

坐骨神経は人体最大の神経で、その枝は足底にまで及ぶ

坐骨神経 sciatic nerve (L4～S3) は**総腓骨神経**と**脛骨神経**の2つの成分からなるが、大腿上部では両神経は共通の被膜に包まれ、1本の神経のように見える。すなわち、後大腿皮神経とともに梨状筋下孔を出て、坐骨結節と大転子の間を通り、大殿筋および大腿二頭筋長頭の深側、大内転筋の浅側を垂直に下り、大腿屈筋群に枝を与えたのち、膝窩の上方で総腓骨神経と脛骨神経に分かれる。この両神経は、小骨盤を出る前にすでに分岐していることがある（高位分岐）。

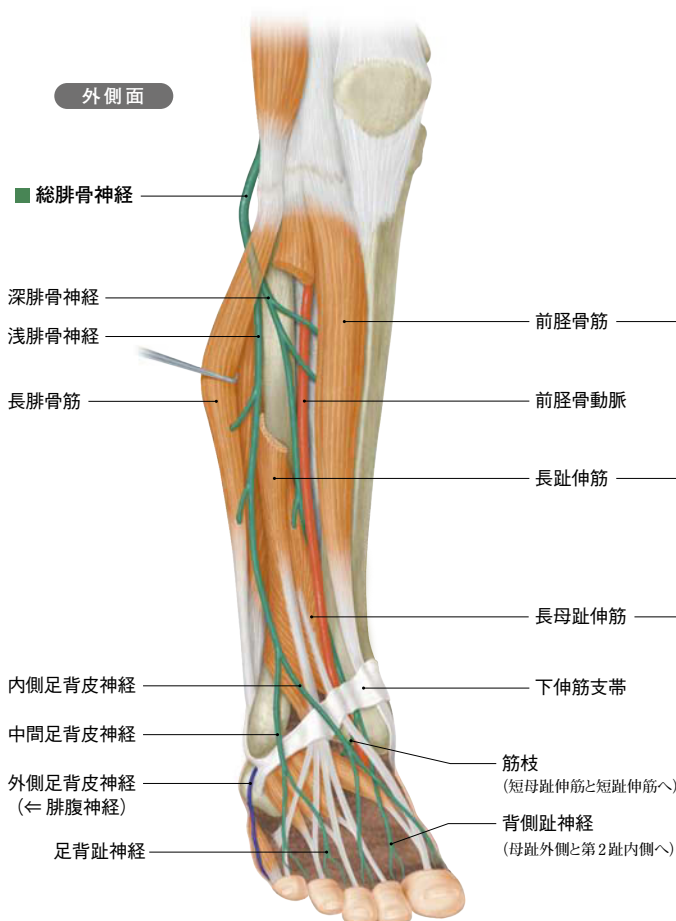
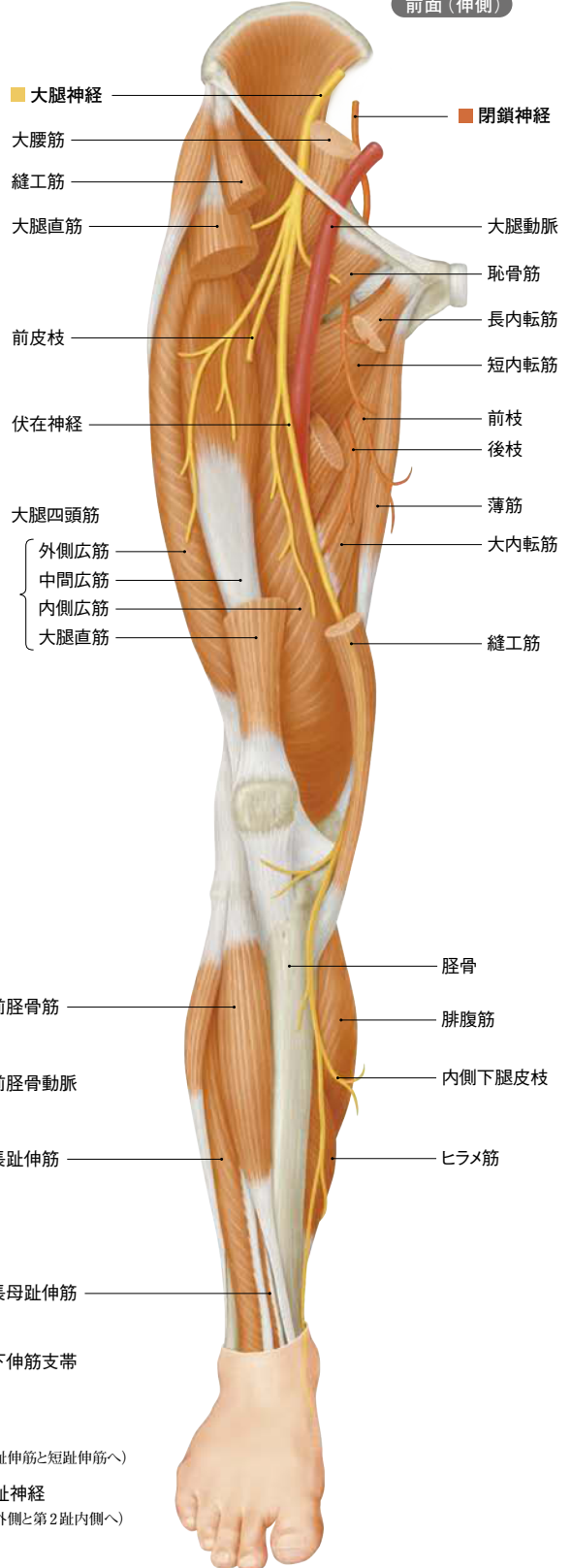
総腓骨神経 common fibular nerve (L4～S2)

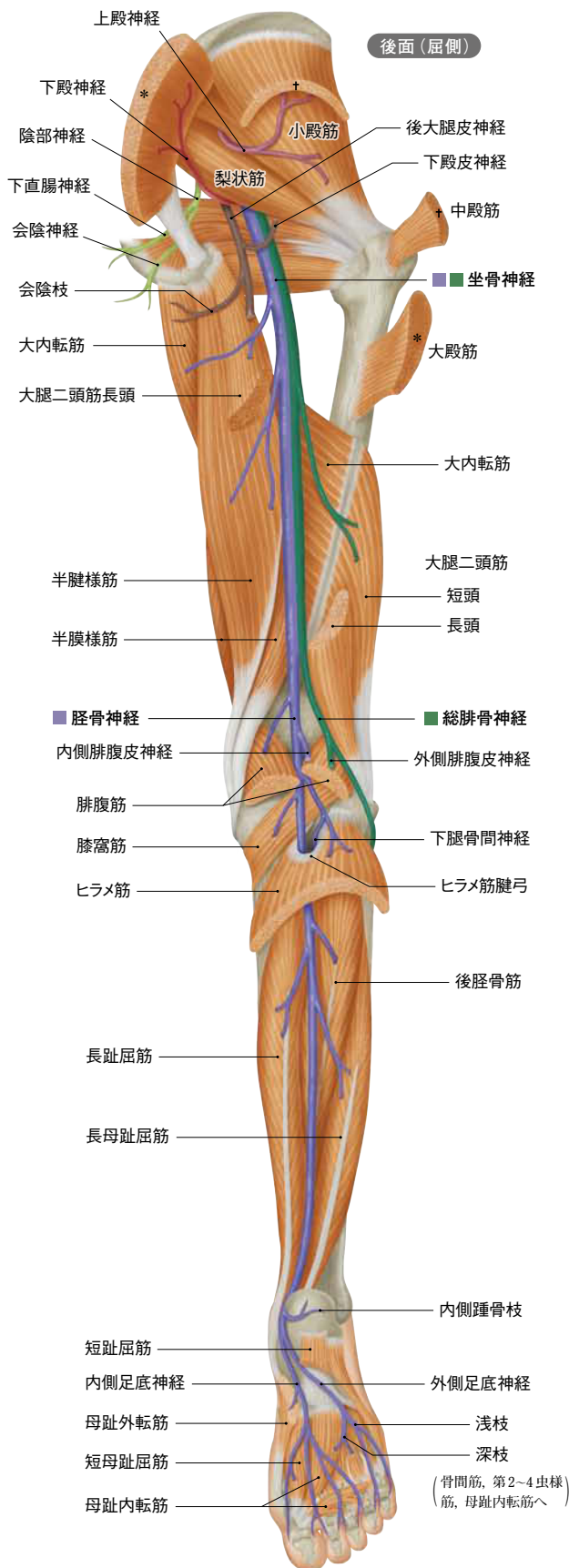
大腿二頭筋長頭の内側縁に沿って外下方へ向かい、その間に大腿二頭筋短頭を支配する。膝窩の外側で**外側腓腹皮神経** lateral sural cutaneous nerveを出したのち、腓骨頭をまわり長腓骨筋を貫いて下腿前面に出て、浅腓骨神経と深腓骨神経に分かれる。

1) 浅腓骨神経 superficial fibular nerve

長腓骨筋の起始部を貫き、これと短腓骨筋との間を下り、両筋に筋枝を送る。下腿の遠位部で皮下に現れ、**内側**

20 下肢の神経





足背皮神経 medial dorsal cutaneous nerve と **中間足背皮神経** intermediate dorsal cutaneous nerve に分かれて足背の皮膚に分布する。前者は母趾の内側縁および第2, 3趾の対向縁に至り、後者は第3, 4, 5趾の対向縁に至る。

2) 深腓骨神経 deep fibular nerve

長腓骨筋および長趾伸筋の起始部を貫いて深部へ向かい、前脛骨動脈とともに長趾伸筋と前脛骨筋の間を下り、下腿の伸筋（前脛骨筋、長趾伸筋、長母趾伸筋）に枝を送る。足背動脈とともに足背に出て、足背の筋（短母趾伸筋、短趾伸筋）に枝を送ったのち、**背側趾神経** dorsal digital nerve となって母趾と第2趾の対向縁に至る。

脛骨神経 tibial nerve (L4～S3)

総腓骨神経の約2倍の太さを持ち、大腿の屈筋のほとんど（大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋）と、下腿後側のすべての筋（腓腹筋、ヒラメ筋、足底筋、膝窩筋、後脛骨筋、長趾屈筋、長母趾屈筋）を支配する。

脛骨神経は膝窩動静脈とともに膝窩の中央を下り、腓腹筋の内側頭と外側頭の間を通る。その間に**内側腓腹皮神経** medial sural cutaneous nerve を出す。下腿ではヒラメ筋腱弓を通してヒラメ筋の深側に入り、後脛骨動脈とともに長母趾屈筋と長趾屈筋の間を下行する。両筋の腱とともに内果の後ろをまわって足底に至り、**内側および外側足底神経** に分かれる。

1) 腓腹神経 sural nerve (19)

脛骨神経の皮枝である内側腓腹皮神経は、総腓骨神経の外側腓腹皮神経からの交通枝と合して腓腹神経となり、下腿後面の遠位部に分布する。腓腹神経は外果の後ろで**外側足背皮神経** lateral dorsal cutaneous nerve となり、第5趾の背外側に至る。また、2～3本の**外側踵骨枝**が出て外果付近の皮膚に分布する。

2) 内側足底神経 medial plantar nerve

内側足底動脈とともに、母趾外転筋に覆われながら短母趾屈筋と短趾屈筋の間を走り、これらの筋および第1(2)虫様筋を支配する。また、足底の内側部および内側3½趾（趾の足底面、爪床、趾尖を含む）に分布する。

3) 外側足底神経 lateral plantar nerve

外側足底動脈とともに、短趾屈筋と足底方形筋の間を走って外側へ向かい2枝に分かれる。**浅枝**は足の外側縁に沿って進み、足底の外側部および外側1½趾に分布する。**深枝**は足底動脈弓に沿って内側深部に向かい、内側足底神経に支配されないすべての足底筋を支配する。

自律神経は内臓・血管・腺を支配する

自律神経系 autonomic nervous system は、内臓および血管平滑筋・心筋・腺を支配し、体温調節・循環・呼吸・消化・分泌などの基本的な生命維持機能を調節している。その作用は無意識的・反射的であり、体性神経系の場合と異なり随意的な制御を受けない。

末梢の自律神経は2個のニューロンからなる

自律神経には**交感神経** sympathetic nerve と**副交感神経** parasympathetic nerve があり、互いに拮抗的に作用する。交感神経は身体の活動に働き、副交感神経は身体の安静に働く。

自律神経の特徴は、脳や脊髄から出た神経線維がそのまま標的器官に達するのではなく、必ず途中でシナプスを経由することである。脳や脊髄から起こる神経線維を**節前線維** preganglionic fiber といい、**自律神経節** autonomic ganglion でニューロンを代えて**節後線維** postganglionic fiber となり標的器官に分布する。節前線維は有髄であるが、節後線維は無髄か、きわめて薄い髄鞘を有するのみである。

また、自律神経線維は末梢に至る途中で分岐と合流を繰り返し、主として血管周囲に**自律神経叢** autonomic plexus をつくる。自律神経叢の多くは交感神経と副交感神経が混在してできている。

交感神経は胸髄および上位腰髄から起こる

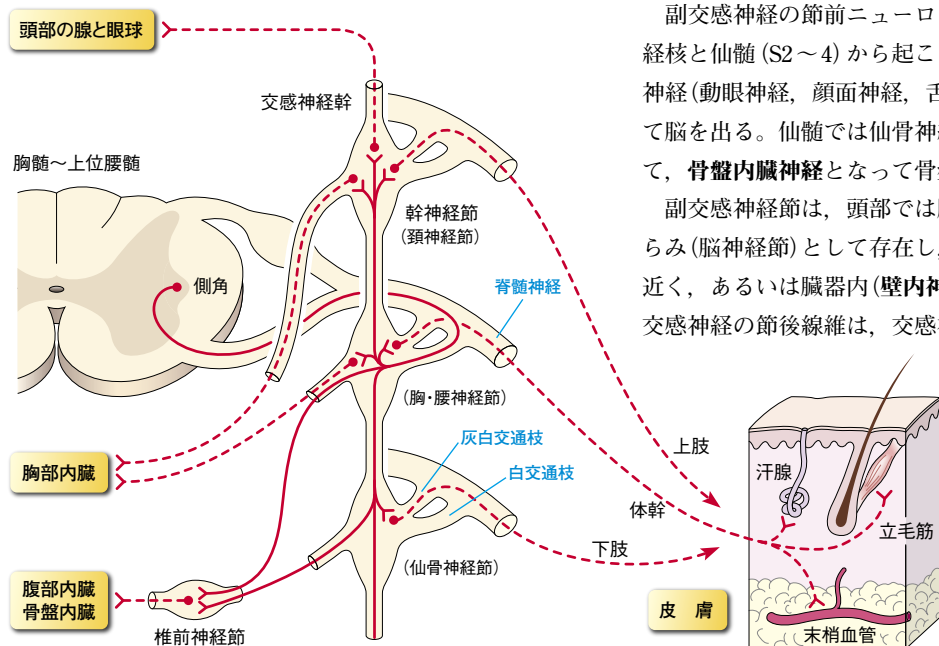
交感神経の節前ニューロンの細胞体は、胸髄および上位腰髄の側角に存在する。節前線維は前根を通り、いったん脊髄神経に入るが、脊柱管を出たところで脊髄神経と分かれ、**白交通枝** (有髄線維からなり白色に見える) となって**交感神経幹** sympathetic trunk に入る。その後の経路は、行き先によって異なる²¹⁾。

①頭頸部および胸部の内臓に向かう交感神経は、交感神経幹にある**幹神経節** (交感神経節、あるいは脊柱の両側にあることから**椎傍神経節**とも呼ぶ) でニューロンを代える。節後線維は血管に沿って神経叢をつくり、標的器官に分布する。

②腹部および骨盤部の内臓に向かう交感神経は、幹神経節でシナプスをつくらずに通り過ぎ、末梢の自律神経叢 (たとえば腹腔神経叢) に至り、その中にある神経節 (たとえば腹腔神経節、上・下腸間膜動脈神経節) でニューロンを代える。これらの神経節は脊柱の前にあり、**椎前神経節**と呼ぶ。節後線維は、動脈の分枝に伴って内臓に至る。

③体幹および体肢に向かう交感神経は、幹神経節でニューロンを代える。節後線維は**灰白交通枝** (大部分が無髄線維からなり灰白色に見える) となって再び脊髄神経に合流し、その脊髄神経の支配領域に至り、皮膚の血管・汗腺・立毛筋に分布する。

21 交感神経の構成 (実線: 節前線維, 破線: 節後線維)



副交感神経は脳幹および仙髄から起こる

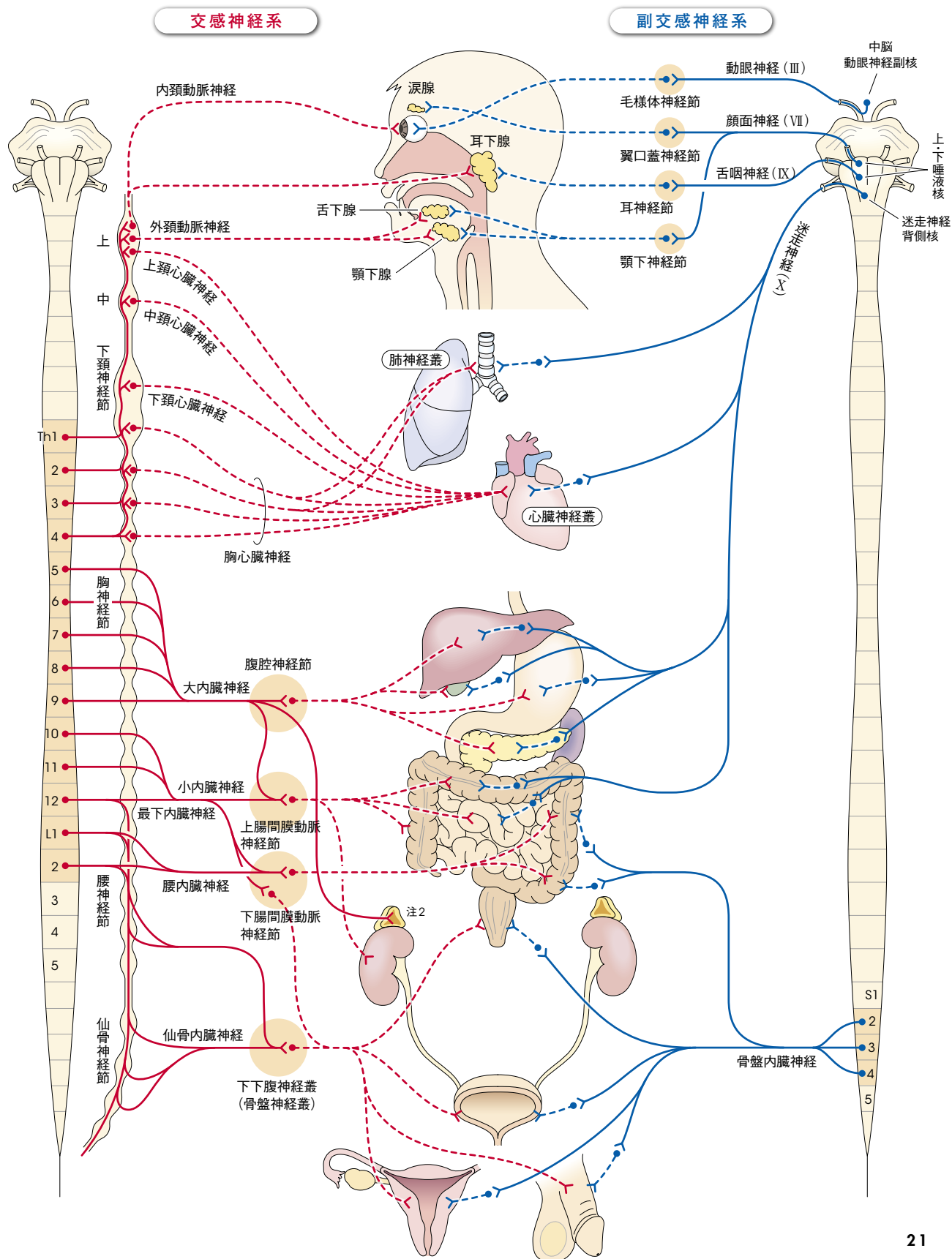
副交感神経の節前ニューロンは、中脳・延髄の副交感神経核と仙髄 (S2~4) から起こる。節前線維は、脳幹では脳神経 (動眼神経、顔面神経、舌咽神経、迷走神経) に混在して脳を出る。仙髄では仙骨神経の前枝に混在して脊髄を出て、**骨盤内臓神経** となって骨盤内臓に分布する。

副交感神経節は、頭部では脳神経の走行中に小さなふくらみ (脳神経節) として存在し、胸腹部では標的器官のすぐ近く、あるいは臓器内 (**壁内神経節**) にある。したがって副交感神経の節後線維は、交感神経の節後線維より短い。

22 自律神経系の遠心路 (実線: 節前線維, 破線: 節後線維)

注1: 脊髄神経に混在して皮膚の血管・汗腺・立毛筋に分布する交感神経は省略してある(左ページの図を参照)。

注2: 副腎髄質は例外的に交感神経節前線維が直接支配し、節後線維を持たない。



三叉神経第3枝は咀嚼筋を支配する

第3枝：下顎神経 mandibular nerve (V₃)

卵円孔を通して側頭下窩に現れ、次の枝を出す。

- 1) 硬膜枝：脳硬膜および乳突蜂巣に分布する。
- 2) 咀嚼筋への枝：咬筋神経 masseteric nerve、外側および内側翼突筋神経 nerve to lateral and medial pterygoid はそれぞれ同名筋を支配し、深側頭神経 deep temporal nerve は側頭筋を支配する。

3) 頬神経 buccal nerve：外側翼突筋の上頭と下頭の間を通り、頬筋を貫いて頬粘膜に分布する（頬筋の運動は顔面神経支配）。

4) 耳介側頭神経 auriculotemporal nerve：後方へ走り、顎関節の後ろで上方へ曲がり、耳介および側頭部の皮膚に分布する。途中、耳下腺、外耳道、鼓膜に枝を送る。また、耳神経節を経由してくる副交感神経線維を受け、耳下腺の分泌にも関わる。

5) 舌神経 lingual nerve：内側翼突筋と外側翼突筋の間を下行し、舌に分布する。途中、顔面神経の枝である鼓索神経 chorda tympani が合流し、これから味覚線維と顎下腺および舌下腺の分泌に関わる副交感神経線維を受ける。舌

の前2/3の体性感覚と味覚を司る。

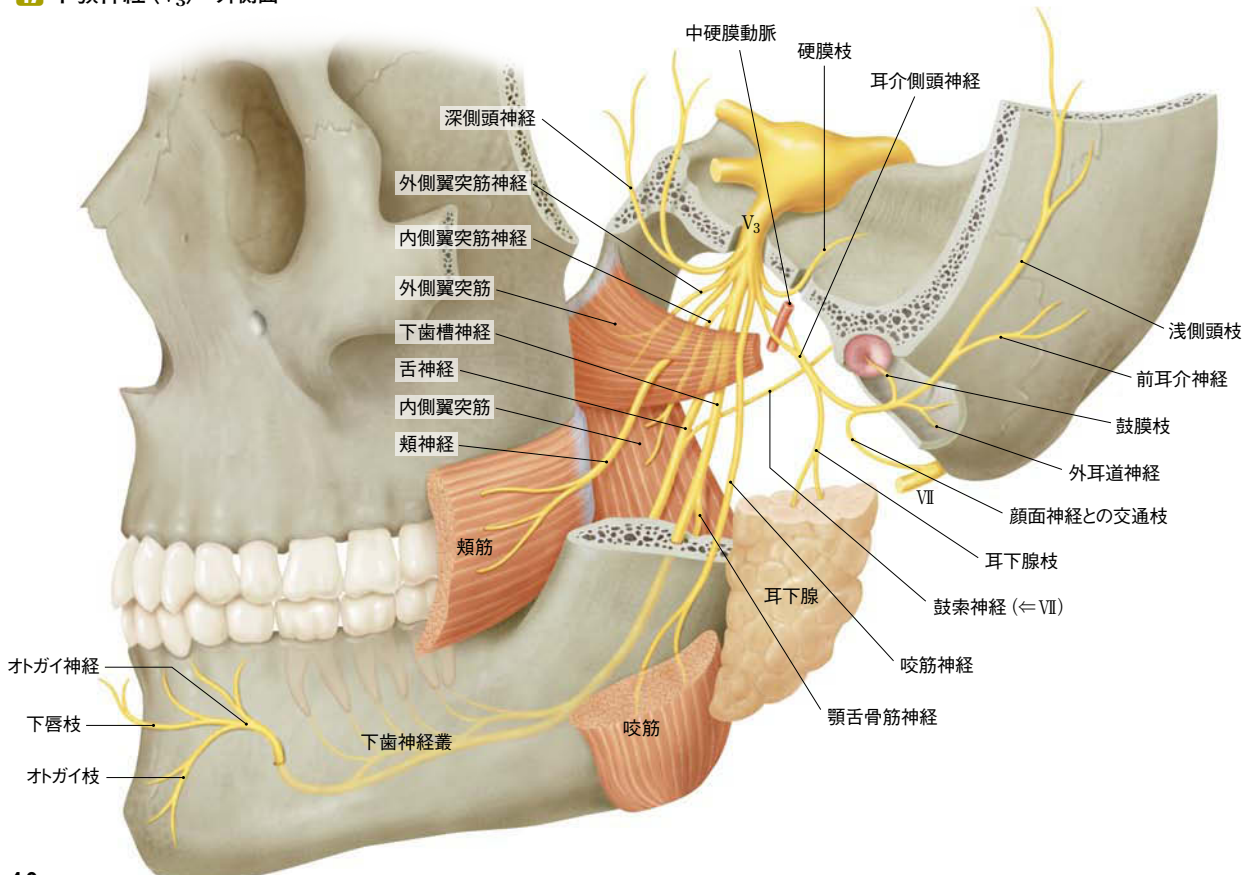
6) 下歯槽神経 inferior alveolar nerve：下顎孔から下顎管に入り、下歯槽神経叢をつくり、歯と歯肉に枝を送る。終枝はオトガイ孔を通して下顎前面に出てオトガイ神経 mental nerve となり、オトガイと下唇に分布する。下歯槽神経が下顎管に入る直前で顎舌骨筋神経 nerve to mylohyoid が分かれ、顎舌骨筋および顎二腹筋前腹を支配する。

耳神経節 otic ganglion

卵円孔の直下で下顎神経の内側に接して存在する副交感神経節。副交感神経線維は下唾液核から起こり、舌咽神経、鼓室神経、小錐体神経 lesser petrosal nerve を経て耳神経節に入り、節後線維に接続する。下顎神経からの運動線維や、中硬膜動脈を取り巻く交感神経叢からの節後線維もこの神経節を通過する。

自律神経節後線維は交通枝を介して耳介側頭神経に送られ、耳下腺に分布する。運動線維は鼓膜張筋神経 nerve to tensor tympani、口蓋帆張筋神経 nerve to tensor veli palatini となって神経節を出て、それぞれ同名の筋を支配する。

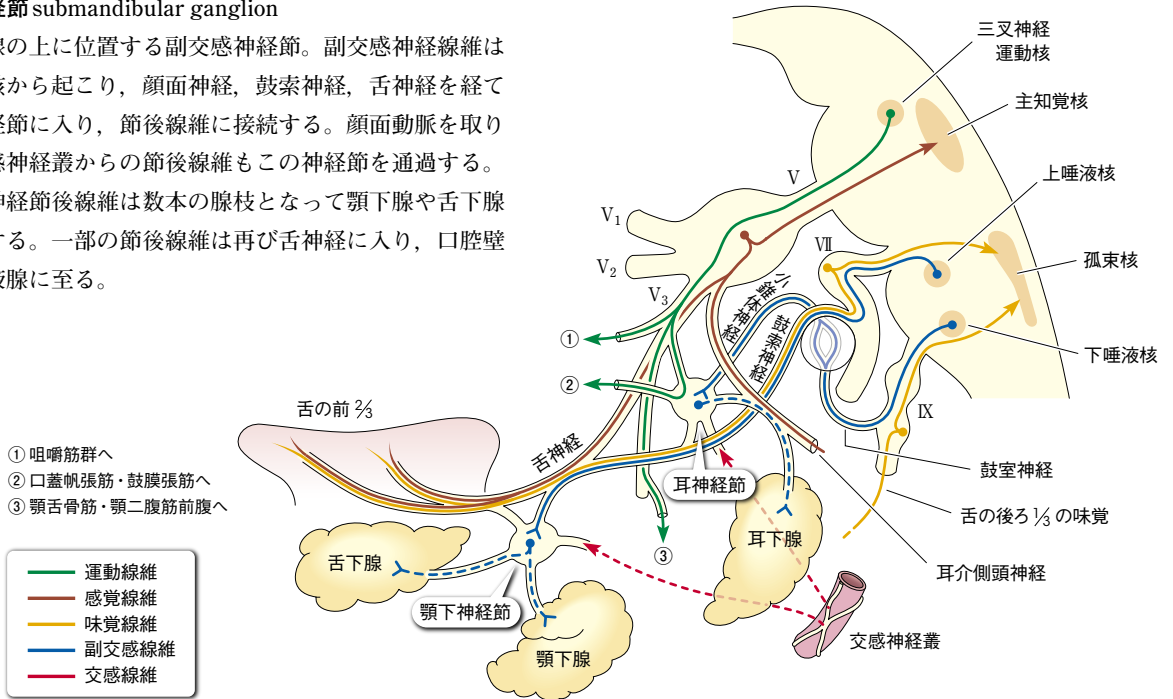
47 下顎神経 (V₃) 外側面



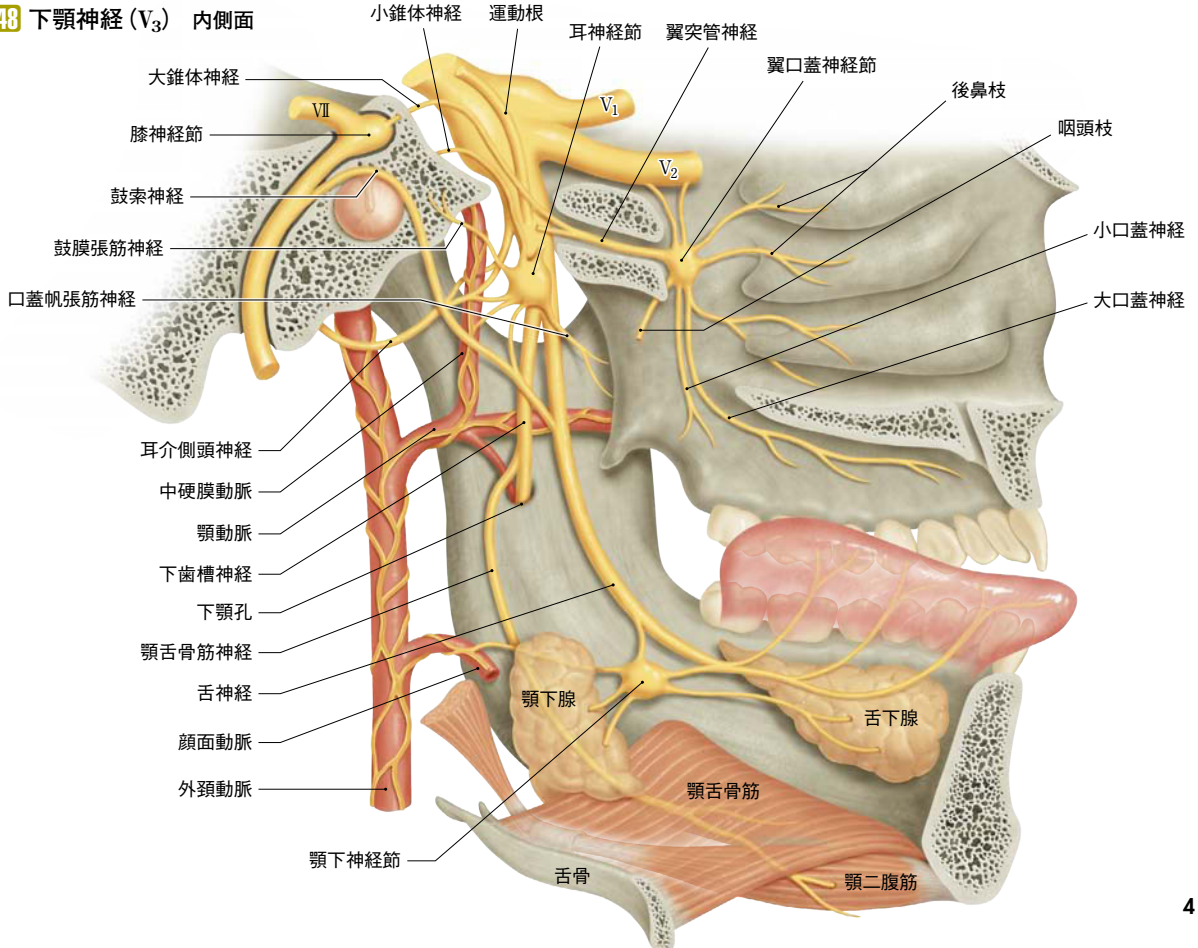
顎下神経節 submandibular ganglion

顎下腺の上に位置する副交感神経節。副交感神経線維は上唾液核から起こり、顔面神経、鼓索神経、舌神経を経て顎下神経節に入り、節後線維に接続する。顔面動脈を取り巻く交感神経叢からの節後線維もこの神経節を通過する。

自律神経節後線維は数本の腺枝となって顎下腺や舌下腺に分布する。一部の節後線維は再び舌神経に入り、口腔壁の小唾液腺に至る。



48 下顎神経 (V₃) 内側面



視細胞の外節において、光は電気信号に変換される

視細胞の外節は多数の膜が積み重なっている **72**

視細胞は外節と内節に分かれ、その間は細い線毛でつながっている。外節は多数の膜が積み重なった構造であり、その膜に光をとらえる**視物質**が大量に組み込まれている。錐体の外節は細胞膜が何度も陥入したような構造であるが、杆体では陥入した膜が閉じ、コイン状の袋(円板)となって数百個積み重なっている。光は膜を横切って進むので、多くの膜が重なっているほど視物質と衝突し吸収される可能性が高くなる。杆体の外節では、最も感受性の高い緑色の光の場合、入射光の約90%が吸収される。

杆体の円板は外節基部で細胞膜が陥入して追加される。それらは徐々に外節頂部へ移動し、約10日で外節先端に達すると、網膜色素上皮細胞に貪食される。

膜上で視物質の光化学反応が起こる **73**

視物質はG蛋白質共役型受容体に属する分子量約4万の分子で、膜を7回貫通し、**レチナールretinal** (ビタミンAのアルデヒド型)を包み込んでいる。杆体の視物質は赤いバラの色をしているので**ロドプシンrhodopsin**と呼ばれる。

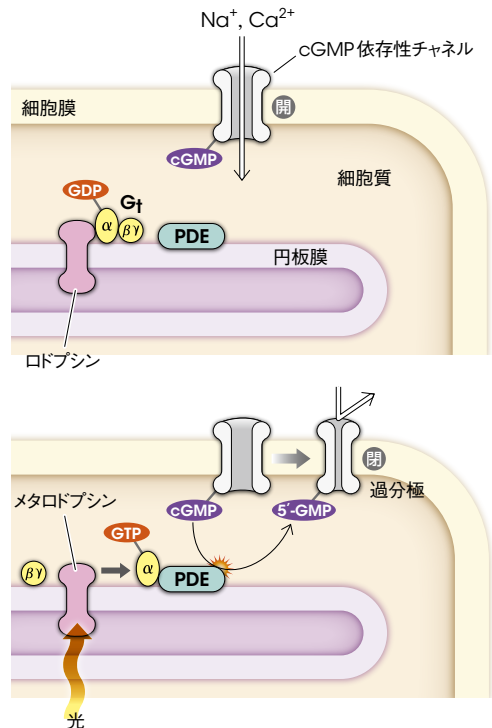
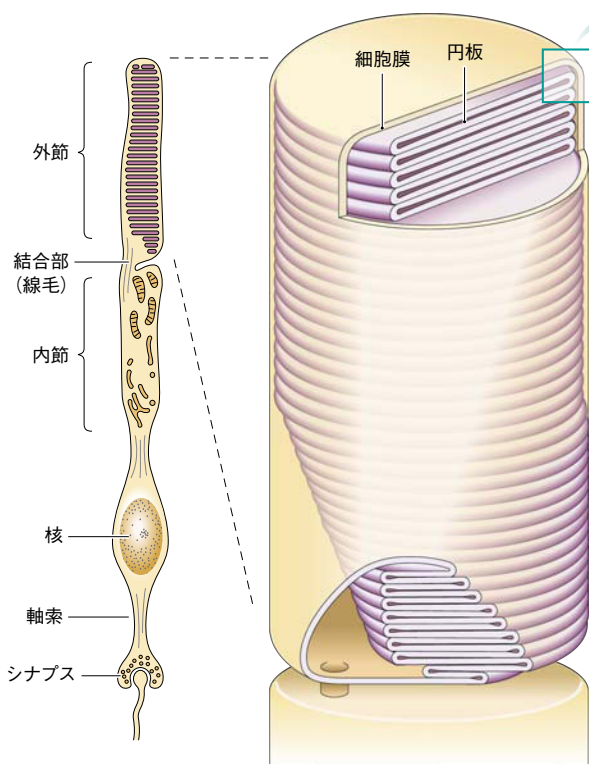
視物質に含まれるレチナールは11-シス型であり、光エ

ネルギーを吸収すると立体異性化を起こして全トランス型となる。レチナールが異性化すると、蛋白部分にも構造変化が起こり、活性型ロドプシンともいえる**メタロドプシン**に変化する。つまり、通常受容体とは異なり、リガンド(レチナール)はすでに受容体(ロドプシン)に結合しているが活性化しておらず、光がレチナールを異性化することで受容体が活性化する。メタロドプシンは短時間でリン酸化されて不活性型となり、さらに構造変化をきたして、結合していたレチナールを放出して**オプシンopsin**となり色を失い、光に対する反応性も消失する(褪色)。

オプシンは再び11-シス型レチナールと結合すると元のロドプシンに戻り光感受性を回復するが、このための11-シス型レチナールは杆体には備蓄されておらず、色素上皮細胞から供給される。そのため杆体が光感受性を回復するには時間がかかる。一方、褪色した錐体の視物質は色素上皮細胞に依存せず速やかに復活する。

ロドプシンは緑の光を最もよく吸収し、赤い光を通過させる。これに対し錐体の視物質は3種類あり、それぞれ赤、緑、青の光をよく吸収する。このような特性を**分光吸収特性**という(**77**)。レチナールは光を受けるアンテナに相当す

72 視細胞の微細構造と光受容の分子機構



光を吸収したロドプシンはトランスデューシン(Gt)をGTP結合型に変える。GtのαサブユニットとGTPの複合体はホスホジエステラーゼ(PDE)に結合してこれを活性化、PDEにより細胞内のcGMPが分解され、チャネルが閉じる。

る役割を担い、その同調周波数(分光吸収特性)はレチナール分子と相互作用する蛋白質の構造で決まる。3種類の錐体視物質はいずれも、ロドプシン蛋白とわずかにアミノ酸配列が異なる蛋白質がレチナールと結合したものである。

●色覚異常

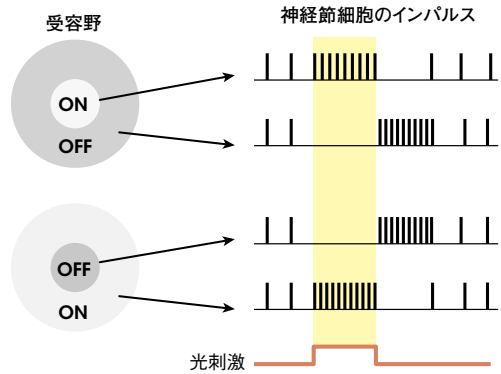
赤と緑の錐体視物質をコードする遺伝子はX染色体上に連続して存在する。これらは非常に相天性が高いこともあり、交雑による変異が生じやすい。このため赤・緑色覚異常が男性に多くみられる。

光化学反応はcGMPを介して細胞膜の過分極を引き起こす

ロドプシンが光を吸収してメタロドプシンに変化すると、G蛋白質の一種トランスデューシンtransducin (G_t) を活性化する。活性化された G_t はホスホジエステラーゼ(PDE; cGMPの分解酵素)を活性化するので、細胞内cGMP濃度が低下する。その結果、暗時に開いていた外節膜のcGMP依存性 Na^+ チャネルが閉じ、膜電位がマイナスに傾く(過分極する)。⁷²

杆体は1個の光子を検知できる。これは、1個の光子を吸収して生じた1分子のメタロドプシンが不活性化されるまでの間に数百分子の G_t を活性化し、その各々がPDEを

74 光受容野

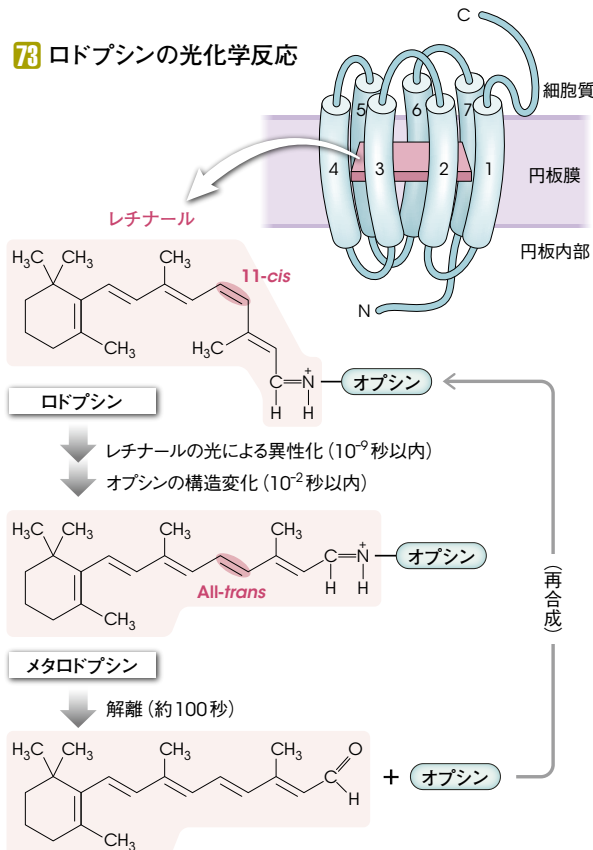


活性化し、各PDEが毎秒数百分子のcGMPを分解するという連鎖反応により高度に増幅された結果である。

cGMP依存性 Na^+ チャネルは Ca^{2+} も通過させるので、これが閉じると細胞内 Ca^{2+} 濃度が低下する。すると Ca^{2+} で抑制されていたグアニル酸シクラーゼが活性化し、cGMP合成が促進される。その結果、チャネルが開き、光が当たった前の状態に戻る。

錐体も光を受けると同様の機序により過分極するが、活性型視物質の寿命が短いため、多くの光子によって多数の錐体視物質が活性化されないで明瞭な過分極が生じない。すなわち錐体は光に対する感受性が低い。しかし、応答が長引かないので素早い明るさの変化を検出できる。

73 ロドプシンの光化学反応



網膜における視覚情報の統合

光を受けた視細胞は過分極し、終末からの伝達物質(グルタミン酸)の放出を減少させる。錐体からの信号を受ける双極細胞は、光を受けたときに脱分極するON型と過分極するOFF型に分かれ、それぞれ異なる種類のグルタミン酸受容体を持つ。双極細胞から信号を受ける神経節細胞もON型とOFF型に分かれる。ON型は黒板の文字のような背景より明るい部分を、OFF型は紙に書かれた文字のような背景より暗い部分を検出していると考えられる。

神経節細胞は網膜内で唯一の軸索を有しインパルスを発する細胞であり、中枢へ視覚情報を送り出す。1個の神経節細胞のインパルス発射に影響を与える網膜上の領域を受容野という。ON型ではその中心部を光刺激すると発射頻度が増し、周辺部では減少する⁷⁴。こうした受容野の形成や色情報処理(三色説→反対色説)、動くものの検出などに水平細胞やアマクリン細胞が重要な役目を果たしている。

受容野の大きさは、神経節細胞のサイズや網膜上の位置により異なる。網膜の周辺部に多く分布する大型の神経節細胞はM細胞と呼ばれ、広い受容野を持ち、動体視や立体視にあずかる。網膜の中心部に多い小型のP細胞は受容野が狭く、詳細な視力に関わる。

半規管は回転加速度の受容器である

半規管と卵形囊・球形囊は膜迷路に属し、内リンパを満たしている。これらは平衡覚の受容器であり、まとめて**前庭器 vestibular organ**と呼ぶ。

3つの半規管がXYZ平面に配置される 99

半規管 semicircular duct は前・後・外側の3つからなり、互いにほぼ直交する平面上で半円を描き、卵形囊につながっている。卵形囊への開口部の近くで、各半規管はそれぞれ1ヵ所のふくらみをつくる（**膨大部 ampulla**）。ここでは管壁の一部が内腔に向かって堤防状に隆起しており、**膨大部稜 ampullary crest**と呼ばれる。膨大部稜は管の方向と直交する向きに走り、その上に有毛細胞が並んでいる。

膨大部稜は、**クプラ cupula** または **小帽** と呼ばれる帽子状のゼラチン質で覆われる。有毛細胞の感覚毛はクプラの内部に埋まっている。一方、クプラの頂部は膨大部の天井

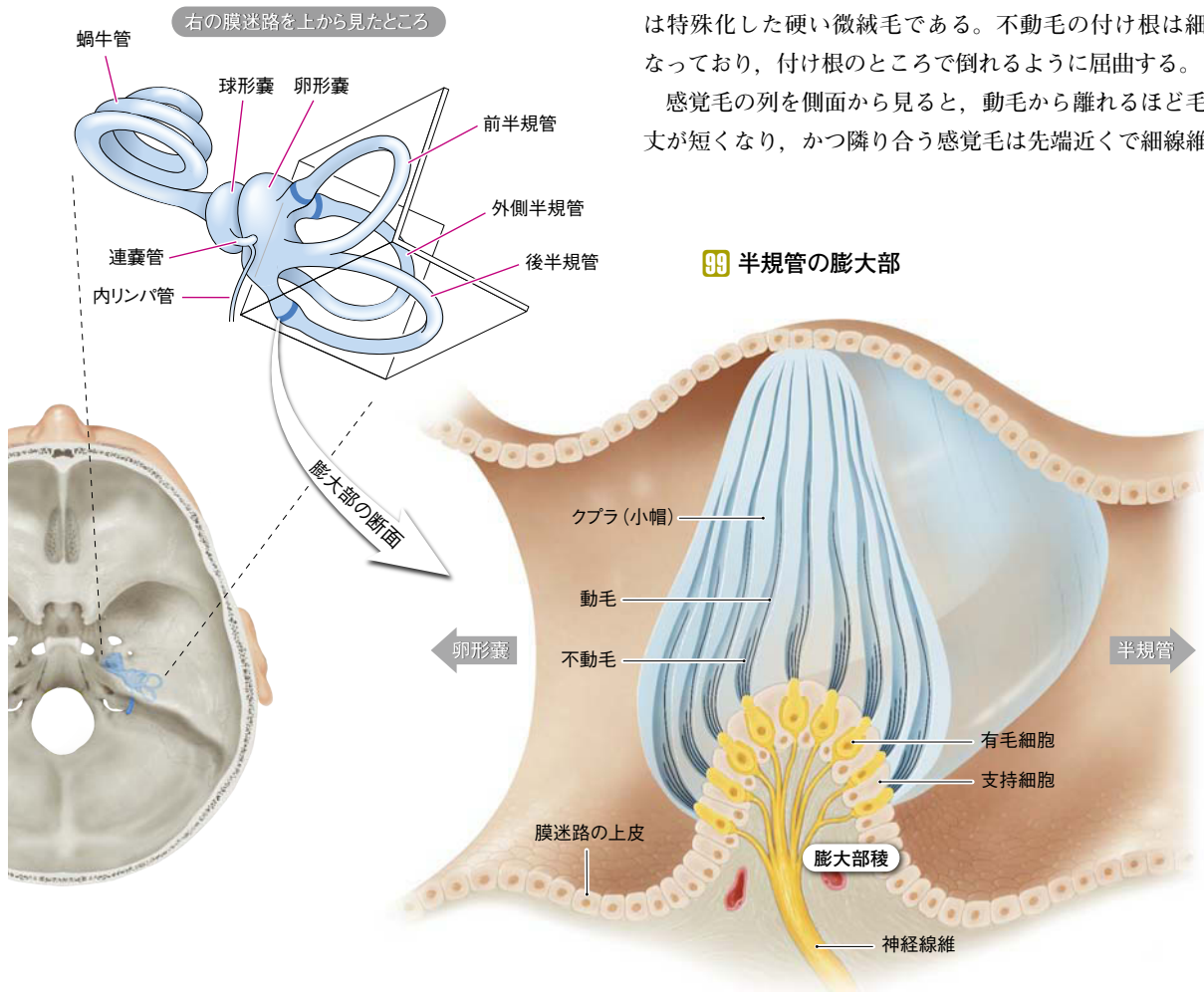
に達し、内リンパ腔を仕切っている。クプラの比重は周囲の内リンパに近いので、半規管内に浮いた状態となっている。頭部が回転して半規管も同様に動くとき、内リンパは慣性のために半規管内を相対的に移動し、クプラを押し、その中の感覚毛を屈曲させる。3つの半規管が互いに直交する平面上にあることにより、頭部の回転運動を三次元で検出することができる。

有毛細胞は機械的刺激を電気信号に変換する 100

有毛細胞 hair cell は脊椎動物の聴覚器・平衡覚器に存在する特殊な感覚細胞で、管腔面（細胞頂部）に生えた感覚毛に機械受容チャネルを持ち、機械的刺激（感覚毛の屈曲）を電気信号に変換する。

有毛細胞の感覚毛は、全体の方向性を決定する1本の長い**動毛 kinocilium**と、動毛を頂点として規則的に配列する50～100本の**不動毛 stereocilia**からなる。動毛は9+2の微小管で構成される線毛構造〔第1章参照〕を持つ。コルチ器の有毛細胞は動毛を欠き、基底小体のみがある（93）。不動毛は特殊化した硬い微絨毛である。不動毛の付け根は細くなっており、付け根のところで倒れるように屈曲する。

感覚毛の列を側面から見ると、動毛から離れるほど毛の丈が短くなり、かつ隣り合う感覚毛は先端近くで細線維に



よって結ばれている（先端連結tip link）。このため感覚毛は全体として束状になって屈曲する。

不動毛の先端近くには機械受容チャネルがある。このチャネルは静止状態でも多少の確率で開いているが、不動毛が動毛側へ倒れたときに、より高い確率で開くようになり、動毛と反対側へ倒れたときには閉じていく。先端連結に引っ張られることでこのような変化が起きると考えられている。このチャネルは陽イオンを非選択的に通すが、内リンパは K^+ 濃度が高いため、主に K^+ が電位勾配に従って内リンパから細胞内へ流入し、有毛細胞を脱分極させる。

有毛細胞は持続的に伝達物質を放出している

軸索終末のシナプスは、一般に活動電位のような大きな電位変化によって伝達物質を放出する。これに対し、有毛細胞のシナプスは、静止電位においても伝達物質を放出しており、膜電位のわずかな変化に応じて伝達物質の放出量が増加する。シナプス小胞の開口分泌に電位依存性 Ca^{2+} チャネルが関与するのは他のシナプスと同様であるが、それ以外に有毛細胞のシナプスにはリボンまたは密小体dense bodyと呼ばれる独特の構造があり、これに隣接しているシナプス小胞がまず放出される。密小体の周囲には多数のシナプス小胞があり、不足分はすぐに補われる。伝

達物質はグルタミン酸であり、後シナプス側の求心性線維に興奮性に作用して活動電位を発生させる。

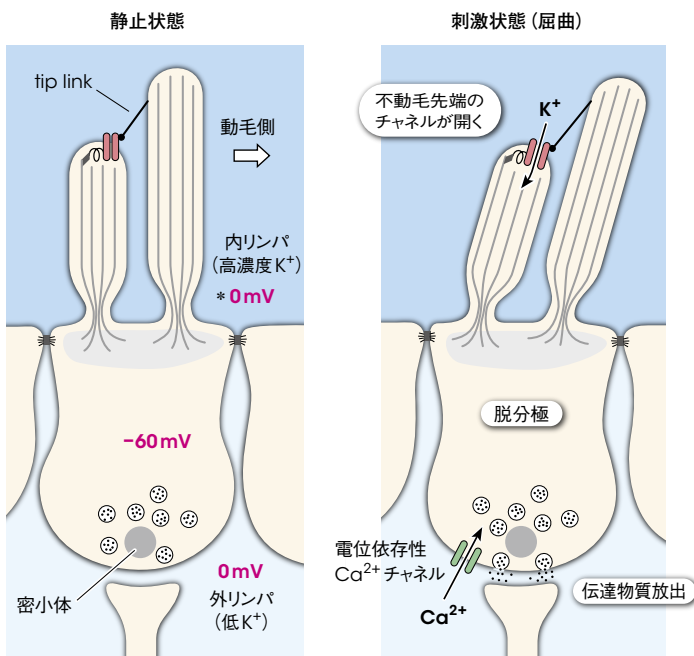
膨大部稜における感覚毛の方向性¹⁰⁰

膨大部稜ではすべての有毛細胞が同じ方向を向いて並んでいる。感覚毛の列は半規管の軸に対して直交し、外側半規管では卵形嚢に近い側が動毛側、前半規管および後半規管では卵形嚢から遠い側が動毛側になっている。このような感覚毛の方向性は、内リンパの流れ（クプラの偏位）を検出するのに都合がよい。

頭部が回転し始めるとき、内リンパは慣性のために取り残されて、頭部の回転方向とは逆方向に移動し、クプラが押されて感覚毛が倒れる。回転の終了時には、内リンパは慣性によりしばらく流れ続けるため、感覚毛は回転開始時とは逆方向に倒れる。

前述のように有毛細胞は静止状態（感覚毛が倒れていない状態）でも伝達物質を放出しており、求心性線維は一定の頻度で発火している。感覚毛が動毛側へ倒れれば、求心性線維において興奮性の応答（発火頻度の増加）が起き、感覚毛が反動毛側へ倒れれば求心性線維において抑制性の応答（発火頻度の減少）が起きる。

100 有毛細胞の刺激変換機構



101 膨大部における回転加速度の受容

