

脳静脈の機能解剖

小宮山 雅 樹

Functional Anatomy of the Cerebral Veins

by

Masaki Komiyama, M.D.

from

Department of Neurosurgery, Osaka City General Hospital

Development of the cerebral veins does not parallel that of the cerebral arteries. Paired primary head veins that develop at both sides of the neural tube collect blood from the primitive dural plexuses. After the closure of the neural tube, initial choroidal drainage to the median vein of prosencephalon is transferred to the paired internal cerebral veins and the great vein of Galen. Dorsolateral enlargement of the cerebrum requires development of the tentorium cerebelli. The tentorial sinus within the tentorium initially receives blood transversely from the telen-cephalon, diencephalon, and mesencephalon, and transfers its role to the longitudinally formed basal vein (basal vein capture). Superficial cerebral veins (Sylvian, Trolard, and Labbé) establish enough cortical anastomoses to each other. Subsequently, the superficial Sylvian vein draining to the tentorial sinus is captured to the cavernous sinus to a variable degree following distal regression of the tentorial sinus. Variations of drainage patterns of the basal vein, cavernous sinus capture, collateral at the base of the brain (Trolard circle), and the development of transcerebral medullary veins provide various clinical pictures in cerebral venous pathologies. An understanding of the functional anatomy of the cerebral veins is essential for the interpretation of the pathophysiology of the cerebral venous diseases and for administering safer treatment.

(Received June 26, 2009 ; accepted June 30, 2009)

Key words : cerebral vein, dural sinus, embryology, functional anatomy

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 18 : 821-829, 2009

はじめに

脳血管内治療において脳血管の機能解剖の理解は重要であり、脳動脈や脊髄動脈の動脈系に関しては注目されてきた^{10)12)~14)}。しかし、脳静脈系の機能解剖も同様に重要である。脳動脈系と異なり脳静脈系の機能解剖は、治療戦略としてよりも病態把握により重要である。脳動脈系と同じように、個体発生 (ontogeny)¹⁸⁾²³⁾や系統発生 (phylogeny)⁴⁾⁸⁾の知識はその機能解剖の理解を助ける。

CT/MR の普及とともに、脳血管撮影で病変の局在診断をする古典的な手法は必要ではなくなり、より機能的な解剖の読影が要求されるようになった⁹⁾。これらの知見は新しいものではなく、1960~1970 年代の脳血管撮影の知見の焼き直しである⁵⁾⁶⁾。種々の脳静脈構築の variation, 静脈系の狭窄・閉塞や動静脈シャントの存在下で、そこを順行性・逆行性に流れる正常な静脈血流やシャント血流の理解、つまり脳静脈の機能解剖の理解が重要となってきた。今回、より安全な脳血管内治療を行うため

大阪市立総合医療センター脳神経外科/〒534-0021 大阪市都島区都島本通 2-13-22 [連絡先: 小宮山雅樹]

Address reprint requests to: Masaki Komiyama, M.D., Department of Neurosurgery, Osaka City General Hospital, 2-13-22 Miyakojima-hondori, Miyakojima-ku, Osaka-shi, Osaka 534-0021, Japan

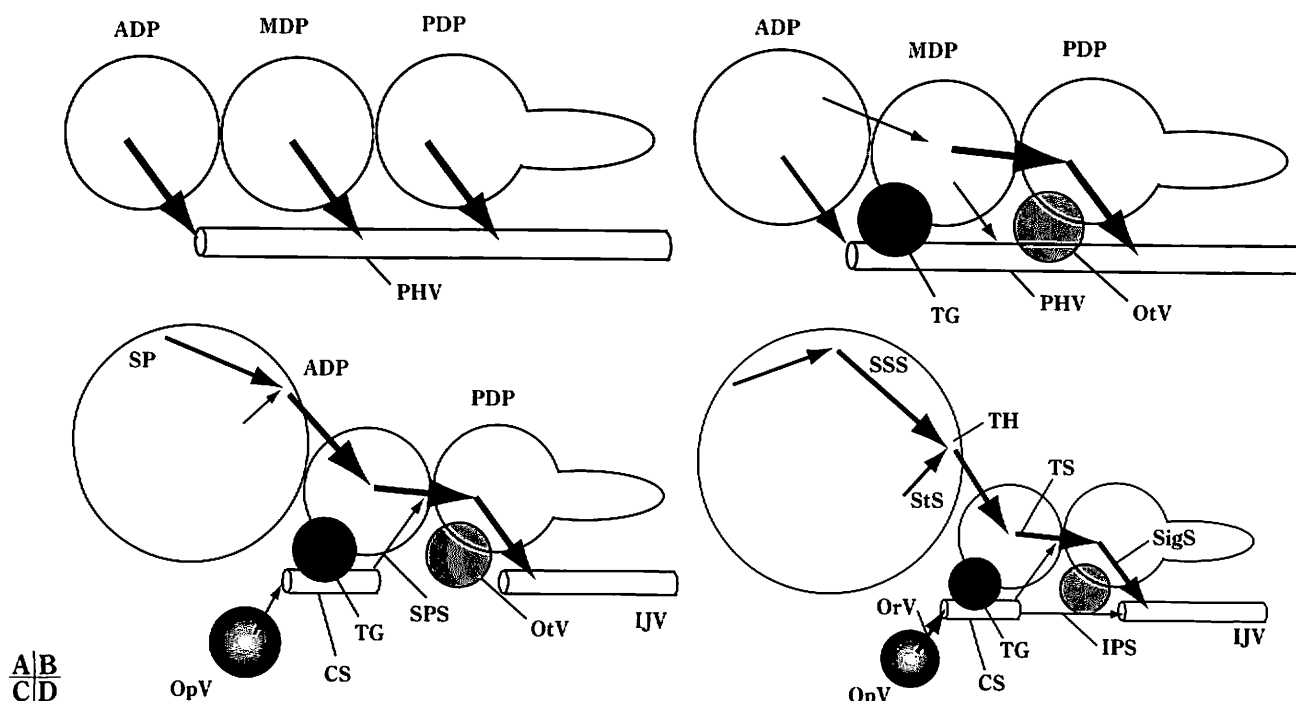


Fig. 1 Embryology of the cerebral dural sinuses

- A :** At the stage of Crown-Rump Length (CRL) 4 mm. Three primitive dural plexuses drain into the primitive head vein.
- B :** At the stage of CRL 18 mm. Due to the outgrowth of the otic vesicle and trigeminal ganglion, the course of the primitive head vein becomes unfavorable, leading to the new anastomosis formation dorsal to the otic vesicle (future transverse-sigmoid sinus). The middle dural plexus drains into the posterior one. The anterior dural plexus fuses with the middle one and drains into it.
- C :** At the stage of CRL 21 mm. After segmental occlusion of the primary head sinus between the trigeminal ganglion and otic vesicle, the original stem of the middle dural plexus (now the superior petrosal sinus) receives the retrograde flow from the cavernous sinus to the newly established transverse sinus.
- D :** At the stage of CRL 50 mm. Inferior petrosal sinus appears. From the anterior dural plexus, the sagittal plexus develops forming the superior sagittal sinus. The straight sinus is also formed from the sagittal plexus.

ADP; anterior dural plexus, CS; cavernous sinus, IJV; internal jugular vein, IPS; inferior petrosal sinus, MDP; middle dural plexus, OpV; optic vesicle, OrV; orbital vein, OtV; otic vesicle, PDP; posterior dural plexus, PHV; primary head vein, SigS; sigmoid sinus, SP; sagittal plexus, SPS; superior petrosal sinus, SSS; superior sagittal sinus, StS; straight sinus, TG; trigeminal ganglion, TH; torcular Herophili, TS; transverse sinus

の脳静脈の機能解剖について概説したい。

脳硬膜静脈洞 (dural sinus [vein]) の発生

発生初期の脳の表在性の毛細血管叢の導出は、一対の **primary head vein (vena capita lateralis)** が担い、神経管の両側に頭側は中脳から、尾側は心臓に流入する duct of Cuvier (common cardinal vein) まで形成される²³⁾。この primary head vein は、神経管の表層に形成される毛細血管層からの血液を導出し、以下の3つの plexus がある: anterior dural plexus (anterior group), middle dural plexus (cerebellar group), posterior dural plexus (occipital group)。これらはそれぞれ, telencephalon + diencephalon + mesencephalon, metencephalon, myelencephalon の毛細血管叢

に相当し、初期には telencephalon は発達していない (Fig. 1A)。次に聴胞 (otic vesicle) と三叉神経節 (trigeminal ganglion) が急速に発達するため、聴胞の外側と三叉神経節の内側を走行する primary head vein はその初期走行の変更を迫られ、聴胞の背側に新たな流出路の吻合が形成され, middle dural plexus は posterior dural plexus へ導出されるようになる (Fig. 1B)。Anterior dural plexus と middle dural plexus とは融合し、新たに形成された聴胞の背側のルートを通り導出されるようになる。脳の発達とともに primary head sinus が神経根をまたぎながら、内側から側方 (外側) へと移動する (**lateral migration**)。三叉神経節と聴胞間の primary head vein は閉塞し、海綿静脈洞部と内頸静脈 (internal jugular vein) となる頸部部分のみが残る。眼胞 (optic vesicle) からは、眼静脈 (orbital

vein) を介して海綿静脈洞に導出されるようになる。Anterior dural plexus の基部 (stem) は, middle cerebral veins と海綿静脈洞の間の吻合として残る (Padget¹⁸⁾ はこの部は消退し, その役割は, 小さな dual sinus で, 後に発達する primitive tentorial sinus へ移行するとしている)。海綿静脈洞からは当初の middle dural plexus の基部を逆流する上錐体静脈洞 (superior petrosal sinus) が形成され (Padget¹⁸⁾ はこの部を **pro-otic sinus** と記載し, 血流方向は同様に逆転するとしている), 聴胞の背側に形成された横静脈洞 (transverse sinus) (sigmoid sinus は横静脈洞の尾側部と考える) へ流入するようになる (Fig. 1C)。さらに下錐体静脈洞 (inferior petrosal sinus) が形成される。終脳が大きく拡大するため, anterior dural plexus から前方に向け sagittal plexus (上矢状静脈洞 [superior sagittal sinus]) が形成され, さらにその腹側には直洞 (straight sinus) が形成され, torcular Herophili に集まる (Fig. 1D)。Posterior dural plexus は最終的に occipital sinus になる (Padget¹⁸⁾ によると, posterior dural plexus は marginal sinus になり, occipital sinus は middle dural plexus と posterior dural plexus 間の吻合の遺残とされる)。上矢状静脈洞は左右にある 2 つの静脈 channel から形成されるが, 一方が拡大し, 他方が退縮する様式¹⁸⁾ と両者が融合する様式²³⁾ が考えられている。

横静脈洞は, 胎生 3 カ月の頃はまだ小さく, 大脳半球の発達とともにその位置はさらに下降していく。その径は胎生 4.5 カ月まで一律であるが, この頃, 外側から拡張 (ballooning) を始め, 1~1.5 カ月の間に正中の torcular Herophili に達する。この ballooning は上矢状洞の遠位部や上錐体静脈洞にも及び, 横静脈洞の拡張は胎生 7 カ月には停止する。横静脈洞は, 出生後 1 歳までに径が減少し, 大人の形態に近づく¹⁶⁾。この硬膜静脈洞の形成過程での異常により **dural sinus malformation** (硬膜動静脈瘻の一型) が起こり, 多数の meningeal artery が著明に拡張した静脈洞に動静脈シャントを作る。横静脈洞から torcular Herophili の部位に起こることが多く, 出生前に診断されることも多い¹¹⁾。

小脳テントと primitive tentorial sinus

小脳テント (tentorium cerebelli) は, 大脳 (cerebral hemisphere) と小脳 (cerebellar plate) (大脳より発達が遅れる) を分ける構造で, 小脳を上からカバーするとともに, 後頭葉を下から支持し, 大脳半球の重量を支えるために発達した。Tentorial hiatus の前半分には中脳があり, 後ろ半分には脳梁膨大部 (splenium of corpus callo-

sum) がある。この小脳テントは, 鳥類と哺乳類では認められるが, 魚類, 両生類, 爬虫類では認められない。小脳テントは, 脳幹周囲の **cerebro-cerebellar fissure** の両側に硬膜の折れ込みとして系統発生学的には比較的新しく出現した構造であり, その後, 脳幹の背側で融合し, さらに直洞により延長する経過をたどる⁸⁾。大脳鎌 (falx cerebri) の後方がテントにつながって初めて直静脈洞が発達することや, 哺乳類の中でネコだけにテントの骨化が認められるのは興味深い。下等動物では, 頭蓋骨の底面全体で脳の重さを支えているが, 立位歩行をする動物では脳底全体で支えることができず, 小脳テントによる支えを必要とし, 哺乳類では後頭葉の発達も関連している³⁾。

小脳テントの発生は, 脳静脈の発生を理解するうえで重要である。発生初期にその中を走る primitive tentorial sinus が anterior dural plexus の重要な導出路であり, それが脳底静脈 (basal vein) に移行されるため, その過程での variation がそのまま脳底静脈を中心とする深部静脈系の variation となる。また tentorial sinus と superficial telencephalic vein の関係も, その後の大脳の表在静脈系の導出パターンに脳底静脈に関係してくる。ヒトの tentorial sinus は, 他の哺乳動物での嗅球からの静脈や中大脳静脈を集め, 横静脈洞に導出する後嗅脳静脈 (posterior rhineocephalic vein) に相当する。

脳静脈 (pial vein) の基本構築

テント上の静脈系は, 表在性脳静脈と深部脳静脈に分類できる。前者は新皮質 (neocortex) からの静脈を集めるともいえる。テント下の静脈系は, 上方 (superior Galenic drainage), 前方 (anterior petrosal drainage), 後方 (posterior tentorial drainage) に導出する 3 系統の静脈に分類できるが, 発生学的に anterior drainage が基本形である。また, テント上, テント下ともに, 表在性脳静脈と深部脳静脈の間には, 髄質静脈 (medullary vein) があり, 脳表と深部の静脈間の重要な側副路となりうる。

① テント上の表在性脳静脈

終脳は哺乳類の発生過程で外側後方に向け大きく体積を増すため, superficial (lateral) telencephalic vein と deep (medial) telencephalic vein の 2 静脈を介し血流を導出するようになる。Deep telencephalic vein (deep middle cerebral vein) は, fetal Sylvian fissure 内の pial vein であり, 脳底静脈の first segment に流入する。Superficial telencephalic vein は, dural origin の脳表の静脈として, superficial Sylvian vein (superficial middle cerebral vein) を介し

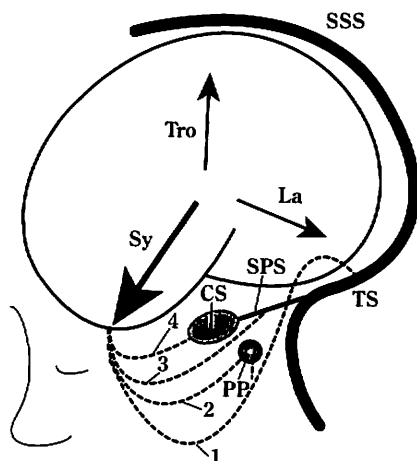


Fig. 2 Superficial cerebral veins and drainage patterns of the superficial middle cerebral vein

Vein of Trolard (Tro, frontoparietal vein), superficial Sylvian vein (Sy, superficial middle cerebral vein) and vein of Labbé (La, temporooccipital vein) have enough anastomoses to each other. Drainage patterns of the superficial middle cerebral vein are toward the paracavernous sinuses: transverse sinus (TS) through the sphenobasal vein (route 1), pterygoid plexus (PP) through the basal foramina (route 2), superior petrosal sinus (SPS) through the sphenopetrosal vein (route 3), or the cavernous sinus (CS) (route 4). Basal foramina for route 2 include the foramen ovale and foramen Vesalius. Route 4 is the most mature form and called cavernous sinus capture.

て脳静脈洞に導出される。さらに拡大する大脳の静脈還流を行うために、anterior anastomotic vein of Trolard (frontoparietal vein or precentral vein) と posterior anastomotic vein of Labbé (temporooccipital vein) が発達し、上矢状静脈洞や横静脈洞に導出される。後二者の静脈は、great anastomotic vein と呼ばれるように、superficial Sylvian vein と大脳半球の表面で reciprocal な関係を保ちながら吻合している (Fig. 2)。Anterior dural plexus の基部は退縮し、その領域からの還流の一部を担うようになる superficial middle cerebral vein は、primitive tentorial sinus に流出するようになるが、その退縮とともに導出パターンが変化し、cavernous sinus drainage や paracavernous sinus drainage (superior petrosal sinus, transverse sinus, pterygoid plexus への drainage を合わせたもの) の形をとる。つまり個体によりその海綿静脈洞への導出の度合いやパターンが異なる。Superior petrosal sinus に向かう場合、sphenopetrosal vein と呼ばれ、transverse sinus に向かう場合、sphenobasal vein と呼ばれる。

Middle meningeal vein の流出路である sphenoparietal sinus of Brechet には、古典的な記載どおり、superficial

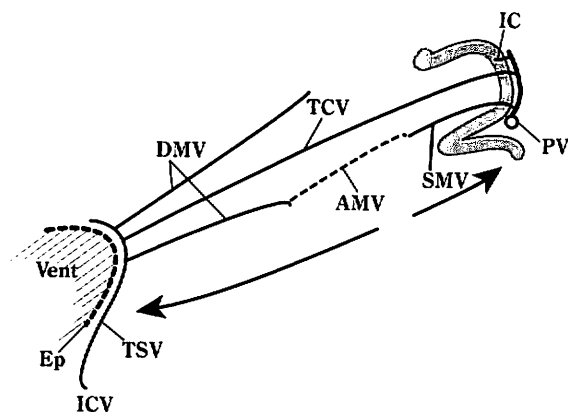
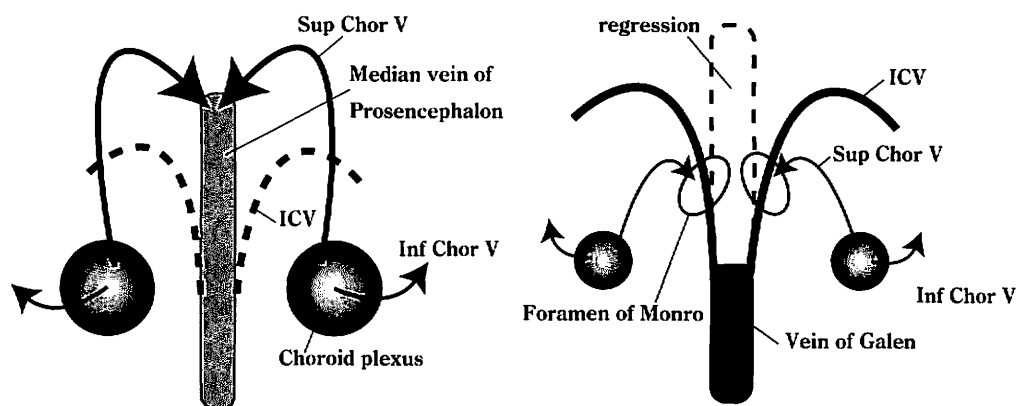


Fig. 3 Medullary veins

Two types of medullary veins are shown: the superficial medullary vein (SMV) and deep medullary vein (DMV). In addition, the anastomotic medullary vein (AMV) intervenes between the SMV and short DMV, and the transcerebral vein (TCV) connects the pial vein (PV) of the brain surface to the subependymal vein at the supero-lateral corner of the lateral ventricle (longitudinal caudate vein). Arrows indicate basic flow patterns of the medullary veins.

Ep; ependyma, IC; intracerebral vein, ICV; internal cerebral vein, TSV; thalamostriate vein, Vent; ventricle

middle cerebral vein が流入する medial type, 海綿静脈洞に直接流入せず、海綿静脈洞の外側の硬膜間の laterocavernous sinus に流入する intermediate type, まったく海綿静脈洞の外側を走行する lateral type に分けられる²¹⁾。これは発生学的には、superficial middle cerebral vein が、そのまま tentorial sinus に流入する古いパターンが残存するか (Fig. 2 の route 1)、それともより新しいパターンである海綿静脈洞に取り込まれる “cavernous sinus capture” が起こるか (Fig. 2 の route 4) で説明される。眼静脈からの導出は medial route が使われ、大脳半球からの導出は、基本は lateral route が使われる。この cavernous sinus capture は出生後に発達するとされるが、実際はより早い時期に発達する可能性が高い。中頭蓋窩からの流出路は、sphenoidal emissary vein (of the foramen ovale) や accessory sphenoidal emissary vein (of the foramen of Vesalius) を経由し頭蓋外に出て、顔面や頭蓋外の静脈と一緒に外頸静脈 (external jugular vein) を形成する。多くの哺乳類ではこの外頸静脈が主な流出路となり、内頸静脈が相対的に小さいため、前者は spurious jugular vein と呼ばれる (spurious: 偽の)。幼児の硬膜動静脈瘻 (infantile dural arteriovenous fistula) は、横静脈洞の閉塞が起こりやすく、静脈還流は上矢状静脈洞から superficial middle cerebral vein を逆流し、海綿静脈洞に入り、さらに眼静脈への導出ルートをとることがあり



A/B

Fig. 4 Embryology of the internal cerebral vein

- A : Initial choroidal drainage to the ventral diencephalic vein through the inferior choroidal vein (Inf Chor V) is converted to the superior choroidal vein (Sup Chor V), which is drained to the median vein of prosencephalon. Illustrations are of a vertex view.
- B : Blood from the basal ganglia to the internal cerebral vein (ICV) increases, and the ICV captures the superior choroidal vein after cranial regression of the median vein of prosencephalon. Remnant of the median vein becomes the vein of Galen.

重要な側副路となる。これにより精神発達の遅延だけでなく、眼球突出や鼻出血が認められる。

② 髄質静脈 (medullary vein)

大脳の parenchyma における脳室から大脳皮質へ続く medullary venous pattern の形成は, germinal layer から大脳皮質までの神経細胞移動 (neuronal migration) と強く関連している。この神経細胞移動は、胎生 8 週に始まり、おおむね 16 週頃に終了するが、その後もわずかであるが 25 週まで続くといわれる。大脳の medullary vein は、白質内に存在し、その部位と血流の方向により superficial group と deep group に分けることができる (Fig. 3)。Superficial medullary vein は灰白質の 1~2 cm 下から始まり、脳表の pial vein に導出する。Deep medullary vein は前者より太く、superficial group をほぼ同じ部位から始まり、側脳室に向かい、subependymal vein に流入する。脳表の pial vein から傍脳室の subependymal vein まで連続する場合は、intracerebral anastomotic vein や transcerebral vein と呼ばれる⁵⁾。

Medullary vein の extreme variation が、developmental venous anomaly、いわゆる venous angioma であり、abnormality ではないといわれる¹⁵⁾。動静脈シャント疾患での leptomeningeal reflux や静脈洞閉塞などの病的状態の時に、この medullary vein が深部静脈系と脳表静脈の間の側副路になることがある。病態によってどちらの方向にも流出が可能である。例えば、硬膜動静脈瘻に両側横・S 状静脈洞閉塞が合併した症例では、直静脈洞→内大脳静

脈→上衣下静脈→medullary vein→側頭葉内側の皮質静脈→海綿静脈洞→眼静脈のルートが認められることがあり、海綿静脈洞部の硬膜動静脈瘻に皮質逆流が合併した症例では、海綿静脈洞→深中大脳静脈→前大脳静脈→medullary vein→上衣下静脈→septal vein→内大脳静脈のルートが認められることがある。

③ テント上の深部脳静脈

脳深部の静脈系は、脳表の静脈よりもその走行には variation は少なく、中心に向け、その太さを増しながら、subependymal vein に集まり、さらに内大脳静脈または脳底静脈に集まり、最終的にガレン大静脈 (vein of Galen) から直静脈洞へ導出される。内大脳静脈系と脳底静脈系に分類でき、これらは発生初期の脳室内の脈絡叢からの流出路として、内大脳静脈系が superior choroidal vein、脳底静脈系が inferior choroidal vein からの静脈流出路と考えることができる。Deep medullary vein は傍側脳室に向かい、subependymal vein に直接入るが、そうでない場合は、脳室の上外側の longitudinal caudate vein of Schlesinger に入り、さらに thalamostriate vein に入る。Subependymal vein は、脈絡裂 (choroidal fissure) を境に内側群 (medial group) と外側群 (lateral group) に分けることができる。

1. 内大脳静脈系

神経管が閉塞する胎生 26 日以降は、神経管の表面の meninx primitiva と神経管の内部の choroidal plexus が重要な栄養の供給ルートとなり、後者の栄養は anterior

choroidal artery が行い、その drainage には、当初 **inferior choroidal vein** から **ventral diencephalic vein** へ流出するが、その後 (CRL 40 mm の頃) **inferior choroidal vein** から **superior choroidal vein** へその役割を移し、間脳の背側に形成される 1 本の **median vein of prosencephalon of Markowski (primitive internal cerebral vein)** が血流を集めるようになる (Fig. 4A)。さらに **basal ganglia** の発達とともに、そこからの血流が増え、一対の内大脳静脈 (**internal cerebral vein**) が発達し、**median vein of prosencephalon** の後方につながり、第 11 週までには内大脳静脈が **median vein of prosencephalon** に置き換わり、脈絡叢の灌流は内大脳静脈を介することになる (**choroidal drainage of the internal cerebral vein capture**)。内大脳静脈の **median vein of prosencephalon** への接合点より前方は退縮し (**cranial regression**)、後方が残存しガレン大静脈となり、直静脈洞と結ぶ (Fig. 4B)。内大脳静脈系の静脈である **thalamostriate vein**, **septal vein**, **superior choroidal vein** は、**interventricular foramen of Monro** で集まり、内大脳静脈に流入するようにみえるが、発生学的には脈絡叢からの還流が **superior choroidal vein** とそれに連続する内大脳静脈に流出するとみることができる。

内大脳静脈の形成過程で **median vein of prosencephalon** が遺残した場合、**vein of Galen aneurysmal malformation (VGAM)** となる²⁰⁾。その動静脈シャントは **choroidal fissure** 内のクモ膜下腔に存在し、多数の栄養動脈が一度集まり静脈瘤に流入する **choroidal type** と数本の栄養動脈が直接、静脈瘤の壁に流入する **mural type** があり、前者のほうがより未熟な血管構築とされ、その移行型も存在する。基本的にその導出路と正常な深部静脈系とのつながりはない。直静脈洞の無形成や **falcine sinus** の遺残が認められることが多い。正常なガレン静脈系に脳動静脈奇形や動静脈瘻のシャント血流が流入し、ガレン大静脈が拡張する **vein of Galen aneurysmal dilation (VGAD)** との鑑別は重要である。深部静脈系とのつながりがあることが VGAM との鑑別点であるが、**falcine sinus** の存在は鑑別点にならない。

2. 脳底静脈系

脳底静脈の発生は、他の脳静脈の形成より遅れ胎生 3 カ月の頃に始まる。それまで主に **primitive tentorial sinus** から横静脈洞に導出していた静脈 (**primary transverse cerebral veins**) が、縦方向につながり、2 次的に形成される静脈 (**secondary longitudinal anastomosis**) である。Tentorial sinus の **basal vein capture** と言える。Primary transverse cerebral veins には、**deep middle cerebral vein** や **anterior cerebral vein** などの **telencephalic vein** や

脈絡叢からの **ventral diencephalic vein**, **dorsal diencephalic vein**, **posterior mesencephalic vein** などがある。大脳半球が大きくなり、tentorial sinus は延ばされ、遠位部が閉塞すると、脳底静脈にその導出が委ねられる。この時点で、残存する tentorial sinus は、**superficial middle cerebral vein** からの血液を主に導出することになる。

脳底静脈は、3 つの発生学的に異なる部分から形成される。First portion は **telencephalic segment**, second portion は **diencephalic segment**, third portion は **mesencephalic segment** と呼ばれ、その名称にちなむ部位からの静脈流出路になる (Fig. 5A)。発生学的に異なる部位の連続から形成されるため、variation があり、telencephalic segment と diencephalic segment の間は、不連続になることが時々認められ、より頻度は減るが、diencephalic segment と mesencephalic segment の間の不連続も認められる。これを形成不全と呼ぶことがあるが、variation (fragmentation) であり形成不全ではない。Telencephalic segment と diencephalic segment の間は、不連続の場合は、telencephalic segment と近傍の静脈 (**petrosal vein** や **peduncular vein**・**anterior pontomesencephalic vein**) との間に側副路が存在する²¹⁾。重症の頭部外傷・脳出血や脳腫瘍による tentorial herniation は、単に mass effect による脳幹部の圧迫症状だけでなく、tentorial incisura の近傍を走行する脳底静脈の圧迫による静脈の還流障害も重要な要因である¹⁾。

系統発生学的には、ヒトの脳底静脈は、テント上の内大脳静脈やガレン大静脈に導出するのが、最も進化した形 (**medial drainage** または **supratentorial drainage**: Fig. 5B の pattern 1) で、より原始的な導出パターンは、bridging vein から tentorial sinus に導出し、さらに torcular 近傍や横静脈洞に流入する (**tentorial drainage**: Fig. 5B の pattern 2, 3)。最も原始的な導出パターンは、テント下へ **lateral mesencephalic vein** から、**petrosal vein** を介して導出される (**lateral drainage** または **infratentorial drainage**: Fig. 5B の pattern 4)。このように transverse veins が、新しく形成される longitudinal vein に集まり、新しい血管構築が形成されるステップは、その原型は脊髄における intersegmental veins から anterior/posterior spinal veins が形成されるステップと同様であり、脳幹のそれと同様である。横静脈洞や superior petrosal sinus へ導出される場合、脳底静脈は一般的な 3 つの segment からなる形態ではなく、disconnection の variation を伴い、first segment-second segment 間か、second segment-third segment 間の disconnection が存在する。この variation があるため first segment に流入した血流が、ガレン大静脈に

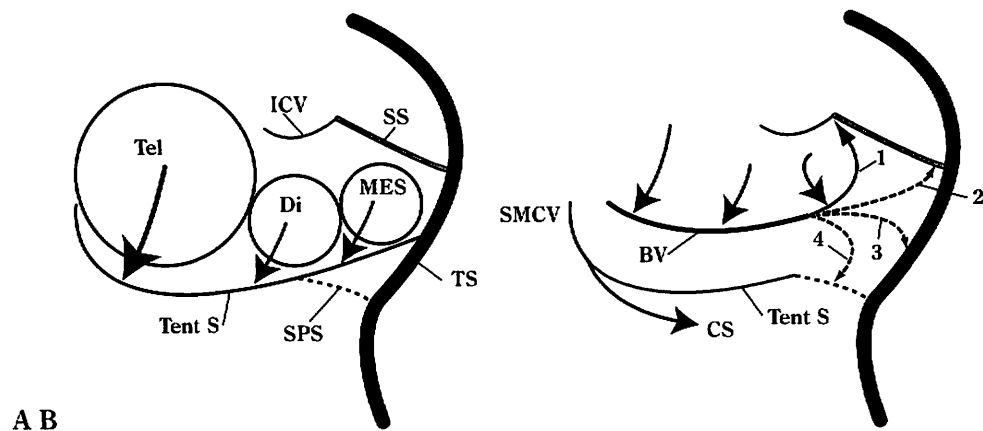


Fig. 5 Embryology of the basal vein of Rosenthal and its drainage patterns

- A :** The telencephalic (Tel), diencephalic (Di) and mesencephalic (MES) veins drain initially to the anterior dural plexus, which subsequently drains into the primitive tentorial sinus (Tent S) in the tentorium cerebelli, and then to the transverse sinus (TS).
- B :** Due to outgrowth of the prosencephalon, the stretched distal portion of the tentorial sinus is obliterated. Thus, the venous return from the telencephalon, diencephalon and mesencephalon are transferred to the newly formed longitudinal anastomoses: the basal vein (BV). Three transverse veins correspond to the telencephalic, diencephalic, and mesencephalic segments of the basal vein. Distal portions of the basal vein indicate the variable drainage patterns: 1, to the vein of Galen or internal cerebral vein (ICV), 2, to the straight sinus (SS) or torcular Herophili, 3, to the transverse sinus, and 4, to the superior petrosal sinus (SPS).
- CS; cavernous sinus, SMCV; superficial middle cerebral vein

流出する場合もあれば, lateral mesencephalic vein を介してか, それ以外に直接 petrosal vein に流出し, 小脳の静脈や petrosal sinus へ流出する場合もある。脳底静脈に variation が多いのは, primary transverse veins よりも発生時期が遅く, secondary longitudinal anastomosis を形成するためである。

VGAM において, 治療により動静脈シャントが消失した場合の深部静脈系の導出路や脳静脈洞血栓症や幼児の硬膜動静脈瘻などで両側の横静脈洞が閉塞し, 直静脈洞を逆流した場合, 深部静脈系の流出パターンには別の深部静脈経路と髄質静脈経路の 2 通り考えられる。前者にも 2 通りあり, VGAM のシャントが治療により閉塞した場合, ガレン大静脈部がないため, internal cerebral vein-superior/posterior thalamic veins-second segment of the basal vein-lateral mesencephalic vein-上錐体静脈洞などを利用して横静脈洞に導出される。右側面像での形状が ϵ (イプシロン) に似るので, ϵ sign と呼ばれる。また深部静脈系の側副路を逆流する場合もあり, 例えば, 直静脈洞閉塞の症例では, ガレン大静脈→precentral cerebellar vein→collateral→petrosal vein→上錐体静脈洞やガレン静脈→internal occipital vein→上矢状静脈洞などの流出路がある。髄質静脈経路は, 硬膜動静脈瘻でよく認められ, transcerebral vein を介し, 深部静脈系が表在脳静脈系に導出される。

3. Trolard の静脈輪と mesencephalic heart

脳動脈に Willis 動脈輪があるように, 脳静脈にも前後, 左右の脳底部の静脈を結ぶ Trolard 静脈輪 (venous circle of Trolard) がある²²⁾。その発達には個体差があるが, 側副路として重要である。前交通静脈-前大脳静脈-深中大脳静脈-脳底静脈の first segment-peduncular vein-後交通静脈で半周する (Fig. 6)。Willis 動脈輪との関係は, 動脈輪のほうが, 静脈輪よりも, より脳底部にある。つまり静脈輪のほうが脳実質に近い側にある (脳動脈は, 脳静脈よりも表層に形成されるのが原則である)。Trolard 静脈の前後像では, 脳幹を取り囲むハート形の側副路 (mesencephalic heart) がある。後交通静脈-peduncular vein-脳底静脈の second and third segments-ガレン大静脈でハートの半分が描かれる。こちらも重要な側副路となる。このように静脈系では側副路が発達しており, 病変部位と異なる部位の症状を呈することがあり (pseudo-localizing signs), 注意が必要である。例えば, 前頭蓋底の硬膜動静脈瘻で, 後頭蓋窩にクモ膜下出血が起こったり, 海綿静脈洞の硬膜動静脈瘻で, 前頭葉や側頭葉に脳出血が起こったりする。

4 後頭蓋窩の脳静脈

後頭蓋窩の静脈の形成も transverse veins が, より後で形成される両側の longitudinal veins に移行される。つま

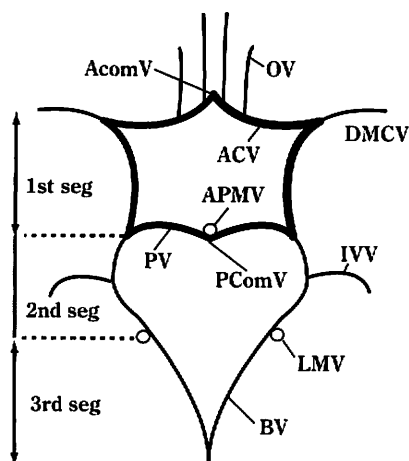


Fig. 6 Venous circle of Trolard and three segments of the basal vein

Similar to the arterial circle of Willis, there is a venous circle of Trolard at the base of the brain. This circle provides transverse and longitudinal anastomoses at the skull base. The venous circle is shown by thick lines. Three segments of the basal vein are shown on the left side. Peduncular veins, the second and third segments of the basal veins form "mesencephalic heart".

AcomV; anterior communicating vein, ACV; anterior cerebral vein, APMV; anterior pontomesencephalic vein, BV; basal vein, DMCV; deep middle cerebral vein, IVV; inferior ventricular vein, LMV; lateral anastomotic mesencephalic vein, OV; olfactory vein, PComV; posterior communicating vein, PV; peduncular vein

り当初, 多数ある transverse veins (metencephalic, myelencephalic veins) が最終的に 3 本の静脈, つまり trigeminal, vagal, hypoglossal veins になり, basilar artery の両側を並走する ventral longitudinal veins に移行される¹⁷⁾. 脳底静脈に disconnection の variation があったように, ventral longitudinal veins に duplication や disconnection の variation が起こりやすいのも, この静脈系の発生様式や時期が遅いことから説明できる。

小脳の発達は大脳より遅れ, その基本の導出静脈は, ventral metencephalic vein が担い, これは脊椎動物の trigeminal vein に相当する。前方に導出されるため anterior cerebellar vein と呼べる petrosal (petrous) vein で, 最も安定した小脳の静脈として上錐体静脈洞に流入する。また遅れて小脳とともに発達する残る小脳の導出路である posterior cerebellar group (superior/inferior/lateral tributaries) は, 横静脈洞に直接流入せず, intratentorial sinus を介して torcular Herophili 近傍の横静脈洞に入る構造をとる。

後頭蓋窩を縦方向に結ぶ静脈が, 腹側の anterior pontomesencephalic vein と anterior medullary vein であり,

側方に anastomotic lateral mesencephalic vein がある。後者は, 発生学的には, ventral mesencephalic vein と ventral metencephalic vein の間の吻合で, 脳底静脈と petrosal vein 間を結ぶ重要な吻合である。また anterior pontomesencephalic vein と anterior medullary vein は, 縦方向には anterior spinal vein につながり, 横方向には transverse pontine vein や bridging vein などの anastomoses を介して海綿静脈洞, 上錐体静脈洞, 下錐体静脈洞, suboccipital cavernous sinus などと交通性をもち, その吻合には variation が多い⁷⁾。

導出静脈 (emissary vein)

発生初期の導出静脈 (emissary vein) は, 頭蓋外の組織から内側へ向かい原始静脈洞への静脈還流を担い, その基部に軟骨性頭蓋 (chondrocranium) が形成されるため, emissary foramen を通るようになり, その後, 血流方向が逆転し, 末梢に向け流れるようになる。Hypoglossal emissary vein は, 上位頸髄から ventral myelencephalic vein への導出を担い, condylar emissary vein は, 深頸静脈や椎骨静脈などの上位頸髄のより表層から S 状静脈洞への導出を担い, mastoid emissary vein は後頭部の筋肉から前者のちょうど頭側の S 状静脈洞への導出を担う。これら hypoglossal, condylar, mastoid emissary veins は, 頭蓋内静脈と椎体周囲の静脈を結ぶ側副路として重要である。Primary head vein の枝である dorsal pharyngeal vein は, primary head vein が閉塞するため prootic sinus の枝となる。Pterygoid plexus を形成する深顔面静脈 (deep facial vein) の枝と pharyngeal vein の外側枝が吻合することで sphenoidal emissary vein (of the foramen ovale) が形成される。これら導出静脈は, 正常脳静脈の流出路になる場合以外に, 病的なシャントの流出路になることがある。また硬膜静脈洞のない部位である導出静脈やその周囲に硬膜動静脈瘻が起こることがあり, 舌下神経管部の硬膜動静脈瘻も hypoglossal emissary vein に関連しており, これらの疾患を同じような視点で捉えることができる¹⁹⁾。

おわりに

脳動脈よりも脳静脈は, 解剖学的な variation が多いが, 基本構築やその variation 形成のルールは比較的単純であり, variation が多くみえるのは, その形成時期の違いや血液の受け皿側にあるためと考えられる。その解剖の理解は動脈とならび重要であることには変わりはない。

文 献

- 1) Andeweg J: Consequences of the anatomy of deep venous outflow from the brain. *Neuroradiology* 41: 233-241, 1999.
- 2) Babin E, Megret M: Variations in the drainage of the basal vein. *Neuroradiology* 6: 154-161, 1973.
- 3) Bull JW: Tentorium cerebelli. President's address. Section of radiology. *Proc R Soc Med* 62: 1301-1310, 1969.
- 4) Daniel PM, Dawes JDK, Prichard MML: Studies of the carotid rete and its associated arteries. *Phil Trans R Soc Lond Ser B* 237: 173-208, 1953.
- 5) Huang YP, Wolf BS: Veins of the white matter of the cerebral hemispheres (the medullary veins). Diagnostic importance in carotid angiography. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 92: 739-755, 1964.
- 6) Huang YP, Wolf BS: The basal cerebral vein and its tributaries. in Newton TH, Potts DG (eds): *Radiology of the Skull and Brain, Vol II*. St Louis, Mosby, 1974, pp.2111-2154.
- 7) Kiyosue H, Tanoue S, Sagara Y, Hori Y, Okahara M, Kashiwagi J, Nagatomi H, Mori H: The anterior medullary-anterior pontomesencephalic venous system and its bridging veins communicating to the dural sinuses: Normal anatomy and drainage routes from dural arteriovenous fistulas. *Neuroradiology* 50: 1013-1023, 2008.
- 8) Klintworth GK: The comparative anatomy and phylogeny of the tentorium cerebelli. *Anat Rec* 160: 635-642, 1968.
- 9) 久保道也, 堀江幸男, 林 央周, 桑山直也, 遠藤俊郎: 頭蓋底静脈の読影—Venous Cross Road の重要性を中心に—. *脳外誌* 17: 745-753, 2008.
- 10) 小宮山雅樹: 脳血管内治療に必要な解剖学的知識: 機能的脳血管解剖. *脳外誌* 13: 116-125, 2004.
- 11) Komiyama M, Ishiguro T, Kitano S, Sakamoto H, Nakamura H: Serial antenatal sonographic observation of cerebral dural sinus malformation. *AJNR Am J Neuroradiol* 25: 1446-1448, 2004.
- 12) 小宮山雅樹: 脳血管の機能解剖. *No Shinkei Geka* 33: 213-224, 2005.
- 13) 小宮山雅樹: 脳脊髄血管の機能解剖. 大阪, メディカ出版, 2007.
- 14) 小宮山雅樹: 脊髄血管の機能解剖. *脊椎脊髄* 21: 972-981, 2008.
- 15) Lasjaunias P, Burrows P, Planet C: Developmental venous anomalies (DVA): The so-called venous angiomas. *Neurosurg Rev* 9: 233-244, 1986.
- 16) Okudera T, Huang YP, Ohta T, Yokota A, Nakamura Y, Maehara F, Utsunomiya H, Uemura K, Fukasawa H: Development of posterior fossa dural sinuses, emissary veins, and jugular bulb: Morphological and radiological study. *AJNR Am J Neuroradiol* 15: 1871-1883, 1994.
- 17) Padget DH: The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contrib Embryol* 32: 205-261, 1948.
- 18) Padget DH: The development of the cranial venous system in man, from the viewpoint of comparative anatomy. *Contrib Embryol* 36: 79-140, 1957.
- 19) Piske RL, Lasjaunias P: Extrasinusal dural arteriovenous malformations. *Neuroradiology* 30: 426-432, 1988.
- 20) Raybaud CA, Strother CM, Hald JK: Aneurysms of the vein of Galen: Embryonic considerations and anatomical features relating to the pathogenesis of the malformation. *Neuroradiology* 31: 109-128, 1989.
- 21) San Millán Ruiz D, Gailloud P, de Miquel Miquel MA, Muster M, Dolenc VV, Rufenacht DA, Fasel JH: Laterocavernous sinus. *Anat Rec* 254: 7-12, 1999.
- 22) Shane Tubbs R, Loukas M, Shoja MM, Salter EG, Oakes WJ: The venous circle of Trolard. *Bratisl Lek Listy* 109: 180-181, 2008.
- 23) Streeter GL: The development of the venous sinuses of the dura mater in the human embryo. *Am J Anat* 18: 145-178, 1915.

要 旨

脳静脈の機能解剖

小宮山雅樹

脳静脈は、脳動脈とは異なる発生過程を経る。神経管の両側に形成される primary head vein を基本に、脳の発達とともに形を変えながら、脳硬膜静脈洞 (dural sinus) や脳静脈 (pial vein) が形成される。神経管の閉鎖により脈絡叢からの導出は 1 本の medial vein of prosencephalon が担うようになり、これは一対の内大脳静脈の形成により、こちらに移行され、さらに great vein of Galen に導出される。大きく発達する大脳の表在性静脈 (Sylvian, Trolard, and Labbé veins) の間には、互いに十分な吻合が形成される。大脳の重さを支えるべく発達する tentorium cerebelli 内にある primitive tentorial sinus の導出を脳底静脈が担うようになり (basal vein capture), 内大脳静脈とともにテント上の深部静脈系が形成される。Tentorial sinus へ流入していた superficial middle cerebral vein は, tentorial sinus の遠位部の退縮により海綿静脈洞に流入するようになり (cavernous sinus capture), その程度により paracavernous drainage や cavernous drainage の形をとるようになる。Basal vein capture や cavernous sinus capture, 脳表静脈と subependymal vein の間の吻合 (transcerebral anastomosis), 脳表静脈間の吻合や脳底部の静脈輪 (Trolard circle) の variation は、脳静脈系の病的状態でのさまざまな臨床像に反映される。このような脳静脈の機能解剖の理解は、病態の把握や安全な治療に重要である。

— 脳外誌 18: 821-829, 2009 —