである。
1. ア、イ 2. ア、オ 3. イ、ウ 4. ウ、エ 5. エ、オ

解説 ステロイドホルモンの長期投与は骨量を減少させ、骨粗鬆症を引き起こす。関節リウマチの治療薬としてステロイドホルモンが用いられるが、骨粗鬆症が問題となる。骨リモデリングは破骨細胞と骨芽細胞により常に行われている。最大骨塩量（Peak bone mass ピークボーンマス）は27歳頃である。

解答 5

5 次のうち正しい組み合わせはどれか。

- ア. 皮質骨 — 骨幹端部 イ. 海綿骨 — 緻密骨
ウ. リモデリング — 変形治癒骨折の矯正
エ. ハイドロキシアパタイト — カルシウム、リン オ. 足根骨 — 扁平骨
1. ア、イ 2. ア、オ 3. イ、ウ 4. ウ、エ 5. エ、オ

解説 骨幹端部に多いのは海綿骨で、皮質骨（緻密骨）は骨幹部に多い。足根骨は短骨である。扁平骨のなかには、腸骨、頭蓋骨、肩甲骨がある。

解答 4

6 次のうち正しい組み合わせはどれか。

- ア. 骨膜は骨形成能を有する。 イ. 骨代謝はホルモンの影響を受けない。
 ウ. 関節には常に関節滑液が存在する。 エ. 骨格筋は平滑筋である。
 オ. 骨は常にリモデリングを行っている。
1. ア、イ 2. ア、オ 3. イ、ウ 4. ウ、エ 5. エ、オ

解説 骨膜の内膜は胚芽層といい、多分化能を有することから骨形成能がある。骨代謝はさまざまなホルモンの影響を受ける（1.3（1）参照）。可動関節には滑液があるが、不動関節にはない。骨格筋は横紋筋であり、平滑筋は腸管などに存在する。

解答 2

7 骨の発生に関して正しいのはどれか。

- ア. 肢芽の形成は胎生 12 週である。
 イ. 長管骨の長軸方向の成長は膜性骨化である。
 ウ. 2 次骨化中心はすべて出生前に起こる。 エ. 頭蓋骨の成長は膜性骨化よりなる。
 オ. 骨年齢が分かるのは成長終了までである。
1. ア、イ 2. ア、オ 3. イ、ウ 4. ウ、エ 5. エ、オ

解説 肢芽の形成は胎生 4～5 週である。長管骨の長軸方向の成長は内軟骨性骨化であり、骨膜は横径の成長に関与する。2 次骨化中心は出生後に起きる。

解答 5

8 次のうち誤っているのはどれか。

1. 骨端成長軟骨板（骨端軟骨）で骨の長軸成長がなされる。
 2. 骨の成長は膜性骨化と内軟骨性骨化よりなる。
 3. 閉経は骨塩量の増加を来す。 4. 赤色骨髄は造血機能を有する。
 5. 破骨細胞の活性があがると骨粗鬆症になる。

解説 閉経によりエストロゲンの分泌が減少して骨粗鬆症になる。

解答 3

9 次の組み合わせで誤っているのはどれか。

1. カルシウム吸収 － ビタミンD
2. 骨吸収 － 上皮小体（副甲状腺）ホルモン
3. 骨形成 － ステロイド（副腎皮質）ホルモン
4. 骨吸収 － 宇宙空間
5. 骨形成 － スポーツ

解説 ビタミンDは腸管からのカルシウム吸収を促進する。ステロイドホルモンの長期投与により骨吸収され骨粗鬆症となる。

解答 3

10 老人性骨粗鬆症について誤っているのはどれか。

- ア．骨量の減少は海綿骨より皮質骨に著しい。
イ．骨吸収は骨形成に比べて減少している。
ウ．力学的負荷が骨量維持に重要である。
エ．DEXA法が骨量判定に用いられる。 オ．脊椎椎体の圧迫骨折が生じやすい。
1. ア、イ
 2. ア、オ
 3. イ、ウ
 4. ウ、エ
 5. エ、オ

解説 骨量の減少は海綿骨で著しく、大腿骨近位部骨折・胸腰椎圧迫骨折を引き起こす。その際、骨吸収が亢進している。

解答 1

11 骨粗鬆症の原因で誤っているのはどれか。

1. 肥満
2. カルシウム摂取不足
3. 宇宙空間
4. 閉経
5. 副腎皮質ホルモン薬の長期服用

解説 適度な運動は骨粗鬆症を予防するが、肥満は原因とはいえない。 **解答** 1

12 骨粗鬆症について誤っているのはどれか。

1. 女性に多い。 2. 腰背部痛を起こしやすい。
3. 血液中のカルシウム濃度が低下する。 4. 診断には骨塩量測定が用いられる。
5. 脊椎圧迫骨折を起こしやすい。

解説 骨粗鬆症において、血液中のカルシウム濃度に変化は認めない。 **解答** 3

13 骨粗鬆症について誤っているのはどれか。

- ア. 海綿骨の骨梁は少なくなる。 イ. 若年者の70%以下の骨塩量になる。
 ウ. 安静を促す。 エ. 大腿骨骨幹部が骨折する。 オ. 閉経後の女性に好発する。
1. ア、イ 2. ア、オ 3. イ、ウ 4. ウ、エ 5. エ、オ

解説 力学的負荷が骨量維持に重要であるため、適度な運動を促す。骨粗鬆症では、大腿骨近位部に骨折を認めることがある。大腿骨骨幹部は高エネルギー外傷で骨折する。

解答 4

14 関節に関して誤っているのはどれか。

1. 骨と骨の結合を関節という。 2. 関節軟骨は滑液によって栄養されている。
3. すべての関節に滑膜が存在する。 4. 不動関節がある。
5. 滑膜には血流がある。

解説 可動関節は滑膜関節であり、滑膜から滑液（関節液）が分泌される。不動関

節には滑液がない。

解答 3

15 関節について正しいのはどれか。

- ア. 滑膜は関節軟骨の内面を覆う。 イ. 関節滑液は関節包より分泌される。
 ウ. 関節軟骨は毛細血管により栄養される。
 エ. 関節軟骨は代謝により入れ替わっている。
 オ. 関節の動きは骨の形状と靭帯により制動される。
1. ア、イ 2. ア、オ 3. イ、ウ 4. ウ、エ 5. エ、オ

解説 滑膜は関節包内面を裏打ちしているが、関節軟骨表面には存在しない。滑膜は関節滑液を分泌し、関節軟骨を栄養している。関節軟骨は無血管野である。

解答 5

16 脊髄について誤っているのはどれか。

1. 後根には神経節がある。 2. 下端は第1腰椎のレベルにある。
 3. 白質は灰白質より神経細胞体が多い。 4. 運動神経細胞は前角にある。
 5. 交感神経は胸髄と腰髄とから出る。

解説 脊髄の断面は、縦走する神経線維成分で構成される白質が、神経成分に富んだ灰白質を囲む構造になっている。

解答 3

17 正しいのはどれか。

- ア. 神経節は後根にある。
 イ. 頸椎は7個であり、頸神経も7対である。

ウ. 脊髄でも脳と同様、灰白質が外側に、白質が内側に存在する。

エ. 脊髄の下端は第 5 腰椎の付近にある。

オ. 運動神経は前根から出、知覚神経は後根から入る。

1. ア、イ 2. ア、オ 3. イ、ウ 4. ウ、エ 5. エ、オ

解説 頸椎は 7 個であるが、頸神経は 8 対である。脊髄では灰白質が内側、白質が外側に存在する。脊髄の下端は第 1 腰椎の付近にある。

解答 2

18 骨格筋の筋収縮で正しいのはどれか。

1. 筋小胞体には Na^+ を貯蔵している。
2. 活動電位は筋収縮に遅れて発生する。
3. Ca^{2+} が筋小胞体に取り込まれると筋収縮が起こる。
4. ミオシン頭部の角度が戻るときに ATP の加水分解が起こる。
5. 神経筋接合部での興奮の伝達は神経と筋との間で双方向性である。

(第 54 回国家試験 PT・OT)

解説 筋小胞体は Ca^{2+} を貯蔵し、 Ca^{2+} の放出・取込みで筋の収縮・弛緩の調節を行っている。神経筋接合部では、神経終末からアセチルコリンが放出され、筋肉細胞に存在する受容体に受け取られる一方向性である。これにより、筋肉細胞に脱分極が起き、活動電位が発生し筋収縮が起きる。

解答 4

19 続発性骨粗鬆症発症の危険因子はどれか。

1. 肥満
2. 副腎不全
3. 関節リウマチ
4. 甲状腺機能低下
5. 副甲状腺機能低下

(第 54 回国家試験 PT・OT)

解説 関節リウマチでは、骨萎縮し骨粗鬆症を呈する。また、関節リウマチの治療で副腎皮質ホルモン（ステロイドホルモン）を長期投与されている場合、さらに骨量が減少する。

解答 3

20 左上肢の感覚と伝導路が通る部位との組み合わせで正しいのはどれか。

1. 圧 覚－左脊髄前索 2. 位置覚－右脊髄後索 3. 温 覚－右脊髄後索
4. 振動覚－左脊髄側索 5. 痛 覚－右脊髄側索 (第54回国家試験 PT・OT)

解説 触覚・圧覚を伝える前脊髄視床路は前索に存在する。この線維は交差して反対側の前脊髄視床路を上行し視床に終わる。温覚・痛覚を伝える外側脊髄視床路は側索に存在する。この線維は交差して反対側の側索へと進み外側脊髄視床路として視床まで上行する。深部感覚（位置覚、振動覚）を伝える脊髄延髄路は交差せずに後索の薄束、楔状束を上行し延髄の後索核（薄束核、楔状束核）に終わる。触覚・圧覚、温覚・痛覚は反対側のそれぞれ前索、側索を通り、位置覚・振動覚は同側の後索を通る。

解答 5

21 骨について正しいのはどれか。2つ選べ。

1. 長骨の骨幹には髓腔がある。 2. 骨には緻密骨と海綿骨がある。
3. 骨芽細胞は骨吸収に関与している。 4. 骨の関節面は滑膜で覆われている。
5. 骨膜は骨の長軸方向の成長に関わる。 (第53回国家試験 PT・OT)

解説 骨芽細胞は骨形成、破骨細胞は骨吸収に関与している。関節面は硝子軟骨で覆われている。骨膜は骨の横径成長と外形の修正を行っている。

解答 1、2

22 破骨細胞について正しいのはどれか。

1. 骨小腔に存在する。 2. 骨芽細胞を破壊する。 3. 不動で活性が低下する。
4. 巨大な多核細胞である。 5. プロテオグリカンを合成する。

(第 51 回国家試験 PT ・ OT)

解説 骨小腔に存在するのは骨細胞である。破骨細胞は骨を吸収して、骨芽細胞は骨形成を行っている。この 2 つの細胞は互いに連携している。骨芽細胞はアルカリフォスファターゼ活性が強く、破骨細胞は酸性フォスファターゼが強陽性である。

解答 4

23 神経筋接合部の神経伝達物質はどれか。

1. ドパミン 2. セロトニン 3. アドレナリン 4. γ アミノ酪酸
5. アセチルコリン (第 51 回国家試験 PT ・ OT)

解説 神経筋接合部の神経終末では、神経伝達物質であるアセチルコリンがシナプス間隙に放出される。運動終板上にはアセチルコリン受容体があり、アセチルコリンを受け取ると、ナトリウムイオンチャネルが開き、ナトリウムイオンが流れ込む。すると筋活動電位が発生し、筋肉が収縮する。アセチルコリンはアセチルコリンエステラーゼによって急速に分解される。

解答 5

24 膜性骨化で形成されるのはどれか。

1. 肋骨 2. 頭蓋骨 3. 上腕骨 4. 手根骨 5. 大腿骨

(第 51 回国家試験 PT ・ OT)

解説 前頭骨、頭頂骨、後頭骨、側頭骨、頭蓋冠を構成する扁平骨、下顎骨の一部、鎖骨などは膜性骨化で形成される。

解答 2

25 骨格筋の構造で正しいのはどれか。2つ選べ。

1. A 帯を明帯という。
 2. A 帯は筋収縮時に短縮する。
 3. I 帯の中央部に Z 帯がある。
 4. Z 帯は筋収縮時に伸長する。
 5. Z 帯と Z 帯との間を筋節という。
- (第 51 回国家試験 PT・OT)

解説 A 帯は暗帯といい、I 帯を明帯という。I 帯が収縮時に短縮する。筋収縮時に短縮するのは I 帯と H 帯で、Z 帯は伸長も短縮もしない。

解答 3、5

26 骨について正しいのはどれか。

1. 皮質骨は骨梁から形成される。
 2. 皮質骨はコラーゲンを含まない。
 3. 海綿骨にはハバース管が存在する。
 4. 海綿骨の表面は骨膜で覆われている。
 5. 骨端と骨幹端の間に成長軟骨板がある。
- (第 50 回国家試験 PT・OT 共通)

解説 骨梁構造からなるのは海綿骨である。皮質骨には主に 1 型コラーゲンが含まれる。ハバース管は皮質骨に存在する。皮質骨は骨膜で覆われている。

解答 5

27 関節とその形状の組み合わせについて正しいのはどれか。

1. 肩関節 — 鞍関節
 2. 肘関節 — 球関節
 3. 上橈尺関節 — 車軸関節
 4. 橈骨手根関節 — 平面関節
 5. 母指 CM 関節 — 蝶番関節
- (第 50 回国家試験 PT・OT)

解説 肩関節は球関節、肘関節（腕尺関節）は蝶番関節、橈骨手根関節は橢円関節、母指 CM 関節（手根中手関節）は鞍関節である。

解答 3

28 骨について正しいのはどれか。

1. 骨芽細胞は骨吸収に関与している。
 2. 緻密骨と海綿骨とに分けられる。
 3. 幼児期の骨髄は黄色骨髄である。
 4. 関節面は滑膜で覆われている。
 5. 短骨には髄腔がある。
- (第 49 回国家試験 PT・OT)

解説 骨芽細胞は骨形成に関与する。骨吸収に関与するのは破骨細胞である。幼児期の骨髄は赤色骨髄で、赤血球の産生を行っている。老化により、骨髄は黄色骨髄となり、脂肪成分が増す。

解答 2

29 筋におけるタイプⅡb線維と比べたタイプⅠ線維の特徴はどれか。2つ選べ。

1. 持久力のある筋肉において比率が高い。
 2. 周囲組織の毛細血管が密である。
 3. ヒラメ筋において比率が低い。
 4. ミオグロビン量が少ない。
 5. ミトコンドリアが少ない。
- (第 49 回国家試験 PT・OT)

解説 タイプⅠ線維は赤筋・遅筋、タイプⅡb線維は白筋・速筋である。タイプⅠ線維の赤筋・遅筋はミトコンドリアに富んで酸素を利用した持続的な収縮が可能である。赤色の原因は、酸素結合性タンパク質、ミオグロビンによる。

解答 1、2

30 骨の構造で正しいのはどれか。

1. 皮質骨には骨梁がある。
 2. 踵骨は海綿骨の部分が少ない。
 3. 発育時の骨髄は赤色骨髄である。
 4. 関節面は骨端軟骨で覆われている。
 5. 骨は軟骨よりもプロテオグリカンを豊富に含む。
- (第 48 回国家試験 PT・OT)

解説 骨梁構造からなるのは海綿骨である。踵骨は海綿骨が豊富である。関節面は硝子軟骨で覆われている。プロテオグリカンを豊富に含むのは軟骨であり、これにより水分の保持を行っている。

解答 3

31 車軸関節はどれか。2つ選べ。

- [illegible]

解説 顎関節は楕円関節、椎間関節は平面関節、脛骨大腿関節（膝関節）は顆状関節である。

解答 2、3

32 タイプⅡ筋線維と比較してタイプⅠ筋線維の特徴はどれか。

1. 筋線維の径が太い。 2. 神経線維が細い。 3. 酸化酵素活性が低い。
4. ミトコンドリアが少ない。 5. ミオグロビン量が少ない。

(第 46 回国家試験 PT・OT 一部改編)

解説 タイプⅠ線維は赤筋・遅筋、タイプⅡ線維は白筋・速筋である。タイプⅠ線維の赤筋・遅筋は筋線維径が細く、ミトコンドリアに富んで酸素を利用した持続的な収縮が可能である。ミオグロビン量は多い。

解答 2