

Perforating branches of the vertebrobasilar system

久留米大学医学部 放射線医学講座 田上秀一

【はじめに】

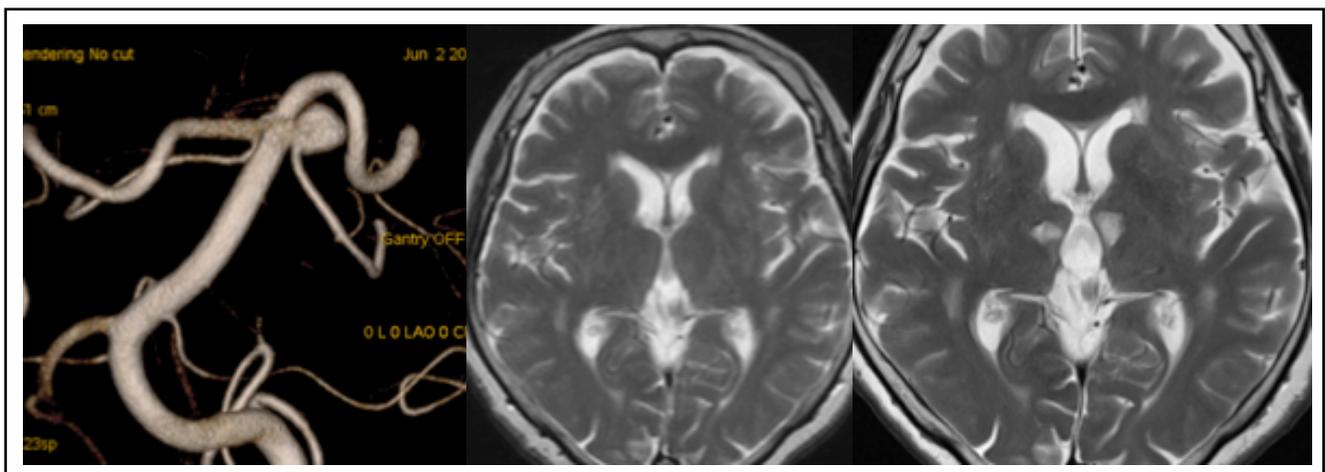
脳に分布するperforating arteryは、神経組織への供血路として非常に重要な役割を担い、またmajorなperforating arteryの分布する領域は、機能的にも重要な領域がほとんどであり、その解剖の知識は重要と思われる。Vertebra-basilar systemからは、大脳底部から脳幹・小脳にかけて多くのperforating arteryが分岐し、その解剖に関する知識は同領域への開頭手術、血管内治療において非常に重要である。それらの解剖学的構築については肉眼解剖学的手法によって過去に多くの検討がなされており、また近年では高精細の画像診断装置の普及により画像上も微細構造まで同定可能である。本項ではvertebrobasilar systemのperforating arteryについて、その基本構造と画像解剖、関連する発生学の一部を概説する。

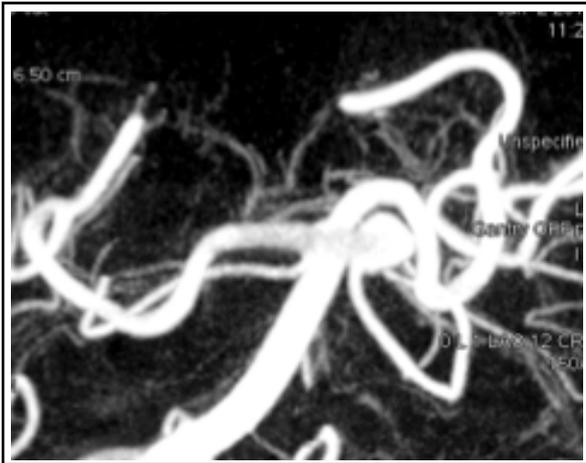
【Posterior cerebral arteryからのperforating branch】

Posterior cerebral artery (PCA)からはthalamogeniculate artery (TGA), thalamoperforating artery (TPA)の2種類のperforatorが分岐する。TGAはambient cisternに存在し、多くはP2 segmentから起始するが、medial posterior choroidal arteryからの分岐もしばしばみられる。TGAは分岐後に背側に走行し、視床枕の後外側部、視床の外側・尾側の核に供血する。一方、TPAは多くはP1 segmentから起始し、通常は2-5本存在する。interpeduncular cisternを走行して、乳頭体と大脳脚の間に存在する後有孔質 (posterior perforated substance) から脳内に入る。Djulejićらの報告によると、TPA間の吻合は53.2%に存在するとされる (1)。TPAに関する解剖学的な観察と分類は多くの文献報告があるが、Percheronらの報告による3タイプへの分類がしばしば引用される (2,3)。このうち一侧のcommon trunkから両側視床に分布するタイプが、artery of Percheronと称される (Fig.1)。

PercheronらによるTPAのタイプ分類

- Small branches arising from both P1
- An asymmetrical common trunk arising from a P1 segment (artery of Percheron)
- An arterial arcade emanating from an artery bridging the two P1 segments





【Basilar arteryからのperforating branch】

Basilar artery (BA)からは小脳へのpial artery以外に多数のperforating arteryが分岐し、その形態に関しては過去に解剖学的、放射線学的手法で多くの報告がなされてきた。SakataらによるとBAからのperforating arteryは①lateral pontine artery (circumferential perforating artery)と②perforating artery (paramedian perforating artery)とに分類され、circumferential perforating arteryにはpontomedullary artery, large lateral pontine artery, posterolateral arteryが、paramedian perforating arteryにはcaudal perforating artery, middle perforating artery, rostral perforating arteryが含まれ、それぞれの起始と分布は以下の形態を呈する(4) (Fig.2).

①lateral pontine artery (circumferential perforating artery)

BA trunkから分岐し、橋を外側に走行し、橋および中小脳脚に微細なperforating arteryを分岐する分枝群。

•pontomedullary artery

pontomedullary sulcusレベルに通常1本存在し、pontomedullary sulcusに沿って外側に走行し、延髄のrostromedial partで終枝する。

•large lateral pontine artery

BA trunkの遠位1/2から起始し、通常一側に1-3本存在する。橋の腹側表面を外側に走行し、橋外側面や中小脳脚で終枝する。

•posterolateral artery

通常はSCA起始部のすぐ尾側から起始し、SCAと併走して外側に走行し、橋のrostromedial partに終枝する。

②perforating artery (paramedian perforating artery)

BA trunkから分岐し、橋の脳底側正中に分布する分枝群。

•caudal perforating artery

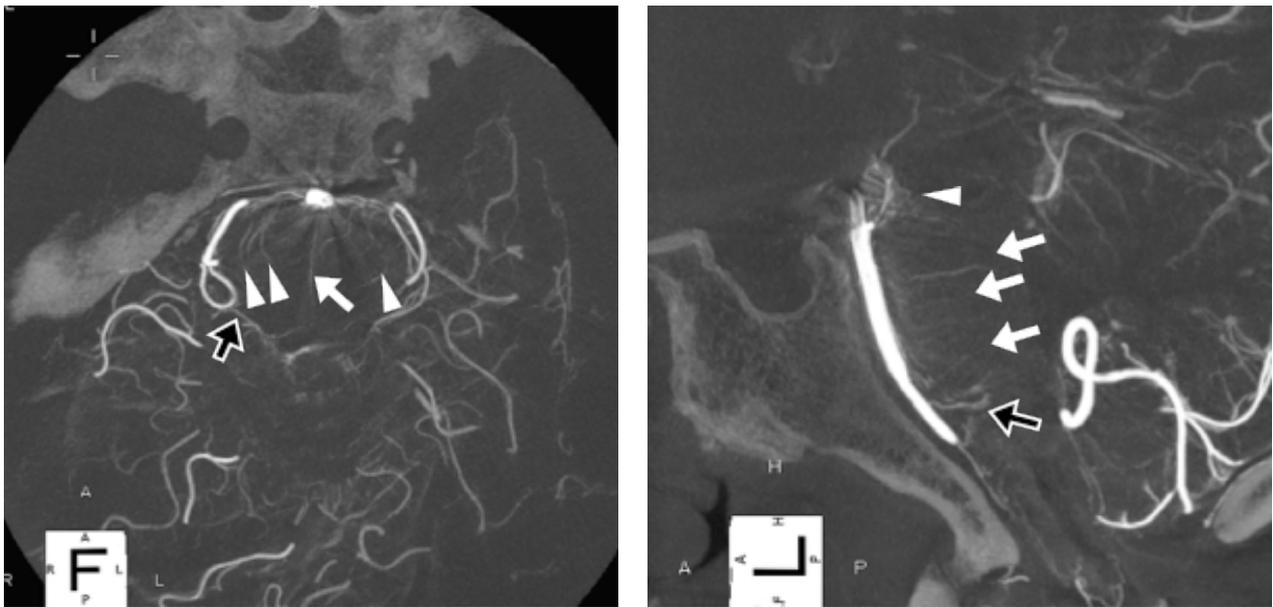
BA trunkの最も近位から起始し、1-4本存在する。foramen cecumから脳実質に入り、主に外転神経核や内側縦束、橋毛様体の尾内側を栄養する。

•middle perforating artery

BA trunk中部から分岐し、5-9本と多く存在する。Basilar sulcusのedge部分からpons内に入り、錐体路、内側毛帯の一部、橋毛様体の内側の一部、内側縦束の正中部分を栄養する。

•rostral perforating artery

BA trunkの最も遠位から分岐し、1-5本存在する。SCA根部から分岐することもあり、まれに一側が欠損することもある。Interpeduncular cisternを走行し、interpeduncular fossaから脳内に入る。これらはPCAから分岐するmesencephalic perforatorのすぐ尾側に位置する。



(a)

(b)

Fig.2 3D-DA partial MIP像にて描出される, BAからのperforating artery.

Axial image(a)にてmiddle perforating artery (白矢印)とlateral pontine artery (矢頭), SCAに伴走するposterolateral artery (黒矢印)が描出されている。

Midline上のsagittal image (b)ではmedian perforating arteryであるrostral perforating artery (矢頭), middle perforating artery (白矢印), caudal perforating artery (黒矢印)が同定できる。

【Vertebral arteryからのperforating branch】

Vertebral artery (VA)からのperforating arteryは, anterior spinal artery (ASA), VA trunk, pial artery (PICA)から起始する。ASAからのperforatorは分岐後に延髄前面を横走あるいは斜走して錐体路を横切り, median sulcusから脳実質内にはいるものと, sulcus外側から直接錐体路に入るものがある。Marinković SVらの22体のcadaver studyによると, ASA (両側VAからのvascular rootおよび合流後のmain trunk)からのperforatorは, ほぼ全例 (root: 95%, trunk: 100%) にみられる一方で, VA trunkからは1-3本のperforating arteryが54%にみられたと報告している (5)。

著者らはJSNET2018における共同研究にて, VA trunkに病変の無い120例の3D-DSA施行例から, perforating arteryの存在および分岐形態の検討を行って報告した。VA trunkからのperforating arteryは118例で同定され, 過去のcadaver studyより高頻度に存在していた。それには分岐後に同レベルで脳実質に終枝するterminal typeと脳実質に沿って頭尾方向に走行するlongitudinal typeが同定され, 後者はlateral spinal artery (LSA)に相当するものと思われた。また, 同定されたperforatorはnon-PICA type VA (AICA-PICA type VA)で有意に多く存在していた (non-PCA type VAとPICAを有するVAでのperforator本数の検定で $p < 0.001$)。その穿通枝分岐の傾向からは, これまでruptured VA dissecting aneurysmに対して標準的に施行されてきたinternal trappingは, non-PICA type VAでは注意すべきと思われる結果が得られている。

【Perforating arteryの吻合】

Perforating arteryはその構造上, 閉塞性病変の際に容易に支配領域が虚血に晒されるが, perforating artery間の吻合も存在し, 側副路として機能することもある。Marinković SVらはcadaver studyにてperforator間の吻合に着目した検討も行っている (6)。PCAからのperforating artery間の吻合は75%と高頻度にみられ, またそれらとthalamogeniculate arteryやBA trunk/SCAからのperforator (rostral perforating artery)との吻合も豊富に見られたと報告している (Fig.3)。また一方でACAやMCA, Heubner's arteryからのperforating artery間には脳実質外での吻合は稀としている。ただし, 後者の

perforating artery間には末梢側の脳実質内のsegmentで20-30 μ m程度の微細な吻合が存在するとも報告しており、Willis動脈輪閉塞症ではcollateral circulationとして機能する。

【脳の発生学とperforating artery】

脳血管の発生についてはPadget DHの文献に詳細な記載とschemaが報告され、多くの文献で引用されている(7)。言うまでもなくmacroscopicな観察研究であり、髄膜内血管構築に関する記載はない。Marín-Padillaらは脳実質への血管構築を①extracerebral meningeal compartment, ②intracerebral extrinsic microvascular compartment, ③intracerebral intrinsic microvascular compartmentと分類し、perforating arteryは①extracerebral meningeal compartmentのpial lamellaに存在するpial capillary anastomotic plexus (PCAP)から形成されることを、光学および電子顕微鏡所見を元に解説している(8)。胎生初期の神経組織は酸素をpial capillaryから拡散によって得ているが、発達に伴って神経組織深部への栄養には穿通枝が必要となる。

前述のPCAPはヒトの脳では胎生6-7週から同定され、3-7 μ mのcapillaryを含む7-9 μ m厚のfragileな層とされる。脳の発達の過程でfilopodia (糸状仮足)を脳実質に伸ばし、内皮細胞の分裂増殖とともに、髄膜細胞や膠原線維を伴ってVirchow-Robin spaceを形成しつつ穿通枝が形成される(fig.4,5)。この所見は初期の電顕による観察に基づいた報告にも記載されている(9)。

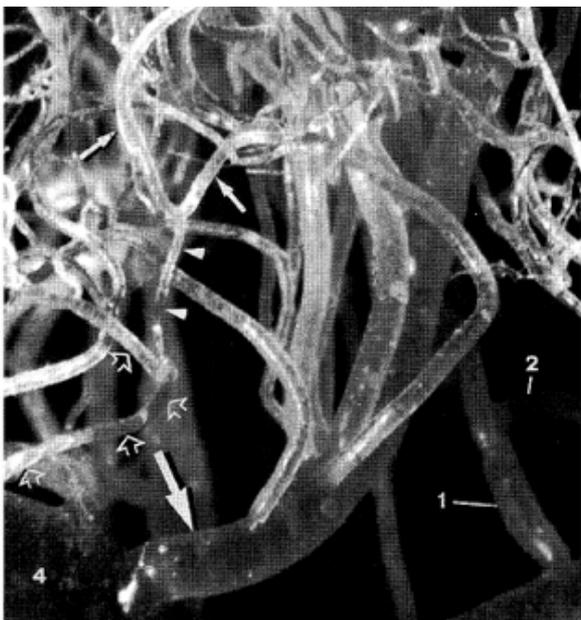


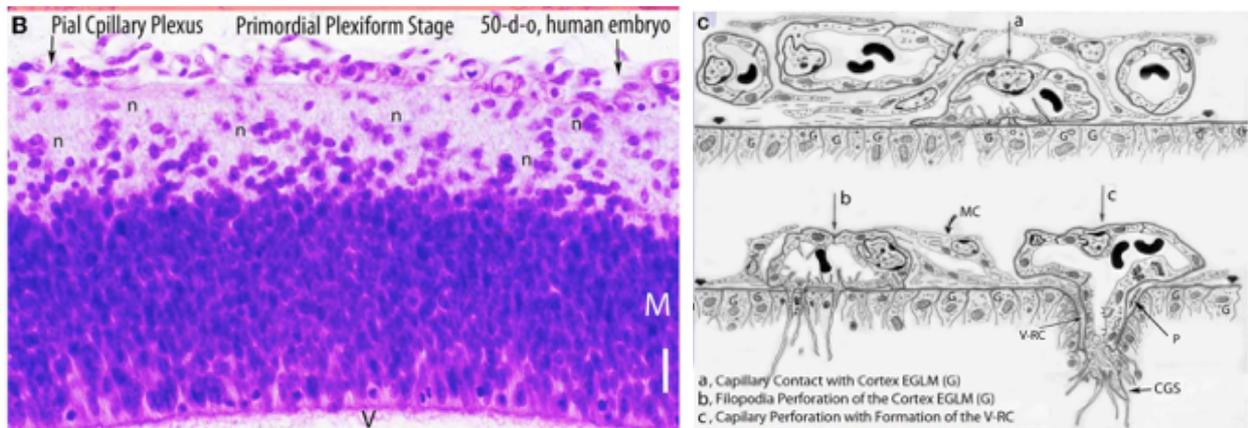
Fig.3 Interpeduncular spaceでのperforator間の吻合(文献6より転載)
2本のperforating artery (small arrow, open arrow)間に存在するanastomotic channel (arrowheads)が描出されている。

【結語】

過去のperforating arteryに関する解剖の文献報告に基づき、我々はその解剖学の知識によってperforatorの存在を認識しつつ、これまで治療に望んできた。しかし近年の画像診断装置の高性能化に伴い、治療前に対象領域のperforatorの存在と走行の形態を把握することも可能となってきた。治療の際には、過去のperforatorに関する解剖学的検討の知識に加えて、画像上描出されるperforatorの存在と形態を丹念に検討して治療を行うことが重要と思われる。

Human cerebral cortex vascular system components

1. Extracerebral meningeal compartment
 - (a) Dural lamella: main venous sinuses
 - (b) Arachnoidal lamella: main arteries and veins
 - (c) Pial lamella: pial capillary anastomotic plexus (PCAP)
2. Intracerebral extrinsic microvascular compartment
 - (a) Perforating capillaries (eventually arterioles and venules)
 - (b) Virchow-Robin space, the cortex drainage (prelymphatic) system
3. Intracerebral intrinsic microvascular compartment
 Intrinsic capillary anastomotic plexus between contiguous perforators, the cortex blood brain barrier (BBB)



(a)

(b)

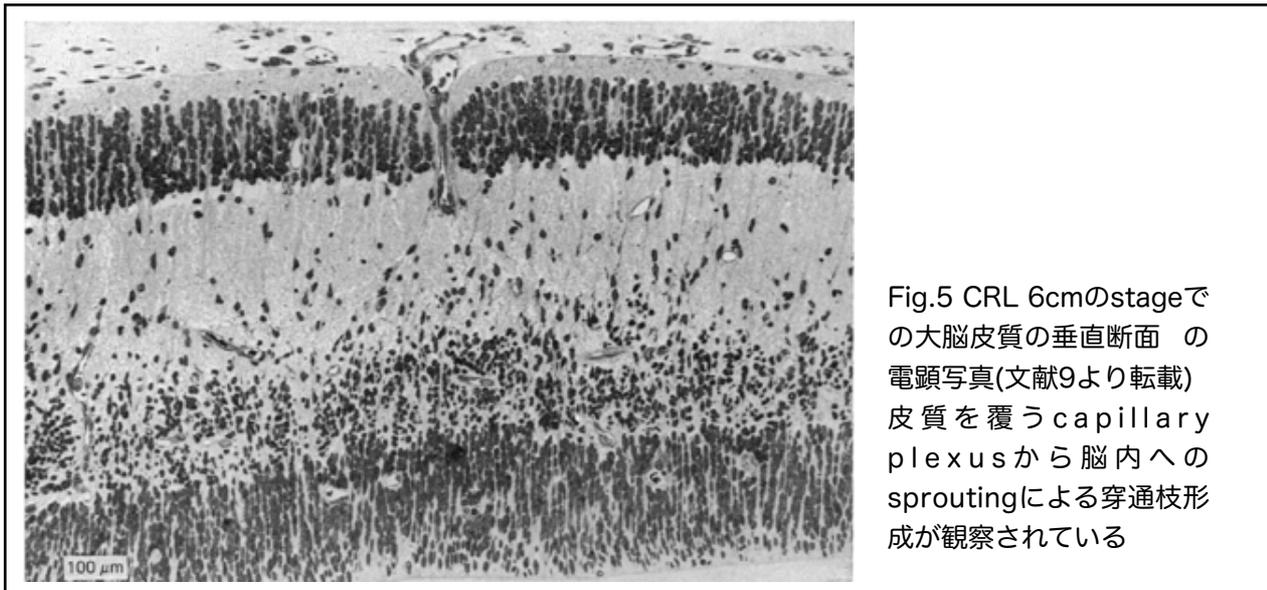
Fig.4 脳の発達過程でのperforating arteryの形成 (文献8より転載)

a) 胎生50日の脳実質のH.E.写真.

脳実質は, matrix zone (M)の外層に様々なneuron (n)が存在し, その表面をpial capillary anastomotic plexusが覆う. V, ventricle.

b) sproutingによるperforating artery形成のschema.

脳実質はgliaのendfeetからなるexternal glial limiting membrane (EGLM)に覆われ (G), pial capillaryが接して存在する. endothelia cellの糸状仮足がEGLMを内に侵入し(b), endothelial cellの実質内への増殖とともにmeningeal cell (MC)も伴ってperforating arteryとVirchow-Robin component (V-RC)を形成する.



【参考文献】

1. Djulejić V, et al. Common features of the cerebral perforating arteries and their clinical significance. *Acta Neurochir (Wien)*. 2015 Sep;157(8):1393. doi: 10.1007/s00701-015-2462-0. Epub 2015 Jun 13.
2. Caruso P, et al. Complex neurological symptoms in bilateral thalamic stroke due to Percheron artery occlusion. *Vasc Health Risk Manag*. 2016, 13:11-14.
3. Khanni JL, et al. Artery of Percheron Infarct: An Acute Diagnostic Challenge with a Spectrum of Clinical Presentations. *Cureus*. 2018 Sep 10;10(9):e3276. doi: 10.7759/cureus.3276.
4. Sakata S. Microsurgical anatomy of the basilar artery: Surgical approaches to the basilar trunk and vertebrobasilar junction aneurysms. *Kor J Cerebrovasc Dis*. 2001 Mar 3;1:5-10.
5. Marinković SV, et al. Microsurgical Anatomy of the Perforating Branches of the Vertebral Artery. *Surg Neurol* 2004;61:190-197.
6. Marinković SV, et al. Anastomosis among the perforating arteries. *Surg Cereb Stroke* 1997;25:339-343.
7. Padget DH. The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contribution to Embryology*. Carnegie Inst, Wash Pub; 207-260,1948.
8. Marín-Padilla M. The human brain intracerebral microvascular system: development and structure. *Front Neuroanat*. 2012 Sep 13;6:38. eCollection 2012.
9. Allsopp G, et al. Light and electron microscopic observations on the development of the blood vascular system of the human brain. *J Anat* 1979;128;3:461-477.