

Spinal Vessels

石黒友也

Tomoya Ishiguro

大阪市立総合医療センター 脳血管内治療科

Department of Neuro-intervention, Osaka City General Hospital

Key word: spine, spinal cord, vascular anatomy, embryology

【はじめに】

脊髄・脊椎の血管解剖の本格的な研究は19世紀後半のAdamkiewiczの報告から始まり¹³⁾、そこから約1世紀の間は動物や屍体を用いた解剖や微小血管造影を中心に行われてきた。選択的な脊髄血管造影は1970年前後から確立されたが^{4,6)}、脳とは異なり狭い領域に様々な血管を認め、血管自体が細いことなどから、その読影には習熟を要した。近年では回転撮影、特にその断層像を用いることで脊髄・脊椎の血管解剖は理解しやすくなっているが、脊髄血管造影を要する疾患の稀少性もあり、脳血管ほど理解されていないのが現状である。しかし脊髄・脊椎の血管解剖は同じ構築を繰り返している部位が多く、比較的単純なものであるため、一度理解すれば血管造影の読影は容易となる。脊髄・脊椎の発生を踏まえて基本となる血管構築を知れば、あとはその縦方向、横方向の繰り返しであることが理解できるはずである。本稿では発生を含めた脊髄・脊椎の基本血管解剖を概説する。

【脊髄・脊椎の発生】

胎生3週になると脊索 (notochord)の両側に形成された左右1対の沿軸中胚葉 (paraxial mesoderm)から体節 (somite)が頭側から尾側に向かって順に一定の時間周期で作られ、体節はさらに椎板 (sclerotome)や皮板 (dermatome)、筋板 (myotome)に分化する。胎生4-5週頃に椎板からは間葉細胞 (mesenchymal cell)が遊走して、背側部からの細胞は神経管を取り囲んで椎弓の原基となり、腹側部からの細胞は脊索を取り囲んで椎体の原基を形成する。椎体の原基は神経管 (脊髄)からの脊髄神経 (nerve root)の伸長もあり、隣接する分節の頭尾側が癒合して形成される¹¹⁾ (Fig.1A-C)。したがって脊髄神経や分節動脈 (segmental artery)から分岐して脊柱管内の組織を栄養するspinal branchは上下の椎体間の椎間孔 (intervertebral foramen)を走行するようになる。

一方、神経系の発生は脊索がその背側に神経板 (neural plate)を誘導するところから始まる。神経板は胎生4週の間正中線上の神経溝に沿って巻き上がって、外側縁同士が癒合して神経管 (neural tube)となり、そこから脳と脊髄に分化していく。この神経管形成 (neurulation)は胎生22日に第5体節の領域から始まり、そこから頭側と尾側方向に向かって進んでいく^{3,11)}。脊髄神経とそれが分布する体節という観点から体節と同じ数の31個の脊髄分節 (myelomere)に分けて考えられているが、最近の分子生物学的な研究では脊髄を6つの分節に分けている¹⁴⁾。しかし血管解剖は従来の形態学的な分節を用いた方が理解しやすい。

神経管形成の開始に伴って神経板の外側縁からは神経提細胞 (neural crest cell)が分離して、体内の特定の部位に遊走する。各レベルの神経管と体節の間に遊走した神経提細胞は左右1対の後根神経節 (dorsal root ganglia)に分化し、これは頸部領域から尾側に向かって順次形成されていく。また胎生5週になると各脊髄分節の腹側から運動ニューロンの軸索が後根神経節の近傍を通過して椎板に向かって伸長していき、最終的には前根 (ventral root)となる。その後後根神経節から知覚ニューロンの軸索が中枢側へは同じレベルの脊髄分節の背側へと伸びて後根 (dorsal root)を形成する。また末梢側は前根と合流して脊髄神経を形成して、同じレベルの筋板などとシナプスを形成する¹¹⁾。このように脊髄神経や脊椎は分節構造を保ちながら発生するため、同様に血管系も基本は単純な構築の繰り返しとなる。

【脊髄・脊椎の血管系の発生】

神経管と体節との間に遊走した神経提細胞からは後根神経節のほか原始髄膜 (meninx primitiva)が形成される^{2,20}。原始髄膜は後に軟膜、くも膜、固有硬膜、骨膜硬膜に分化する^{19,20}。発生の初期段階では神経管には動脈・静脈といった血管構造は認めておらず、周囲の原始髄膜からの拡散によって栄養されているが、胎生4週の終わり頃には神経管から産生されるvascular endothelial growth factor (VEGF)によってその周囲の原始髄膜内にperineural vascular (capillary) plexus (PNVP)を認めるようになる^{16,20,21}。PNVPはzebrafishでの研究で分節動脈からの発芽 (sprouting)によって形成されることが示されている¹⁶。ヒトでは胎生5週の中頃には神経管は原始髄膜およびPNVPに完全に覆われるようになり、VEGFだけでなくWnt, transforming growth factor- β (TGF- β), Angiopoietine-Tieシグナル伝達系などの働きによって血管新生 (angiogenesis)が進んでいき、発芽、分岐 (branching), 融合 (fusion)などを繰り返しながら、より複雑な毛細血管網を構築する^{16,20,22}。胎生5-6週頃にはPNVPから脊髄内に向かって左右1対のintraneural vascular plexus (INVP)を認めるようになる。これは将来の中心溝動脈 (sulcal artery (central artery))で、すべての分節レベルで脊髄の腹側、運動ニューロン (前柱)の内側から脊髄内へ入り、背側に向かって走行していき、脊髄の外側や背側から入ってきたINVPと吻合を認める^{3,15,16,20,21}。脊髄表面では毛細血管網だけでなく動脈であるvasa corona, 静脈であるcoronal venous plexusを認めるようになる。一方、胎生5週には原始髄膜内で前根に沿って前神経根動脈・静脈 (anterior radicular artery/vein)を、後根に沿って後神経根動脈・静脈 (posterior radicular artery/vein)を認めるようになる。最近の研究で神経・動脈・静脈の並走性は、神経から産生されるVEGFやstromal cell-derived factor-1 (SDF-1 (CXCL12))によって神経近傍の毛細血管が動脈へと分化し、動脈から産生されるApelinが静脈に発現するAPJ受容体に作用して構築されることが示されていることから⁹、おそらくは脊髄や後根神経節から伸長してきた前根、後根に沿って原始髄膜内の毛細血管網から神経根動脈が分化し、その後神経根静脈が形成されると考えられる。神経根動脈・静脈は中枢側ではPNVPと、末梢側では背側大動脈から分岐する分節動脈、主静脈 (cardinal vein)へ還流する分節静脈 (segmental vein)とそれぞれ交通を持つ¹⁵ (Fig.2A-C)。

神経根動脈は神経根の基部で脊髄表面のvasa coronaと交通するようになる。左右の前神経根動脈は胎生6週までに縦方向に吻合していき、左右1対の腹側縦走神経動脈 (ventral longitudinal neural artery)が形成される。腹側縦走神経動脈からは脊髄に向かって中心溝動脈が分岐する。腹側縦走神経動脈は胎生6から14週にかけて脊髄の腹側正中で癒合していき、1本の前脊髄動脈 (anterior spinal artery)となる。縦方向の吻合が発達して前脊髄動脈が形成されるにつれて前神経根動脈との連続性は多くの分節レベルで失われていき、連続性が残った前神経根動脈が神経根髄質動脈 (radiculomedullary artery)と呼ばれる (Fig.3A-D)。この神経根髄質動脈は上位頸椎レベルでは認められず、胎生10-14週時点では下位頸椎、中下位胸椎レベルを中心に平均8本認められ、胎生28週頃には成人と同様に平均6本となる。Vasa coronaとの交通が残った神経根動脈は神経根軟膜動脈 (radiculopial artery)と呼ばれ、前神経根動脈、後神経根動脈いずれにも左右差なく認められる。前神経根動脈からの神経根軟膜動脈 (anterior radiculopial artery)は前脊髄動脈にはつながらずにvasa coronaと交通し、後神経根動脈からのもの (posterior (dorsal) radiculopial artery)はvasa coronaの縦方向の吻合が発達した左右1対の後(外側)脊髄動脈 (posterior (posterolateral) spinal artery)へとつながる。後脊髄動脈の発生は前脊髄動脈よりも遅く、胎生10週時点では脊髄背側にはvasa coronaを認めるのみで、胎生15週頃から後根が入る後外側溝のレベルで縦方向の吻合が始まり、胎生28週までに発達する。後脊髄動脈へつながる神経根軟膜動脈は、神経髄質動脈と同様に脊髄の発達とともにその数は減少し、胎生28週頃には成人と同様に14本前後となる^{3,10,12,24,25}。全脊髄レベルの腹側正中を走行する1本の連続する動脈である前脊髄動脈とvasa coronaの縦方向の吻合である左右1対の後脊髄動脈は、胎生28週前後に脊髄円錐レベルで吻合を認めるようになる²⁵。

脊髄・脊椎の静脈の発生は十分に解明されていない点が多いが、胎生5-6週にかけてvasa coronaが神経根動脈を介して分節動脈からの血流を受けていることから、同じ頃には脊髄表面の静脈であるcoronal venous plexusからは各分節レベルで前・後神経根静脈 (anterior/posterior radicular vein)を介して分節

静脈へ還流されるようになると考えられる。動脈と同様にcoronal venous plexusと神経根静脈との連続性も脊髄の発達とともに様々なレベルで失われていくと考えられ、残ったものが神経根髄質静脈 (radiculomedullary vein)である。また脊髄からの静脈還流はbridging veinによっても行われるが、脳では原始髄膜の分化とともにその前駆となるpial-arachnoid veinが胎生6-7週に出現することから¹⁾、脊髄でも硬膜や軟膜の分化が始まる胎生7-8週以降から認めるようになると考えられる。脊髄表面のcoronal venous plexusは規則性を持たずに蛇行して走行しているが、胎生10週頃には前脊髄動脈とそこから分岐する中心溝動脈に伴走して前脊髄静脈 (anterior spinal vein)と腹側中心溝静脈 (ventral sulcal vein)を認めるようになる。脊髄背側では後脊髄動脈と伴走するものではないが、coronal venous plexusの縦方向の吻合が起こり、特に頸椎・腰椎レベルでは1本の後脊髄静脈 (posterior spinal vein)となる^{10,25)}。脊髄からの静脈は神経根髄質静脈やbridging veinによって硬膜外静脈叢 (epidural venous plexus)へ還流される。硬膜外静脈叢は原始髄膜から硬膜の分化が開始される胎生7週以降にその原基を後根神経節の腹内側に認めるが、発達するのは脊柱管内で脊髄の硬膜である固有硬膜 (dura propria)と脊椎の骨膜 (periosteal dura)とが分かれて硬膜外腔 (epidural space)が頭側から尾側に向かって形成される胎生10週以降で、胎生13週には腹側硬膜外静脈叢 (ventral epidural venous plexus)が、その後背側硬膜外静脈叢 (dorsal epidural venous plexus)を認めるようになる^{18,20)}。胎生10週頃には椎体や椎弓の一次骨化も始まり、硬膜外静脈叢はこれらの静脈も受けて発達する¹⁸⁾。

以上のような発生学的背景から脊髄 (特に表面)では動脈と静脈はいずれも分節構造 (metameric pattern)を呈さないが、脊椎、神経根、硬膜は発生の初期段階から認められる分節動脈の枝から栄養されて、分節静脈に還流されるといった各レベルでの分節構造が維持されている。

【脊髄・脊椎の動脈解剖】

脊椎、周囲の筋肉、神経根、硬膜は各レベルの分節動脈からの枝によって栄養される (Fig.4)。分節動脈は椎体に沿って走行して、椎間孔付近で、周囲の骨や筋肉を栄養するventral/dorsal branchと脊柱管内の組織を栄養するspinal branchの3本に分かれる。Ventral branchは横突起の腹側を走行し、胸椎レベルではそのまま肋骨の下縁に沿って走行している。椎体は分節動脈の本幹から分岐する数本のventral somatic branchによって腹側面から、spinal branchから分岐するdorsal somatic branch (retrocorporeal artery)によって背側面から栄養される。一方、椎弓はspinal branchからのprelaminar arteryが腹側面から、分節動脈のdorsal branchが背側面から栄養している。Spinal branchからは椎体や椎弓への枝のほかに神経根を栄養する神経根動脈を認め、そこからさらに硬膜への神経根髄膜動脈 (radiculomeningeal artery)が分岐する。神経根動脈以外のspinal branchの枝は脊柱管内で対側との横方向の吻合と、頭尾側のレベルとの縦方向の吻合を認める^{3,10,12,24)}。神経根髄膜動脈は神経根の硬膜を栄養しながら脊髄硬膜に到達し、そこで頭尾側方向のvertical branchと横方向へのtransverse branchに分かれ、transverse branchは背側の硬膜でより発達している¹⁹⁾。逆に脊椎への枝であるdorsal somatic branchとprelaminar arteryとでは腹側にある前者の方が発達している。Dorsal somatic branchは脊柱管内で上行枝 (ascending branch)と下行枝 (descending branch)に分かれ、それぞれが対側と吻合して (retrocorporeal anastomosis)、椎間板を囲むような特徴的な六角形 (hexagon)の形状を呈する。分節動脈でも縦方向の吻合は椎体腹外側 (antero-lateral)、横突起腹側 (pretransverse)、椎弓背側 (dorsal)などで認められる。分節動脈の基本構造は胸・腰椎レベルでは肋間動脈 (intercostal artery)、腰動脈 (lumbar artery)として認められ、第3肋間動脈から第4腰動脈までの14対が下行大動脈から分岐する。頸椎レベルでは分節動脈が縦方向に再構築されて形成された上行頸動脈 (ascending cervical artery)、椎骨動脈 (vertebral artery)、深頸動脈 (deep cervical artery)からそれぞれの枝が分岐しており、第1,2胸椎の分節動脈である最上肋間動脈 (supreme intercostal artery)は鎖骨下動脈の枝である肋頸動脈 (costocervical trunk)から分岐する。また第5腰動脈は内腸骨動脈 (internal iliac artery)の枝である腸腰動脈 (iliolumbar artery)から分岐するが、背側大動脈のremnantである正中仙骨動脈 (median (or middle) sacral artery)から認めることもある。仙骨レベルでも分節動脈の縦方向の再構築を認め、それにより形成された外側仙骨動脈 (lateral sacral artery)からそれぞれの枝が分岐する^{3,10,12,24)}。

脊髄表面の動脈は前正中裂内を縦方向に走行する前脊髄動脈と動脈網であるvasa coronaからなる。Vasa coronaは左右の後外側溝の周辺で縦方向の吻合が発達しており、後根の内側(背側)を走行した場合は後脊髄動脈、後根の外側(腹側)は後外側脊髄動脈と呼ばれるが、本質的には同じものである。頭蓋頸椎移行部から第4頸椎レベルでは後外側脊髄動脈であることが多い。前根に沿って走行して前脊髄動脈まで到達する神経根髄質動脈は4-8本(平均6本)認められ、特に腰膨大に分布する神経根髄質動脈は太く、Adamkiewicz動脈と呼ばれ、第9胸椎レベルから第1腰椎レベルの間で左側から分岐することが多い。一方、後脊髄動脈へつながる神経根軟膜動脈は10-20本認められる(Fig.5)。前脊髄動脈は頭側では頭蓋内の椎骨動脈から分岐して脊髄下端まで続く1本の縦走動脈であるが、その発生学的背景から癒合不全によるduplicationやfenestrationといったvariationを認めることがある。後脊髄動脈は頭側では椎骨動脈または後下小脳動脈から分岐して、脊髄の背側に左右1対認められるが、vasa coronaの縦方向の吻合であるため常に2本の動脈が存在するわけではなく、また正中を越えて左右をつなぐ動脈を認めることもある。前脊髄動脈と後脊髄動脈は脊髄の尾側端である脊髄円錐(conus medullaris)でW字状に吻合して、conus basketを形成している^{3,10,12,24,25}。脊髄円錐より尾側の終糸(filum terminale)には前脊髄動脈から続く終糸動脈(artery of filum terminale)がその腹側を縦走している⁵。またconus basketからは馬尾神経根に向かって動脈が分岐し、神経根の頭側1/3を栄養している¹⁷。

脊髄の内部は前脊髄動脈から分岐する中心溝動脈(sulcal artery (central artery))が脊髄の中心管周囲に位置する灰白質を遠心性(centrifugal)に、vasa coronaからの穿通枝(perforating branch)がその周囲の白質を求心性(centripetal)に栄養している(Fig.5)。発生学的に中心溝動脈は腹側縦走神経動脈から分岐しているため、脊髄の片側のみを栄養している。中心溝動脈は脊髄実質に入る前に上行枝と下行枝を分岐し、同側の頭尾側の中心溝動脈と吻合を認める^{3,10,12,24}。

【脊髄・脊椎の静脈解剖】

脊髄表面の静脈は前脊髄静脈と後脊髄静脈がそれぞれ腹側および背側正中を縦方向に走行しており、両者の間にcoronal venous plexusを認めている。動脈と同様に後脊髄静脈はcoronal venous plexusの縦方向の吻合であるため、必ずしも背側正中を走行しているわけではなく、後外側溝周囲に認めることもある。この場合は後外側脊髄静脈(posterolateral spinal vein)と呼ばれ、胸椎レベルで認めることが多い。脊髄内の静脈は辺縁の白質からは放射状に走行するradial perforating veinがcoronal venous plexusへ向かっており、灰白質からは腹側・背側中心溝静脈(ventral/dorsal sulcal vein)が前・後脊髄静脈へそれぞれ向かっている^{8,10,12,24}(Fig.6)。また脊髄内では前脊髄静脈と後脊髄静脈とを結ぶtransmedullary venous anastomosis(TMVA)が認められ、これは正中を走行するmedian anteroposterior TMVAと中心から背側から傍正中を走行するcentrodorsolateral TMVAがある^{7,24}。

脊髄の静脈は神経根髄質静脈またはbridging veinを介して硬膜外静脈叢へ還流される。神経根髄質静脈は神経根とともに椎間孔へ向って硬膜を貫通しているのに対して、bridging veinは椎間孔から離れた位置で硬膜を貫通している。神経根髄質静脈とbridging veinを合わせて30-70本(平均50本以上)認められ、そのうち60-70%が神経根髄質静脈で、残りの30-40%がbridging veinである^{8,10,12,24}。硬膜外静脈叢は内椎骨静脈叢(internal vertebral venous plexus)とも呼ばれる。硬膜外静脈叢は腹側に左右2対の、背側に1対の縦走する静脈を認め、これらが密接に交通しており、ヒトでは腹側の方が発達している。腹側硬膜外静脈叢の静脈はmedial epidural veinとlateral epidural veinで、背側硬膜外静脈叢がposterior epidural veinである。Medial epidural veinは主に椎体からの静脈を受け、椎体背面を走行するretrocorporeal anastomotic veinによって左右が吻合している。一方、posterior epidural veinは主に椎弓や棘突起の静脈を受け、椎弓腹側を走行するtransverse veinによって左右が吻合している。Lateral epidural veinはmedial/posterior epidural veinからの血流を受けるとともに、脊髄の静脈を還流する神経根髄質静脈やbridging veinも受けている²³。Lateral epidural veinからの血流は椎間孔を通るintervertebral veinを介して脊柱管外へ出て、最終的に分節静脈へ流出する^{12,19,23}(Fig.7A,B)。

参考文献

1. Baltasavias G, Parthasarathi V, Addin E, et al: Cranial dural arteriovenous shunts. Part 1. Anatomy and embryology of the bridging and emissary veins. *Neurosurg Rev* 38: 253-263, 2015
2. Batarfi M, Valasek P, Krejci E, et al: The development and origins of vertebrate meninges. *Bio Cimm* 62: 73-81, 2017
3. Bosmia AN, Hogan E, Loukas M: Blood supply to the human spinal cord: part 1. Anatomy and hemodynamics. *Clin Anat* 28: 52-64, 2015
4. Di Chiro G, Wener L: Angiography of the spinal cord: a review of contemporary techniques and applications. *J Neurosurg* 39: 1-29, 1973
5. Djindjian M, Ribeiro A, Ortega E, et al: The normal vascularization of the intradural filum terminale in man. *Surg Radiol Anat* 10: 201-209, 1988
6. Djindjian R: Angiography of the spinal cord. *Surg Neurol* 2: 179-185, 1974
7. Gregg L, Gailloud P: Transmedullary venous anastomosis: anatomy and angiographic visualization using flat panel catheter angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 36: 1381-1388, 2015
8. Griessenauer CJ, Raborn J, Foreman P, et al: Venous drainage of the spine and spinal cord: a comprehensive review of its history, embryology, anatomy, physiology, and pathology. *Clin Anat* 28: 75-87, 2015
9. Kidoya H, Naito H, Muramatsu F, et al: APJ regulates parallel alignment of arteries and veins in the skin. *Dev Cell* 33: 247-259, 2015
10. 小宮山雅樹: 脊髄・脊椎の機能血管解剖. *No Shinkei Geka* 41: 481-492, 2013
11. Larsen WJ: 最新人体発生学 第2版. 相川英三, 他 監訳. 西村書店, 東京, 2005
12. Lasjaunias P, ter Brugge KG, Berenstein A: *Surgical Neuroangiography, Vol. 1*. Springer-Verlag, Berlin, 2001
13. Manjila S, Haroon N, Parker B, et al: Albert Wojciech Adamkiewicz (1850-1921): unsung hero behind the eponymic artery. *Neurosurg Focus* 26: E2. doi: 10.3171/FOC.2009.26.1.E2, 2009
14. Michelle A, Watson C: The organization of spinal motor neurons in a monotreme is consistent with a six-regions schema of the mammalian spinal cord. *J Anat* 229: 394-405, 2016
15. Nakao T, Ishizawa A, Ogawa R: Observations of vascularization in the spinal cord of mouse embryos, with special reference to development of boundary membranes and perivascular spaces. *Anat Rec* 221: 663-677, 1986
16. Paredes I, Himmels P, Ruiz de Almodóvar C: Neurovascular communication during CNS development. *Dev Cell* 45: 10-32, 2018
17. Parke WW, Gammell K, Rothman RH: Arterial vascularization of the cauda equina. *J Bone Joint Surg Am* 63: 53-62, 1981
18. Rodionov AA, Asfandiyarov RI: Morphogenesis of the epidural space in humans during the embryonic and early fetal periods. *Neurosci Behav Physiol* 40: 137-142, 2010
19. Sakka L, Gabrillargues J, CollG: Anatomy of the spinal meninges. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 12: 168-188, 2016
20. Sensenig EC: The early development of the meninges of the spinal cord in human embryos. *Contr Embryol* 34: 145-157, 1951
21. Takahashi T, Takase Y, Yoshino T, et al: Angiogenesis in the developing spinal cord: blood vessel exclusion from neural progenitor region is mediated by VEGF and its antagonists. *PLoS One* 10: e0116119. doi: 10.1371/journal.pone.0116119, 2015
22. Tata M, Ruhrberg C, Fantin A: Vascularisation of the central nervous system. *Mech Dev* 138: 26-36, 2015
23. Théron J, Moret J: *Spinal phlebography*. Springer-Verlag, Berlin, 1978
24. Thron AK: *Vascular anatomy of the spinal cord. Radioanatomy as the key to diagnosis and treatment*. 2nd ed. Springer International Publishing, Switzerland, 2016
25. Zawilliński J, Litwin JA, Nowogrodzka-Zagórka M, et al: Vascular system of the human spinal cord in the prenatal period: a dye injection and corrosion casting study. *Ann Anat* 183: 331-340, 2001

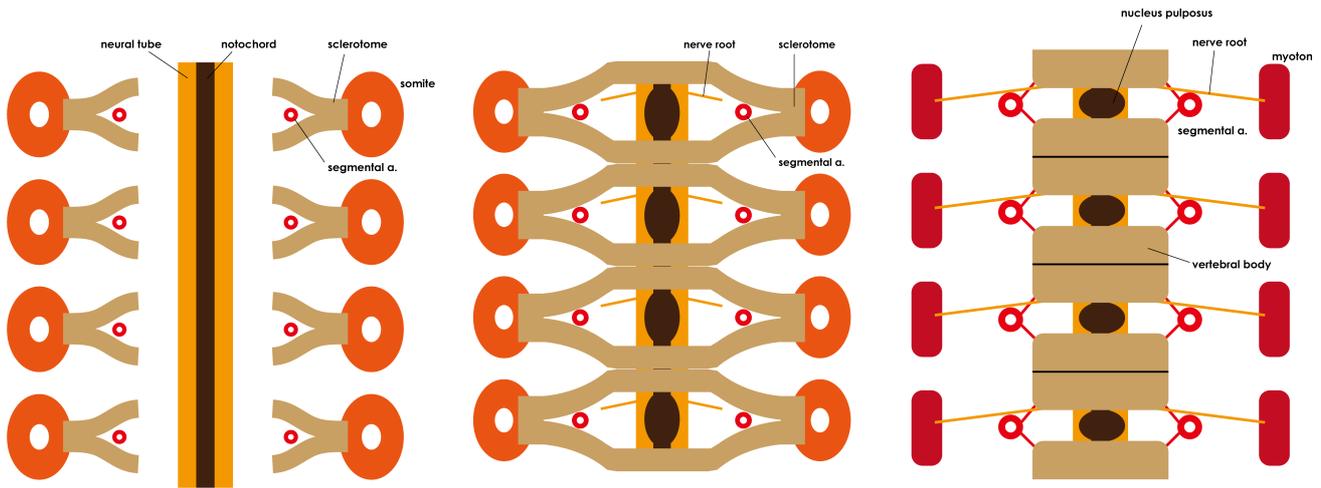


Fig.1: 椎体の発生. 前方から見た図

体節から分化した椎板から間葉細胞が遊走し (1A), 脊索を取り囲んで椎体の原基となるが, これは隣接する分節の頭尾側が癒合して形成される (1B). そのため脊髄神経は上下の椎体の間から筋板に向かって伸長し, また分節動脈からの枝は椎体の間から脊柱管内へ入る (1C).

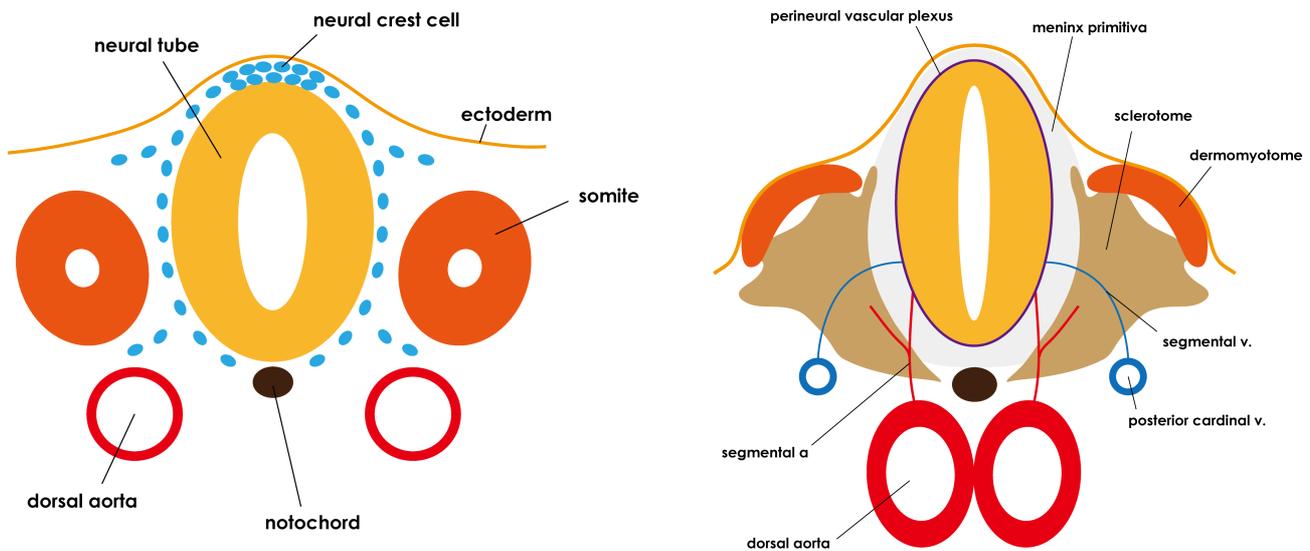


Fig.2: 脊髄・脊椎の動静脈の発生.

2A: 胎生4週を始め頃. 神経管形成が始まり, その過程で神経板の外側縁から生じた神経提細胞が様々な部位へ遊走する. 神経管と体節との間の神経提細胞からは後根神経節や原始髄膜が形成される.

2B: 胎生4週の終わり頃. 原始髄膜に覆われた神経管の周囲にperineural vascular plexusが形成される.

2C: 胎生5週の終わり頃. 脊椎, 神経根, 周囲の筋肉は同じレベルの分節動脈から栄養を受け, 静脈は分節静脈へ還流されている. この時期の脊髄表面のvasa coronalisは全ての分節レベルの神経根動脈と交通している.

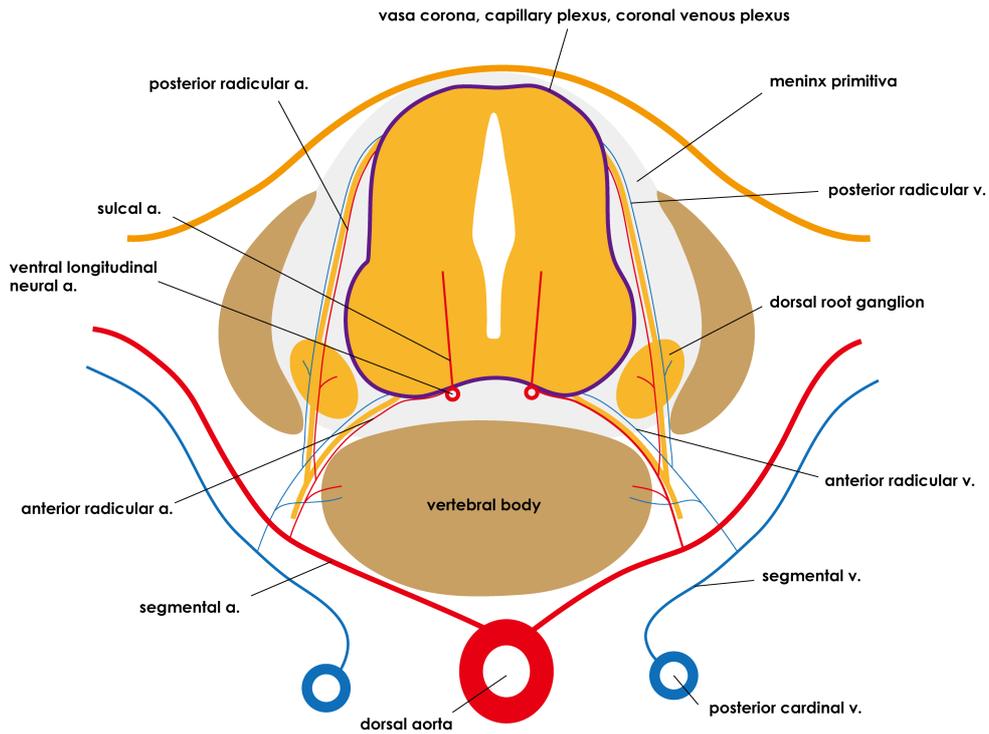
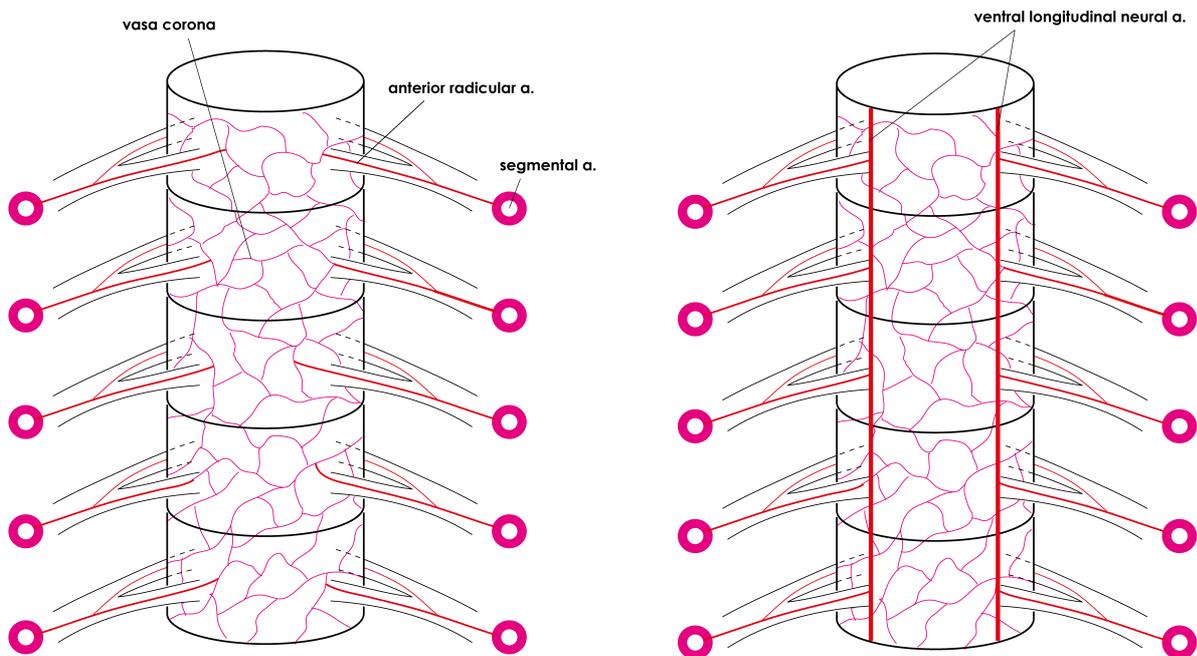


Fig.2: 脊髄・脊椎の動静脈の発生.

2C : 胎生5週の終わり頃. 脊椎, 神経根, 周囲の筋肉は同じレベルの分節動脈から栄養を受け, 静脈は分節静脈へ還流されている. この時期の脊髄表面のvasa coronaは全ての分節レベルの神経根動脈と交通している.



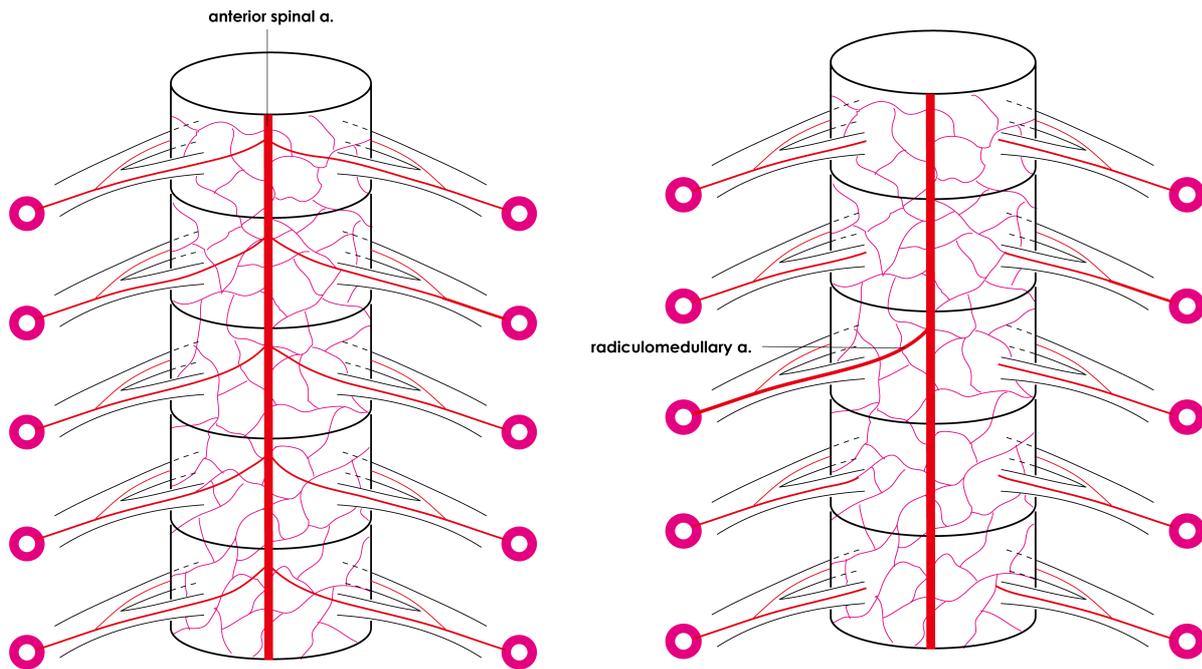


Fig.3：前脊髄動脈の発生.

脊髄表面の動脈は当初、全ての分節レベルの前神経根動脈が関与しているが (3A)、発生の進行とともにこれらは上下で吻合して、左右1対の腹側縦走神経動脈が形成される (3B)。その後、左右の腹側縦走神経動脈は脊髄の腹側正中で癒合して1本の前脊髄動脈となる (3C)。それとともに前神経根動脈との連続性は失われていき、連続性が残ったものが神経根髄質動脈と呼ばれる (3D)。

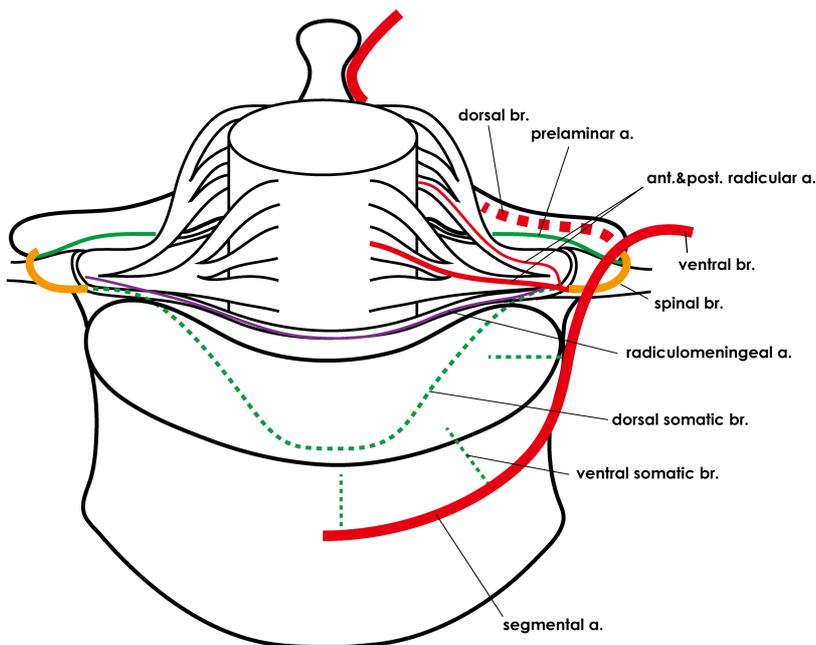


Fig.4: 脊椎、神経根、髄膜の動脈の基本構造.

椎体は分節動脈本幹から分岐する ventral somatic branch と spinal branch から分岐する dorsal somatic branch によって栄養され、椎弓は spinal branch から分岐する prelaminary artery と分節動脈の dorsal branch によって栄養されている。Spinal branch からは神経根を栄養する神経根動脈を認め、そこから硬膜を栄養する神経根髄膜動脈が分岐する。

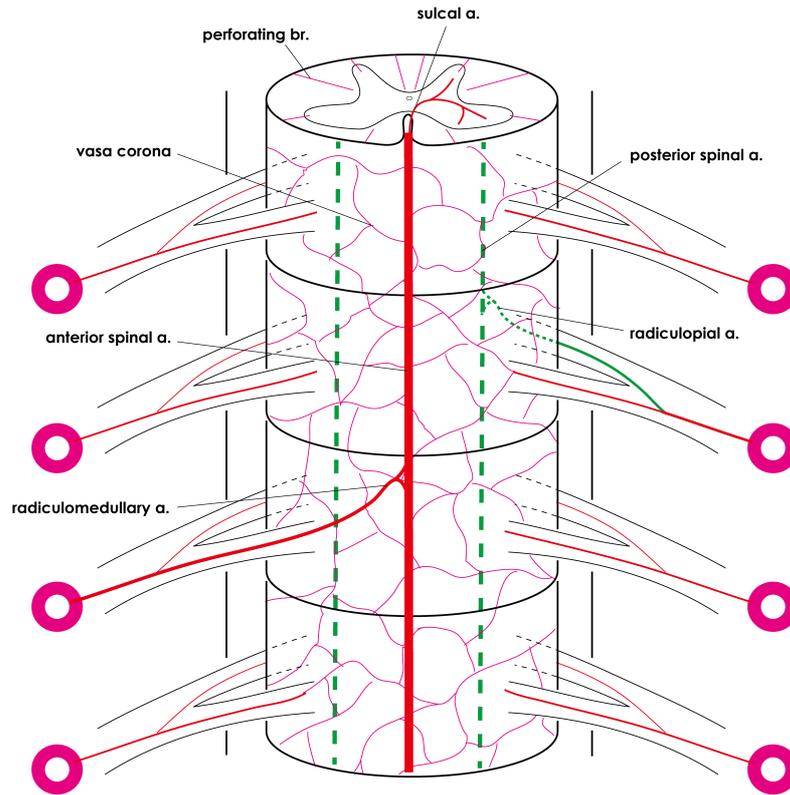


Fig.5: 脊髄動脈の基本構造.

神経根髄質動脈は前根に沿って走行して前脊髄動脈まで到達する。一方、神経根軟膜動脈は脊髄表面のvasa coronaに到達するものを指すが、後根に沿って走行するものはvasa coronaの縦方向の吻合である後脊髄動脈へとつながる。脊髄の内部は前脊髄動脈から分岐する中心溝動脈が灰白質を遠心性に、vasa coronaからの穿通枝が周囲の白質を求心性に栄養している。

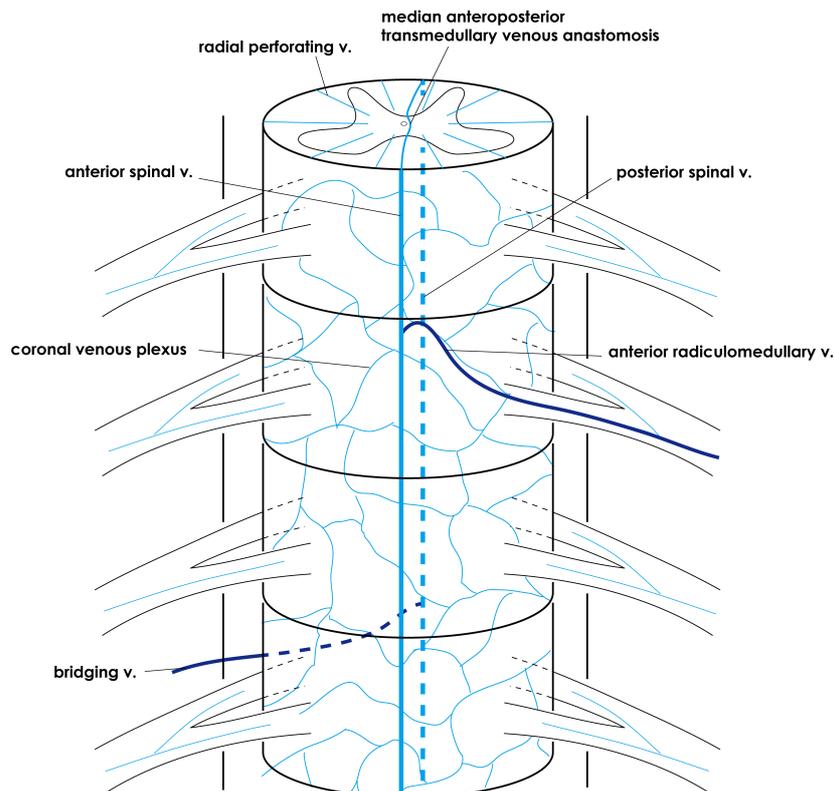


Fig.6：脊髓静脈の基本構造

脊髓内部の静脈はradial perforating veinや灰白質からのsulcal veinを介してcoronal venous plexusや前・後脊髄静脈へそれぞれ流出する。それとは別に前脊髄静脈と後脊髄静脈を結ぶtransmedullary venous anastomosisを認める。脊髄表面からは神経根髄質静脈やbridging veinを介して硬膜外静脈叢へ還流される。

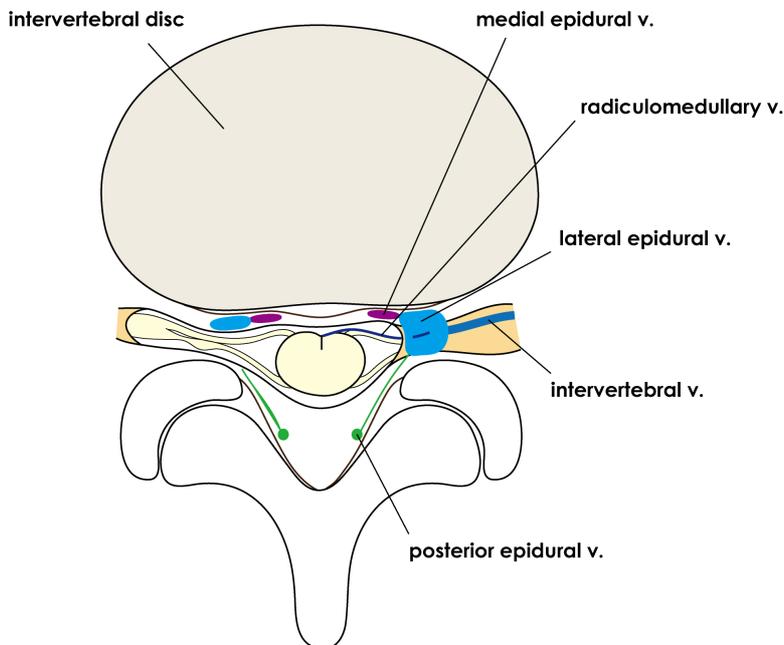
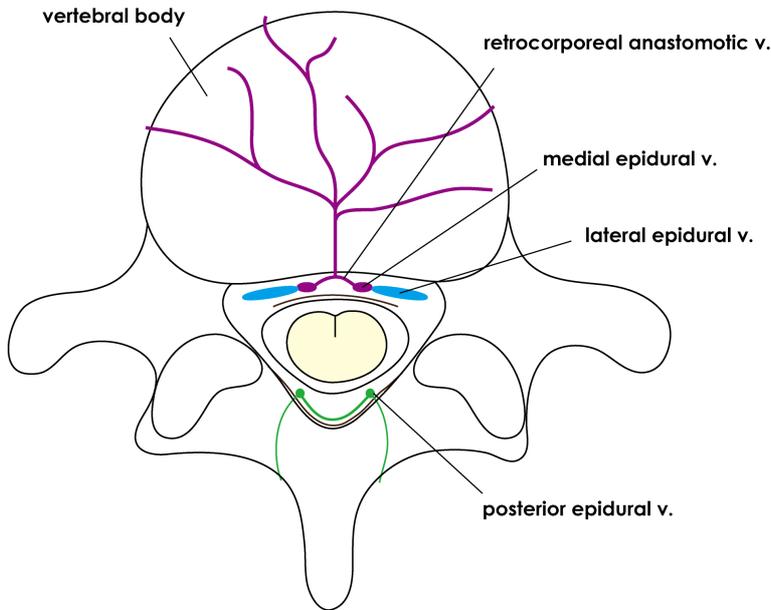


Fig.7：脊髓硬膜外静脈叢の基本構造。

7A：椎体のレベルの横断面，7B：椎間板のレベルの横断面。

脊髓硬膜外静脈叢は腹側・背側硬膜外静脈叢に分けられ，内部をそれぞれ medial/lateral epidural vein, posterior epidural veinが縦走しており，これらは密接な交通を持つ。Medial epidural veinは椎体からの，posterior epidural veinは椎弓や棘突起からの静脈を受け，Lateral epidural veinは両者と脊髄からの静脈を受けている。