

骨は緻密質と海綿質で構築され、丈夫さと軽さを兼ね備えている

骨の肉眼的構造 ⑤

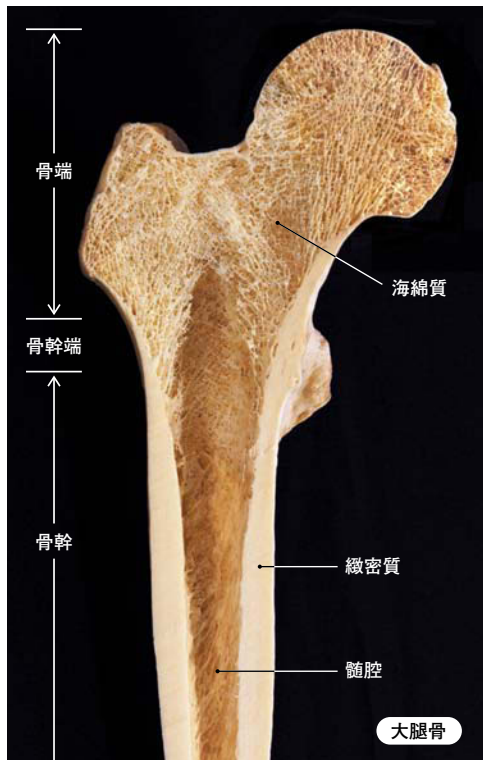
骨の表面は緻密で均質に見えるが、断面を見ると内部はスポンジ状である。外表面の緻密で硬い部分を**緻密質 compacta**といい、内部の小孔と網目状の骨梁からなる部分を**海綿質 spongiosa**という。長い大型の骨では、中心に向かうにつれて海綿質の小孔の数と大きさが増し、大きな**髄腔 medullary cavity**を形成する。海綿質の小孔と髄腔を満たす組織を**骨髄 bone marrow**という。大きな骨の外面には、**栄養孔**と呼ばれる小孔が肉眼的に認められる。これは髄腔に向かう血管の進入部である。

緻密質と海綿質の構造は、強度を低下させることなく軽量化を実現している。緻密質は外力を表面に分散させ、また長骨の骨幹では厚さを増して必要な強度を保っている。海綿質の内部では、その部位にかかる外力の方向に応じて**骨梁 ⑥**が三次元的に配置されている。

骨は形状により区別され、内部構造にも特徴がある。

骨の形状		
長骨	長い円柱状	上腕骨、大腿骨など
短骨	球形ないし多面体	手根骨、足根骨など
扁平骨	薄い板状	頭蓋冠の骨、胸骨、肋骨など
不規則形骨	凹凸が著しい	椎骨、上顎骨など
含気骨	内部に空洞	上顎骨、篩骨、前頭骨など

⑤ 長骨の断面



長骨では**骨端 epiphysis**と**骨幹 diaphysis**を区別する。骨端では緻密質が薄く、内部は海綿質からなる。骨幹では緻密質が厚く、内部は髄腔が広がり海綿質が乏しい。

頭蓋冠の骨では、内層と外層は厚い緻密質からなり、**内板・外板**という。**板間層 diploë**は海綿質からなり、板間静脈が通る〔第Ⅱ巻参照〕。

含気骨の内部の空洞は粘膜で覆われており、鼻腔を通じて外界と交通している。

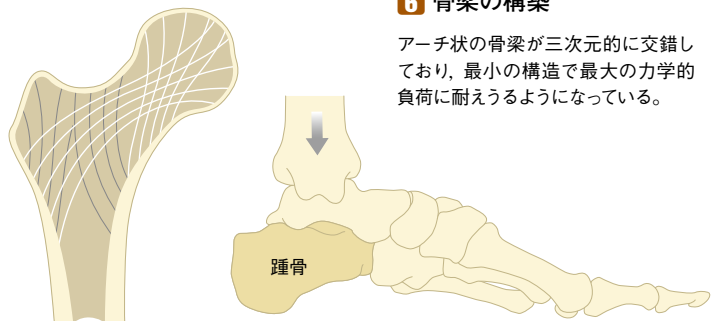
腱の内部にみられる小骨を**種子骨 sesamoid bone**という。腱が骨や関節の近くを通過するところに存在し、腱の方向を変える働きをする。

骨の組織構造 ⑦

緻密質にみられる骨の典型的な組織構造を、ハヴァース系という。血管の通路であるハヴァース管 Haversian canal を、厚さ数 μm の**骨層板 bone lamella**が同心円状に取り巻き、円筒形の**骨単位 osteon**を形成する。骨単位は、長軸方向の外力に抗するように、骨の表面ないし長軸に平行に並んでいる。ハヴァース管を横に連絡する**フォルクマン管 Volkmann's canal**は、骨表面および髄腔に開いており、内外の血管をつなぐ通路になっている。

⑥ 骨梁の構築

アーチ状の骨梁が三次元的に交錯しており、最小の構造で最大の力学的負荷に耐えうようになっている。



骨層板は、コラーゲン線維などの蛋白質が枠組みを作り、そこにリン酸カルシウムの結晶が沈着したものである。コラーゲン線維は骨単位の層板の中でラセン状に配列し、隣り合う層板ではほぼ直交する。

骨層板の間には骨小腔 bone lacunaが存在し、骨細胞を収めている。骨小腔から放射状に伸びる骨細管 bone canaliculiを通して、骨細胞は細い突起を伸ばし互いに連絡している。骨細胞は、骨小腔と骨細管に含まれる細胞外液を通して物質交換を行う。

骨単位の周囲にはコラーゲン線維に乏しい石灰化基質の層があり、セメント基質と呼ぶ。骨単位に属さない不規則な領域には、再構築の過程で破壊された骨単位の一部が残存しており、介在層板と呼ばれる。骨の外表面と髄腔面の近くでは、骨層板が骨表面に平行に配列しており、それぞれ外環状層板、内環状層板と呼ばれる。

海綿質には血管を通すハヴァース管がなく、骨層板は骨

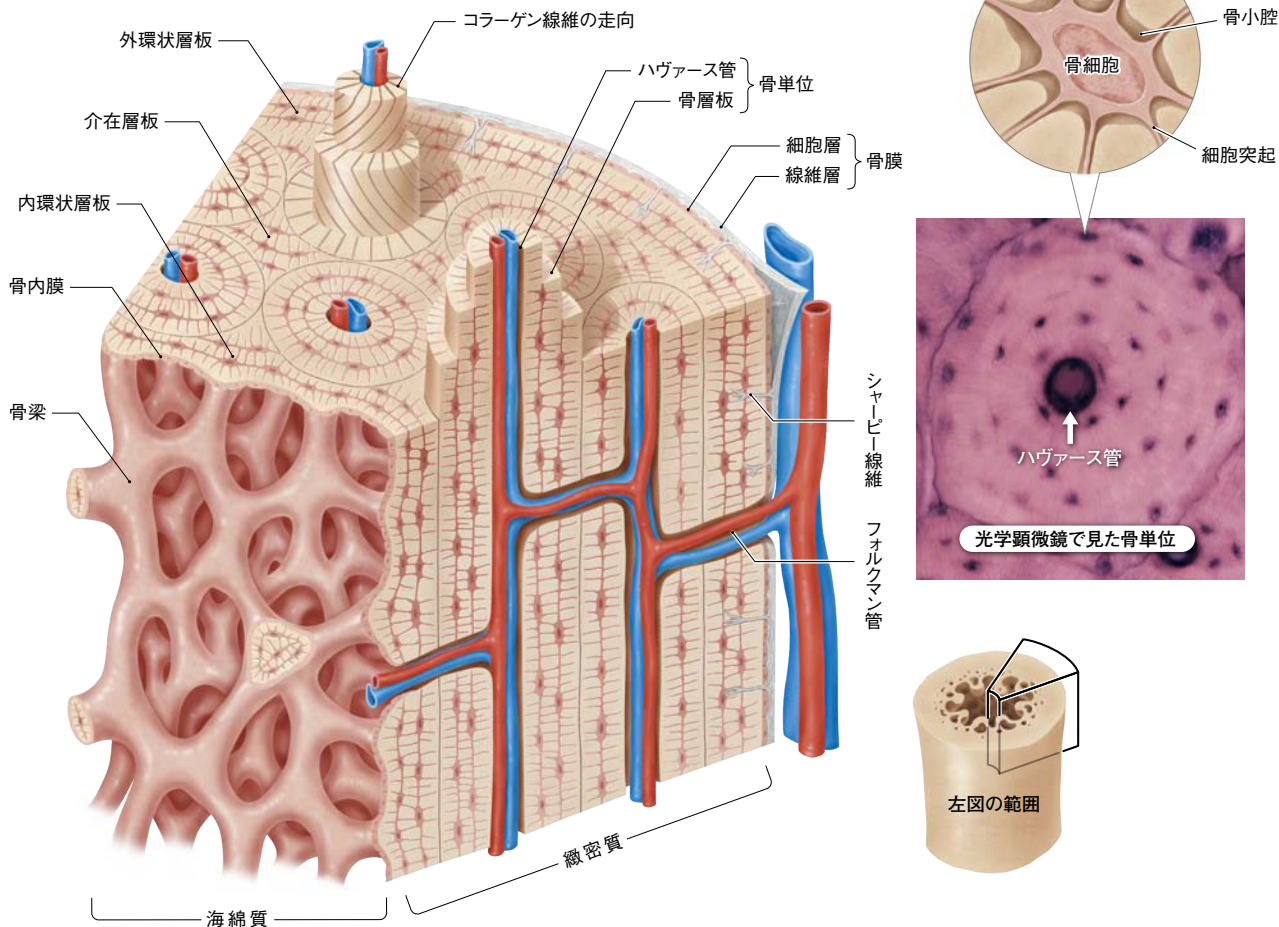
単位を形成しない。骨小腔は、骨細管を通して髄腔につながる。

骨膜と骨内膜

骨膜 periosteum は、骨の外表面を覆う結合組織の層である。骨膜の外層は線維芽細胞とコラーゲン線維からなり、腱・靭帯・関節包などの付着部となり、それらの結合組織と連続する。骨膜の内層は骨芽細胞などを含み、骨の成長と修復を行うので、**骨形成層**と呼ばれる。外層のコラーゲン線維の一部は、内層を貫いて骨基質内へ進入している。これはシャーピー線維 Sharpey's fiber と呼ばれ、腱や靭帯の力を骨内部に伝える働きをする。骨膜には感覚神経終末が分布しており、痛みを感じる。骨折で痛みが激しいのは、骨膜の感覚神経が刺激されるためである。

骨内膜 endosteum は、骨の髄腔面を覆う不連続な細胞の層で、骨芽細胞と破骨細胞を含む。結合組織は乏しい。

7 骨の組織構造



神経筋接合部ではアセチルコリンを用いたシナプス伝達が行われる

神経筋接合部の構造 32 33

骨格筋に分布する神経は運動線維と感覚線維を含んでいる。 α 運動線維は筋内膜で多くの枝に分かれたのち、個々の筋線維との間にシナプスをつくる。これを**神経筋接合部 neuromuscular junction**といい、1本の筋線維に原則として1ヵ所しかない。つまり、個々の筋線維は単一のシナプスから入力を受けている。

神経筋接合部において神経終末は髄鞘を失い、軸索は筋線維の表面で指を広げたような形で終わる。これに接する筋線維の表面は**運動終板 motor endplate**と呼ばれる円盤状の肥厚部をなし、軸索末端の**終末ボタン terminal bouton**に対応したくぼみを持つ。くぼみの底には**接合部ヒダ junctional fold**と呼ばれる深い陥凹があり、筋細胞膜すなわちシナプス後膜の表面積を増大させている。シナプス間

隙は50～60nmで、基底膜が入り込みシナプス前膜と後膜とをつなぎ止めている。

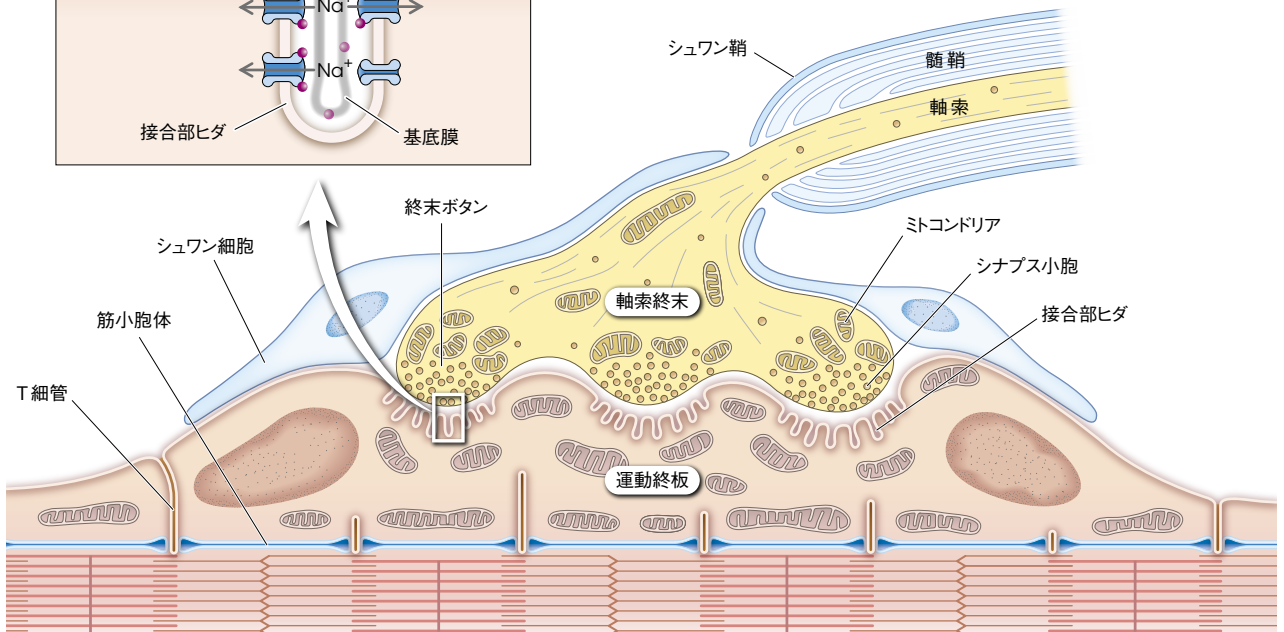
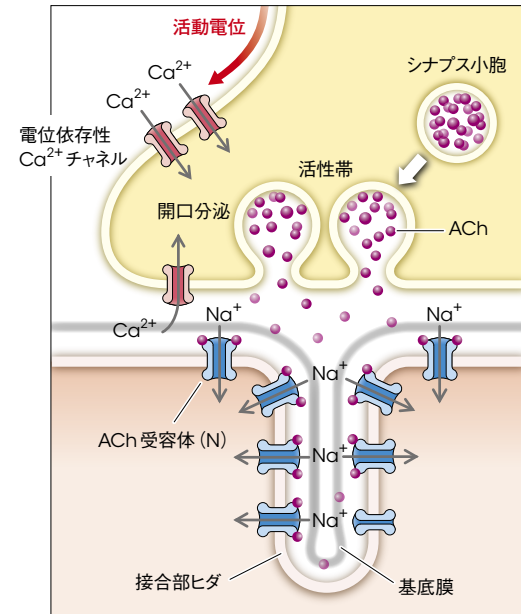
神経から筋への興奮伝達は速やかで確実である

神経筋接合部は、興奮性シナプス伝達の代表例である。終末ボタンの内部にはシナプス小胞 synaptic vesicle が密に存在する。活動電位が軸索終末に達すると、シナプス前膜に存在する電位依存性 Ca^{2+} チャンネルが開いて Ca^{2+} が流入し、シナプス小胞の開口分泌を促す。1個のシナプス小胞には1万分子もの**アセチルコリン acetylcholine ; ACh**が入っている。電子顕微鏡で見ると、シナプス小胞が列をなして集積し、シナプス前膜に融合しているのがわかる。ここを**活性帯 active zone**といい、シナプス後膜の接合部ヒダと向かい合う場所にある。

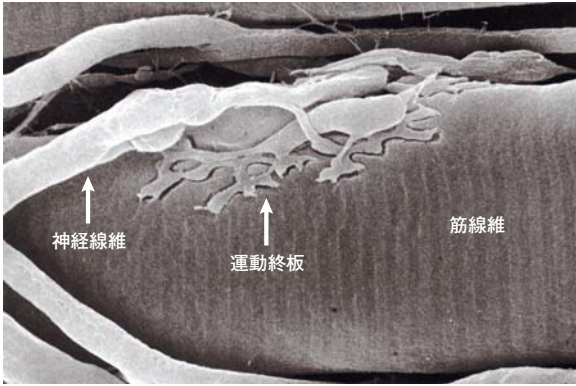
シナプス後膜には**ニコチン型アセチルコリン受容体**が存在し、特に接合部ヒダの部位に密集している。この分子はACh受容体と陽イオンチャンネルが一体となったリガンド依存性イオンチャンネルであり、AChが2分子結合すると直ちにチャンネルが開く〔第Ⅶ巻参照〕。その結果、濃度勾配に従って Na^{+} が細胞内に流入し、脱分極が生じる。この興奮性シナプス後電位を特に**終板電位 endplate potential ; EPP**と呼ぶ。

32 神経筋接合部の構造

活性帯と接合部ヒダが向かい合う位置に存在することが、興奮の伝達を確実なものにしている。



33 神経筋接合部の走査電顕像

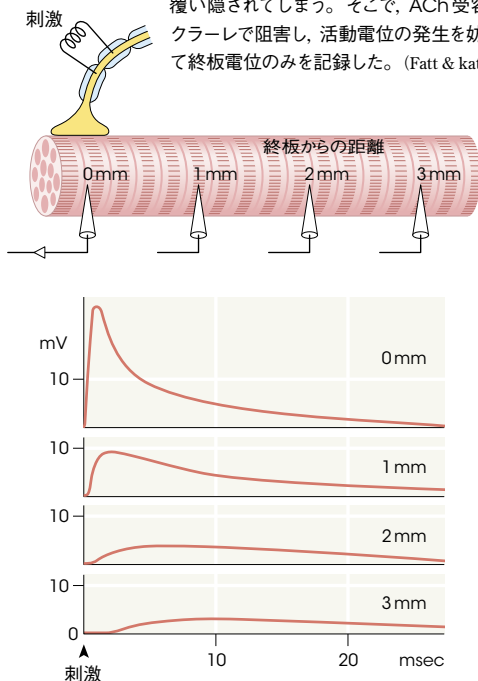


終板電位は、AChの放出と拡散に要する短い潜時(約0.5 msec)ののち急峻に立ち上がり、チャンネルの開口(数msec)が終了したあとは膜容量を充電しつつゆるやかに減衰する³⁴。1回の神経インパルスで発生する終板電位(+50~70mV)は、筋線維の活動電位の閾値(+20~30mV)を大きく上回る。したがって、神経インパルスが到達すれば筋線維は必ず収縮する。

神経筋接合部では、神経刺激がない状態でも少量のAChが自発的に放出され、終板部に小さなEPPが生じている。このEPPを**微小終板電位**と呼ぶ。微小終板電位の振幅は一定の単位で増減しているが、これはシナプス小胞1個に対応すると考えられる。

34 終板電位の空間的減衰

終板電位は通常、筋線維に発生した活動電位によって覆い隠されてしまう。そこで、ACh受容体の大部分をクラーレで阻害し、活動電位の発生を妨げることで終板電位のみを記録した。(Fatt & Katz, 1951)



アセチルコリンとシナプス小胞のリサイクル³⁵

シナプス間隙に放出されたAChは、基底膜やシナプス後膜に存在するアセチルコリンエステラーゼによって速やかに分解される。受容体に結合したAChも約5msec後には分解され、チャンネルが閉じ、膜電位は静止膜電位に戻り、次の刺激に備える。分解によって生じたコリンはシナプス前膜に取り込まれ、軸索終末内でAChに再合成される。

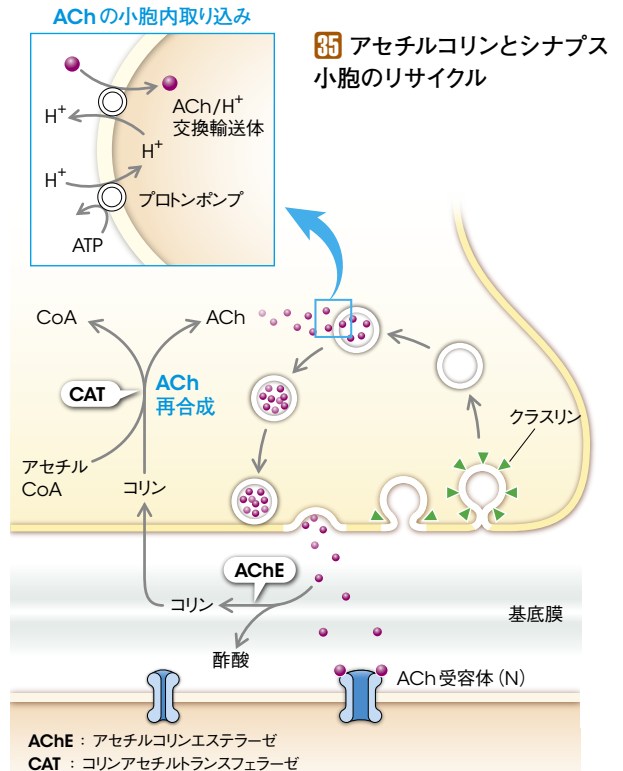
開口分泌後のシナプス小胞はシナプス前膜に融合しているが、クラスリンなどの収縮蛋白の働きで細胞膜から引きちぎられ(エンドサイトーシス)、新しい小胞に作りかえられる。さらに、 H^+ との交換輸送によってAChが新しい小胞内に取り込まれる。このようなりサイクル機構により、限られた数のシナプス小胞を使って持続的な興奮伝達を行うことが可能となっている(軸索輸送によるシナプス小胞の補充は長時間を要する)。

●重症筋無力症 myasthenia gravis

血液中の自己抗体により終板のACh受容体が減少し、筋力低下をきたす疾患。抗コリンエステラーゼ薬を投与すると、放出されたAChが分解されにくくなり、神経筋伝達が回復するので治療に有効である。

●サリン中毒

神経毒ガスのサリンは、不可逆的にコリンエステラーゼを阻害する。AChが分解されないで、骨格筋が痙攣するように収縮したり、脱分極が持続するために筋力低下や呼吸筋麻痺が起こったりする。



肩関節の運動は、多くの筋の協同作用である

上肢帯と上腕骨を結ぶ筋＝上肢帯筋〔三角筋、棘上筋、棘下筋、小円筋、大円筋、肩甲下筋〕

三角筋は上肢帯から広く起こり、肩関節を覆ったのち集束して上腕骨の外側に停止する。起始に応じた区分（鎖骨部、肩峰部、肩甲棘部）は、三角筋の作用と密接に関係する⁶⁶。三角筋は肩関節の強力な外転筋であるが、外転初期（0°～15°）には棘上筋が主力となる。運動時の摩擦を防ぐための滑液包として、三角筋と上腕骨大結節の間に三角筋下包⁽⁴⁸⁾、棘上筋と肩峰の間に肩峰下包が存在し、両者は連続する。棘下筋と小円筋は外転筋である。両者は全長にわたり並行するが、筋膜で区画され、神経支配が異なる。大円筋と肩甲下筋は内転筋である。上腕の筋に分類される烏口腕筋は、肩関節の屈曲と内転に働く。

体幹と上腕骨を結ぶ筋〔大胸筋、広背筋〕：内転の主力筋であり、また三角筋とともに屈伸運動に働く。

上肢帯と前腕骨を結ぶ筋〔上腕二頭筋、上腕三頭筋長頭〕：主として肘関節に作用するが、肩関節に対しても補助的な作用がある〔p.46参照〕。

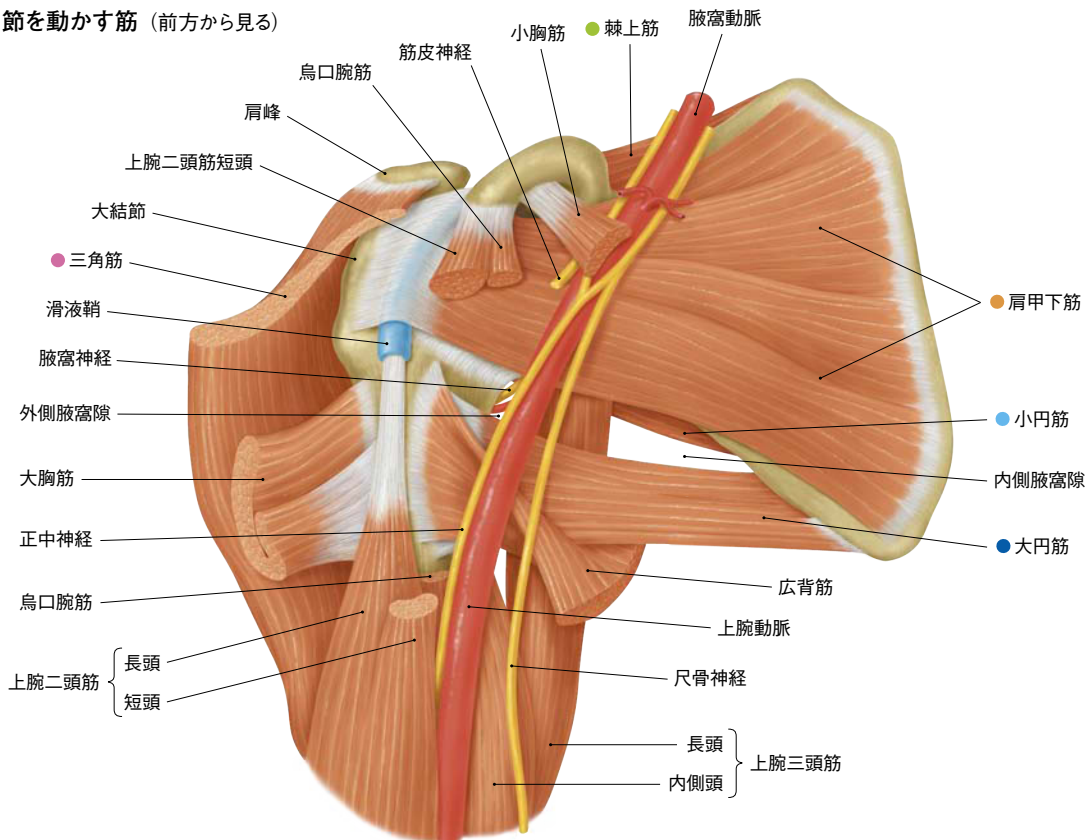
●ローテーター・カフ（回旋筋腱板⁴⁹）

回旋筋群rotator（肩甲下筋、棘上筋、棘下筋、小円筋）の停止腱は、肩関節の前方・上方・後方を覆うように逆U字状に並び、その配置がシャツの袖口（cuff）に似ることからrotator cuffと呼ばれる。関節包を補強するとともに、上腕骨頭を関節窩に引き寄せて保持する働きがある。肩関節は浅い関節窩、緩い関節包、貧弱な靭帯など構造的に弱いため、rotator cuffを構成する筋群が関節の安定に重要な役割を担っている。

えきか げき 腋窩と腋窩隙

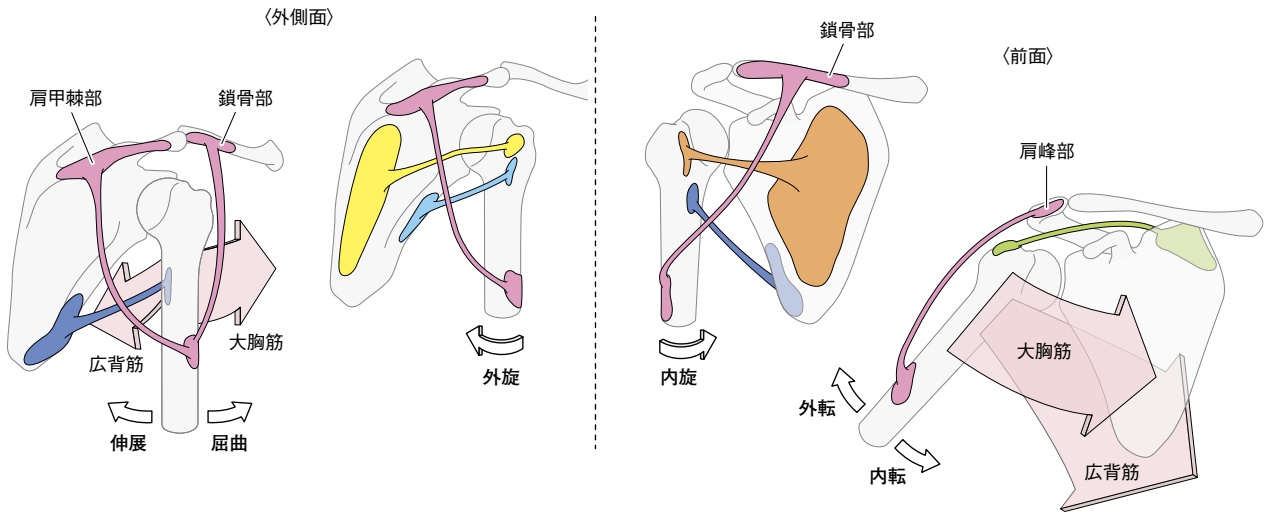
腋窩とは「わきの下」の深部に位置するピラミッド形の空間で、前は大胸筋・小胸筋、後ろは肩甲下筋・大円筋・広背筋、内側は前鋸筋、外側は上腕骨、下は腋窩筋膜によって境される。腋窩動静脈、腕神経叢、腋窩リンパ節など、体幹と上肢を連絡する構造が存在する。腋窩の後壁には上肢帯の後部に向かう血管や神経の通路が2つ存在する。これは小円筋と大円筋の間隙が上腕三頭筋長頭によって内外に区画されたもので、**内側腋窩隙**、**外側腋窩隙**と呼ぶ。前者は肩甲回旋動静脈を、後者は腋窩神経と後上腕回旋動静脈を通す。腋窩の前壁にも大胸筋、三角筋、鎖骨に囲まれて血管の通路が存在し、**鎖骨下窩**または**三角筋胸筋溝**と呼ばれる⁽⁶⁵⁾。橈側皮静脈がここを通る。

67 肩関節を動かす筋（前方から見る）

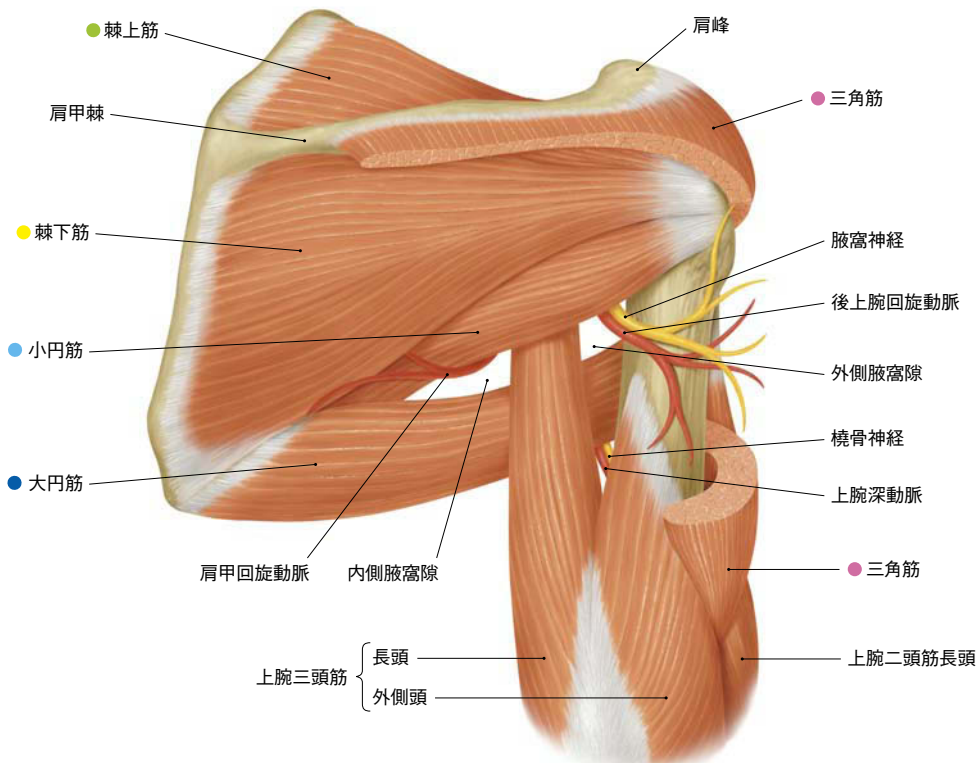


66 上肢帯筋

筋名	起 始	停 止	神経支配	肩関節： 屈曲 伸展 外転 内転 外旋 内旋
● 三角筋 deltoid	鎖骨外側部, 肩甲骨肩峰・肩甲棘	上腕骨三角筋粗面	腋窩神経	鎖骨部 ○ 肩峰部 ○ 肩甲棘部 ○
● 棘上筋 supraspinatus	肩甲骨棘上窩	上腕骨大結節	肩甲上神経	○
● 棘下筋 infraspinatus	肩甲骨棘下窩	上腕骨大結節	肩甲上神経	○
● 小円筋 teres minor	肩甲骨外側縁	上腕骨大結節	腋窩神経	○
● 大円筋 teres major	肩甲骨外側縁・下角	上腕骨小結節稜	肩甲下神経	○ ○
● 肩甲下筋 subscapularis	肩甲骨肩甲下窩	上腕骨小結節	肩甲下神経	○



68 肩関節を動かす筋 (後方から見る)



膝関節は最も酷使される関節であり、半月板が存在する

脛骨 tibia 91

下腿の母趾側に位置し、体重を支持する太い骨。

近位端は内外および後方に突出して**内側顆**と**外側顆**を作る。上面には**顆間隆起**によって隔てられた2つの上関節面があり、大腿骨の内側顆および外側顆に対向する。外側顆の後外側部は腓骨頭と関節する。外側顆の側面に腸脛靭帯が、内側顆の側面に半膜様筋が停止する。

脛骨体は三角柱状で、前縁と内側面は筋に覆われないため皮下によく触れる。前縁上端は大きく隆起して**脛骨粗面**となり、大腿四頭筋(膝蓋靭帯)が停止する。後面の**ヒラメ筋線**からはヒラメ筋が起る。

遠位端の外側部は緩やかに陥凹して腓骨と接し(**腓骨切痕**)、内側部は下方に突出して**内果 medial malleolus**(内くるぶし)となる。遠位端下面の**下関節面**とそれに続く**内果関節面**は、腓骨の外果関節面とともに深い関節窩を構成し、距骨滑車を入れる。

腓骨 fibula 91

腓骨は膝関節に加わず、体重の支持に直接関わらない。そのため脛骨に比べて極端に細い。腓骨と脛骨は、靭帯や骨間膜によって互いに固く連結される。

腓骨頭は脛骨の外側顆と小さな平面関節(脛腓関節)を作るが、前後の腓骨頭靭帯によって可動性は著しく制限される。腓骨頭の外側面には大腿二頭筋と外側側副靭帯が付着する。腓骨頭の外側面では、後ろから前に向かって走る総腓骨神経を体表から容易に触知できる。

腓骨と脛骨の骨間縁は**下腿骨間膜**で連結される。骨間膜の上下両端には孔があり血管を通す。

腓骨の遠位端は脛骨の腓骨切痕にはまり、骨間靭帯と前後の脛腓靭帯によって固定される(脛腓靭帯結合)。**外果 lateral malleolus**(外くるぶし)は内果よりも下方に突出し、その結果として**外果関節面**は内果関節面よりも広くなる。

膝関節 knee joint 92 93

大腿骨と脛骨の間にできる顆状関節。大腿骨の外側顆・内側顆の関節面が前後左右に弓状の凸面を呈するのに対し、脛骨の上関節面はほぼ平坦であり、対向する関節面の形状が大きく異なる。両者の間隙を関節半月が埋め、また膝蓋骨や種々の靭帯が関節を補強する。これらの補助装置が可動方向を制限するため、機能的には蝶番関節に似る。

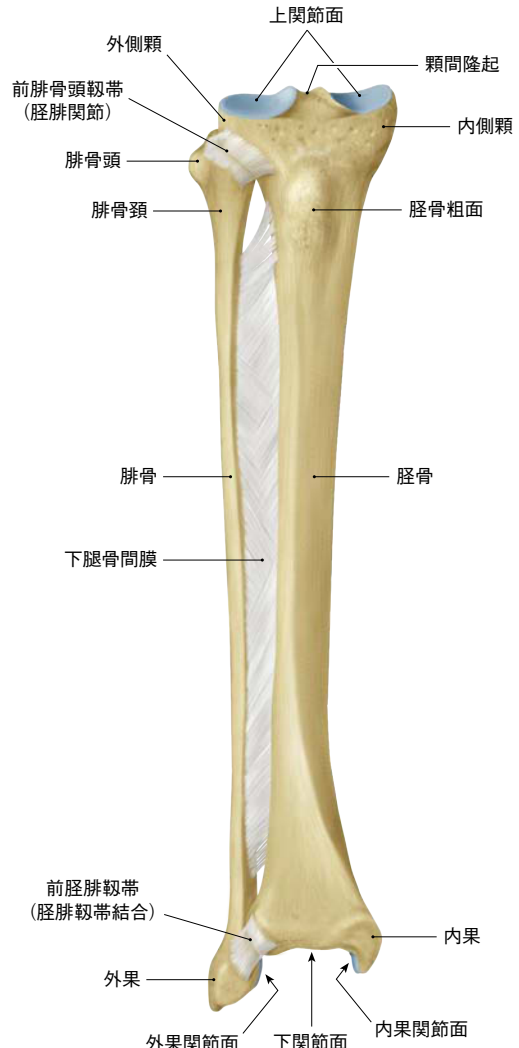
1) **内側および外側側副靭帯 tibial and fibular collateral ligament**：関節包の側面を補強し、内外への脱臼を防ぐ。

内側側副靭帯は幅広く、大腿骨の内側上顆と脛骨上端部を結ぶ。外側側副靭帯は索状で、大腿骨の外側上顆と腓骨頭を結ぶ。外側側副靭帯の下部は関節包から遊離しており、両者の間を膝窩筋腱が通る。側副靭帯は伸展位で強く緊張するが、屈曲位では若干ゆるみ膝関節の回旋を許す。

2) **内側および外側半月 medial and lateral meniscus**：関節腔に突出して両骨の間に介在する線維軟骨の小板である。断面はくさび形で外縁部が厚い。関節の接触面を広げて荷重を分散し潤滑を増強する。半月の両端は脛骨に固定され、外周縁は関節包に付着する。関節包と側副靭帯の関係により、内側半月は関節包を介して側副靭帯に固定されるが、外側半月は側副靭帯から分離して可動性を持つ。

3) **前および後十字靭帯 anterior and posterior cruciate ligament**：関節包内に位置し、関節の前後方向の滑動を制

91 右下腿の骨(前面)



限する。前十字靭帯は脛骨の顆間隆起の前（前顆間区）と大腿骨の外側顆内側面を、後十字靭帯は顆間隆起の後ろ（後顆間区）と内側顆外側面を結ぶ。大腿骨を固定した状態で、前十字靭帯は脛骨の前方変位を、後十字靭帯は後方変位を防ぐ。両者は屈伸状態に関わらず常に緊張するが、斜めに交叉して配置されているために屈伸運動を妨げない。

4) 膝蓋靭帯 patellar ligament と膝蓋骨 patella：大腿四頭筋の停止腱と種子骨であり、同時に膝関節の前面を補強する。膝蓋骨は大腿骨と関節し、伸展運動において大腿四頭筋を効率的に作用させる。

膝関節の運動

屈曲と伸展：下腿を大腿に近づけ、あるいは遠ざける。屈筋群が坐骨から起こるため、屈曲の可動域は股関節の状態によって変化する(120～140°)。

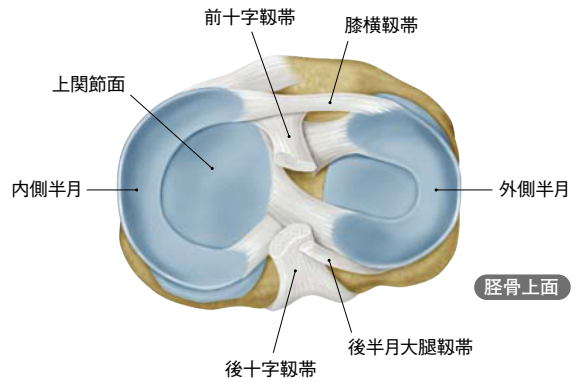
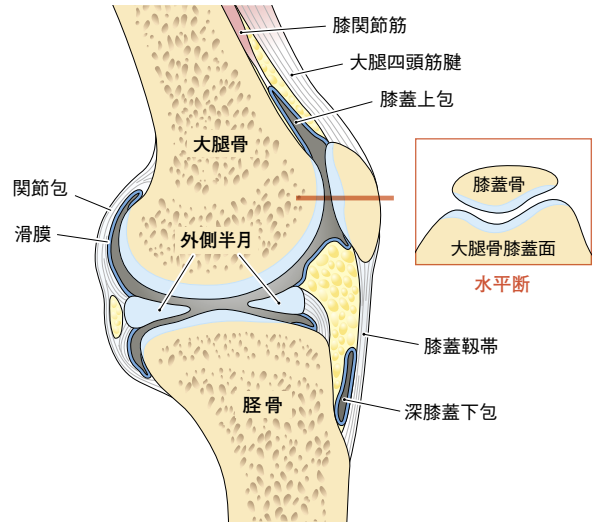
軽度の回旋：屈伸運動に連動して起こる。関節の形状が内外で若干異なるため、屈伸時の大腿骨の前後移動が外側で大きくなることによる。伸展に伴って大腿骨は脛骨上を内旋する。この内旋によって靭帯に緊張が生じ、最大伸展位で膝関節は固定される。屈曲の開始時には、膝窩筋が大腿骨を逆に回旋(外旋)して、この固定を解除する。

膝関節に作用する筋

屈曲	大腿二頭筋, 半膜様筋, 半腱様筋
伸展	大腿四頭筋

93 膝関節 (矢状断)

膝蓋骨より上方では滑膜が膝蓋上包として大腿四頭筋の深層に伸び出す。下方では膝蓋下滑膜ヒダが関節腔に突出して大腿骨の顆間窩に付着する。



92 膝関節の靭帯と関節半月

(関節包は取り除いてある)

