

## Basic anatomy of the cerebral venous system, special reference to the posterior fossa veins

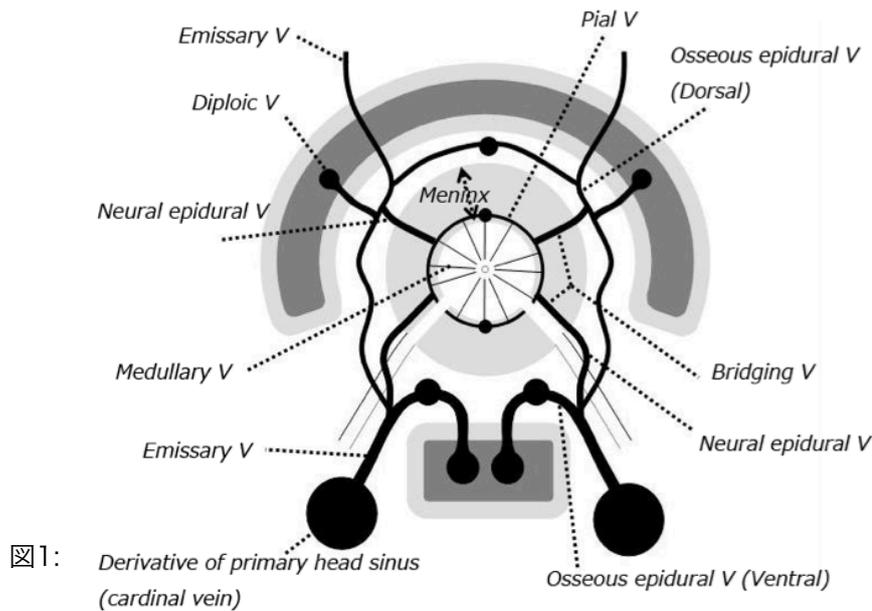
大阪市立大学医学部 脳神経外科 三橋 豊

脳脊髄の静脈は特に脳において複雑な発達によって高度の修飾を受けており単に形態学的な視点から考えるだけではbasicな構造の把握は難しい。機能的、また発生学的な観点から考えることが重要である。

### 脳脊髄静脈のbasic conceptual anatomy

脳脊髄の静脈のbasic structureを概念的に図1に表した。

すなわち髄質静脈 (medullary vein) を経て遠心性に軟膜静脈(pial vein)に灌流された静脈血は脳脊髄の外側部でも膜下腔、固有硬膜を貫く架橋静脈(bridging vein)を介して硬膜静脈(dural vein)に灌流される。この硬膜静脈は脳脊髄のみの静脈灌流を担う静脈 (neural (leptomeningeal) epidural vein) で、これとは別の脳脊髄を被覆する骨構造の静脈灌流を担う硬膜静脈 (osseous epidural vein) と吻合して骨構造の間隙を通る導出静脈(emissary vein)を経て、胎生初期に全て (neural, somatic, visceral) の器官の静脈灌流を担っていたprimary head sinus (cardinal vein)のderivativeへと灌流する。



脳脊髄の静脈構築の概念図

さてこの単純な図式は脊椎、脊髄においては、ほぼそのままあてはめることができるが頭蓋、脳の複雑な静脈構造にあてはめて理解するためにはいくつかのtopicsが必要である。

### #1 軟膜静脈は互いに豊富な吻合を持つ。

胎生初期において神経組織の静脈灌流は原始髄膜 (meninx primitiva) を垂直方向に横断する無数の小静脈によってdural plexusといわれる将来の硬膜間腔に位置する静脈構造へと灌流されるが、軟膜上 (pial layer) での吻合が形成されるにつれてこの原始髄膜を横断する小静脈のほとんどは消滅し数を減らしてpia-arachnoid veinと呼ばれる静脈に収束してゆく。このpia-arachnoid veinが後の架橋静脈 (bridging vein) を形成する。この軟膜のlayerでの吻合 (pial venous network) の一部は良く発達し、将来の側副静脈血行路として重要な役割を果たす<sup>1)</sup>。このpial layerでの吻合は水平方向の吻合のみではなく隣接脳胞

間の長軸方向にも発達する（図2）。水平方向の吻合の代表的なものとしてはテント上ではanastomotic vein of Labbéやanastomotic vein of Trolard、anterior, and posterior communicating veinであり、テント下ではtransverse pontine vein、vein of pontomedullary sulcusなどが挙げられる。長軸方向の吻合としてbasal vein of Rosenthalは大腦、間脳、中脳にまたがる吻合静脈として有名である。脳幹においてはanterior pontomesencephalic veinやlateral pontine veinなどがある。脊髄におけるanterior and posterior spinal veinもそうである。

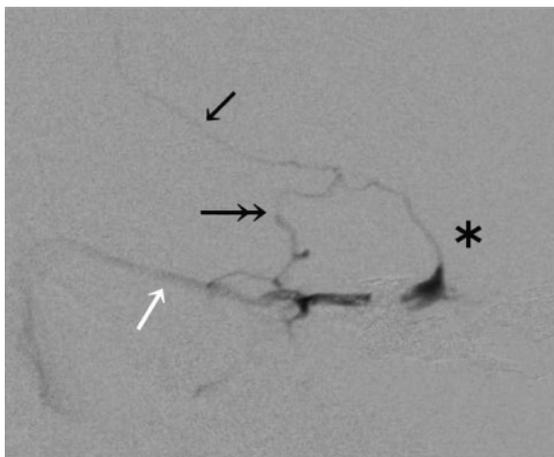


図2：Cavernous dural AVFの塞栓（TVE）中に cavernous sinus lateral venous axis (laterocavernous sinus)から造影したvenogram: Uncal vein（\*）、Basal vein（矢印）、lateral pontine vein（二重矢印）の間のpial venous anastomosesが観察できる。lateral pontine veinはpetrosal veinを通じてsuperior petrosal sinus（白矢印）と交通している。

## #2 脳神経組織は髄膜（meninx）という間葉性被膜に被覆される。

軟膜、くも膜（下腔）、固有硬膜は元来、脳神経組織を被覆保護するために形成された原始髄膜（meninx primitiva）から派生した間葉性組織である。pia-arachnoid veinはこのmeninx primitivaを貫通する静脈であり、将来の架橋静脈（bridging vein）を形成するが、そのみではなくbridging veinに連続しmajor dural venous sinusに流入するまでのneural epidural vein（後述）もまたpia-arachnoid veinのderivativeである。架橋静脈が硬膜静脈洞に流入する際に少なからぬ距離を固有硬膜を斜めに走行（dural sinus）することがある（図3）のはこの発生様式の為である。

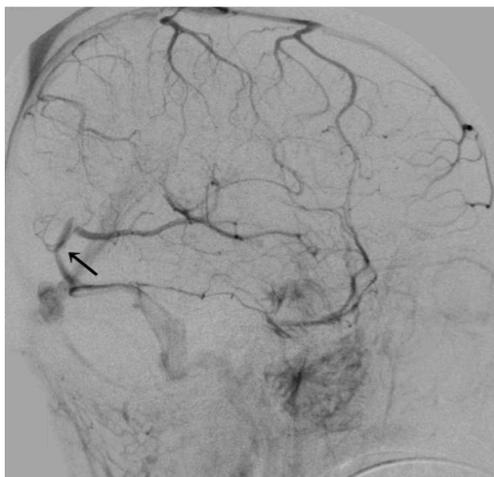


図3： Inferior cerebral veinが頭蓋円蓋部のやや高位からdural sinus（矢印）となってtransverse-sigmoid junctionに流入している。

## #3 頭蓋は由来の違う骨構造が組み合わさって出来ている。

脊椎においては椎体、椎弓はともに軟骨内骨化によって形成されいずれも元来の役割は脊髄の保護であると考えられるが、頭蓋は由来の違う骨構造が複数関与して出来ている。すなわち脳の被覆と保護を元来の機能とする神経頭蓋（neurocranium）のみではなく元来内胚葉性の前腸由来の構造物である鰓、口蓋、鼻腔を被覆するための骨構造（viscerocranium）が頭蓋の形成に関与している。脳頭蓋においては脊椎における軟骨性椎弓は存在せず、頭蓋冠は前頭骨、頭頂骨、後頭骨鱗部などの膜性骨（membranous neurocranium）より形成される。また頭蓋腹側正中の底後頭骨、底蝶形骨は脊索由来の軟骨性骨

(cartilaginous neurocranium) で脊椎における椎体と由来は同じである。この膜性骨、軟骨性骨の間に第一鰓弓軟骨由来の蝶形骨大翼(cartilaginous viscerocranium)や耳プラコード由来の耳骨(軟骨性)、咽頭背側を被覆する内臓性膜性骨(membranous viscerocranium)などが合わさって頭蓋を形成する<sup>2) 3)</sup>(図4)。

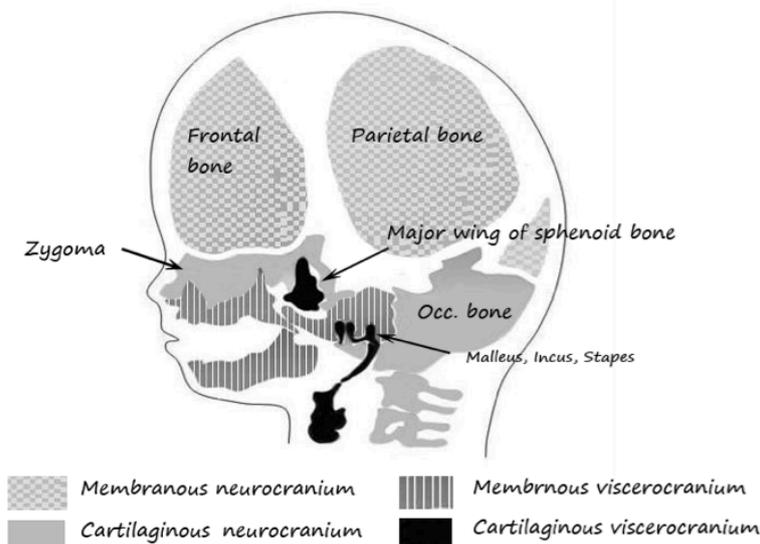


図4： 頭蓋を形成する骨の由来、W.J. Larsen, Human Embryology<sup>2)</sup>より改変

#### #4 硬膜外(間)腔には発生学的由来の違う静脈が併存している。

硬膜外(間)腔は固有硬膜(dura propria)と頭蓋、脊椎を形成する骨の骨膜(periosteal dura)に挟まれた間葉性の空間である。脊椎の硬膜間腔は特に背側、外側で広い空間を保っておりこれら固有硬膜と骨膜の二葉の中胚葉性の膜組織の由来が異なることを想像するに難くない。硬膜間腔に存在する静脈は脳脊髄の静脈灌流を担い固有硬膜を貫通して硬膜間腔に出てくるneural epidural veinと骨組織の静脈環流を担って骨膜を貫通して出てくるosseous epidural veinに大別される。頭蓋においては後述の様にprimary head sinusのderivativeが硬膜間腔に含まれる。脊椎管腹側においては固有硬膜由来の後縦靭帯浅層と椎体骨膜由来の後縦靭帯深層の間が硬膜間腔で前内椎骨静脈叢(anterior internal vertebral venous plexus)はこの層に存在するcartilaginous osseous epidural veinである。脊髄における架橋静脈であるmedullary vein(spinal emissary bridging vein)は固有硬膜を貫通した後に前内椎骨静脈叢と合流して椎間静脈(intervertebral vein)という導出静脈となって脊椎管外に流出する。海綿静脈洞においてはその底部を被覆する蝶形骨大翼はviscerocranium(第一鰓弓軟骨由来)であり、胎生初期に原始脳と前腸(咽頭)の間に位置していたprimary head sinusは頭蓋内に含まれてしまう。すなわち海綿静脈洞の一部、脳神経と内頸動脈の間を走行する部分(intermediate venous axis)はprimary head sinusのderivativeと考える事が出来る。内頸動脈の内側に位置する静脈路(medial venous axis)は頭蓋底骨(cartilaginous neurocranium)の静脈灌流を担う静脈(cartilaginous osseous epidural vein)であるし、脳神経の外側にある静脈路(lateral venous axis or laterocavernous sinus<sup>4)</sup>)は脳組織の静脈灌流がその本来の役割(neural epidural vein)である(図5と図7)。後頭蓋窩になると話は少しややこしくなる。すなわち耳プラコード由来の耳骨が錐体骨の一部として頭蓋の一部に組み込まれる訳であるがこれは本来primary head sinusの背外側に位置している。また錐体骨下面の骨は第一鰓裂由来のmembranous viscerocraniumであるのでprimary head sinusはこの由来の違う2つの骨構造に挟まれることになる。この部分ではprimary head sinusは消滅してしまって代わりに耳骨背外側でのdural vein間の吻合によって出来るsigmoid sinusが代わりに果たすことになる。後頭蓋窩においてはbasilar plexusは脊髄における前内椎骨静脈叢と相同でありcartilaginous osseous epidural veinである。inferior petrosal sinusも基本的にcartilaginous osseous epidural veinであるが、その外側はneural

epidural veinを一部融合している。なぜならばtransverse pontine veinやvein of lateral recess of 4<sup>th</sup> ventricleからinferior petrosal sinus に流入する架橋静脈があるからである<sup>5)</sup>。Superior petrosal sinusはneural epidural veinである。Petrosal veinとsuperior petrosal sinusは連続する同一の由来のveinでありpia-arachnoid veinの一つであるventral metencephalic veinのderivativeである。(図6と図7) 硬膜間腔は基本的に固有硬膜と骨膜に囲まれた空間であるが一部で固有硬膜が内側に折りかえって2枚の固有硬膜によって囲まれた空間を形成する。すなわち大脳鎌であり小脳テントである。この硬膜間腔に存在する静脈は全て脳組織の静脈灌流のみを担う静脈構造(neural epidural vein)である。すなわち下矢状静脈洞(inferior sagittal sinus)、直静脈洞(straight sinus)、テント静脈洞(tentorial sinus)、大脳鎌静脈洞(falcine sinus)などである。

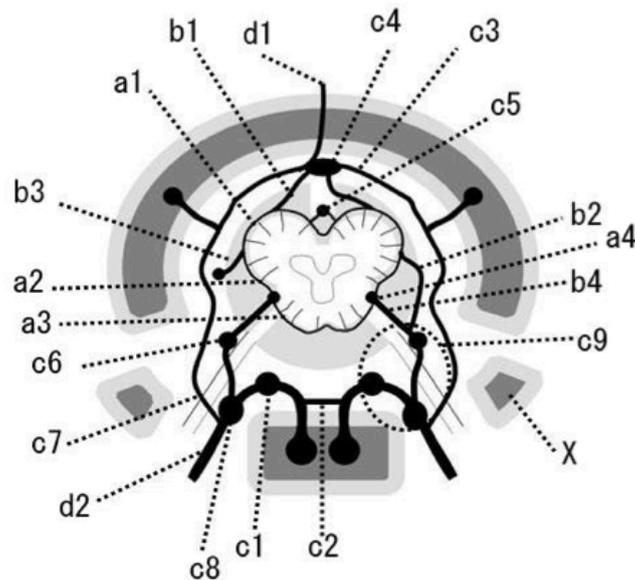


図5：テント上の静脈構築の概念図

A: pial venous anastomosis

a1: vein of Trolard, a2: deep middle cerebral vein, a3: peduncular vein,

B: bridging vein

b1: superior cerebral vein, b2: superficial middle cerebral vein, b3: sphenopetrosal vein, b4: uncus vein

C: dural vein (括弧内のイタリックは機能的由来を示す)

c1: medial axis of cavernous sinus (*osseous*), c2: intercavernous sinus (*osseous*), c3: venous lacuna beside the SSS (*osseous*), c4: superior sagittal sinus (*osseous and neural*), c5: inferior sagittal sinus (*neural*), c6: lateral axis of the cavernous sinus (laterocavernous sinus) (*neural*), c7: middle meningeal vein (*visceral*), c8: intermediate axis of cavernous sinus (*derived from primary head sinus*), c9: cavernous sinus (*osseous and neural*)

D: emissary vein

d1: parietal emissary vein, d2: emissary vein through foramen ovale or spinosum or rotundum

X: major sphenoid wing derived from the visceral osseous structure of 1<sup>st</sup> branchial arch

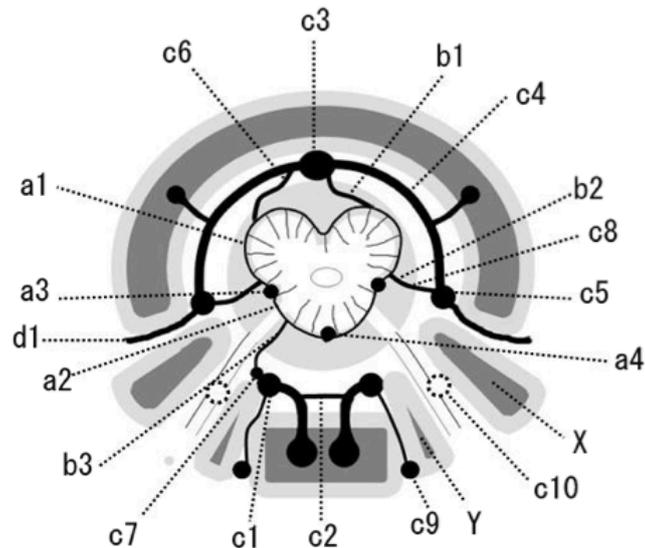


図6：テント下の静脈構築の概念図

A: pial venous anastomosis

a1: vein of great horizontal fissure, a2: transverse pontine vein, a3: lateral pontine vein, a4: anterior pontomesencephalic vein

B: bridging vein

b1: cerebellar hemispheric vein, b2: petrosal vein, b3: bridging vein to inferior petrosal sinus

C: dural vein (括弧内のイタリックは機能的由来を示す)

c1: medial part of inferior petrosal sinus (*osseous*), c2: basilar plexus (*osseous*), c3: torcular herophili, c4: transverse sinus (*osseous and neural*), c5: sigmoid sinus (*osseous and neural*), c6: medial tentorial sinus (*neural*), c7: lateral part of inferior petrosal sinus (*neural*), c8: superior petrosal sinus (*neural*), c9: inferior petroclival vein (*visceral*), c10: original localization of disappeared primary head sinus

D: emissary vein

d1: mastoid emissary vein

X: superior part of petrosal bone derived from otic placode

Y: membranous visceral bone covering the 1<sup>st</sup> branchial pouch (tympanic cavity and eustachian tube)

**#5 硬膜静脈は主に長軸方向に吻合する。**

硬膜静脈は前述の様にそれぞれの静脈で由来が違い、また由来の違う静脈が一部では癒合している訳であるが頭蓋の背側、腹側で長軸方向に吻合する傾向がある。大脳半球、小脳半球、耳器官の発達とprimary head sinusの消褪に伴い長軸方向すなわち心臓へ静脈血を返す方向に吻合を形成する。

頭蓋背側の吻合としては上矢状静脈洞 (superior sagittal sinus)、横静脈洞 (transverse sinus)、S状静脈洞 (sigmoid sinus) などであるがこれらは頭蓋冠のmembranous neurocraniumを灌流するosseous epidural veinと脳組織の静脈灌流を担うneural epidural veinが合わさったものであり、腹側の吻合は海綿静脈洞 (cavernous sinus)、下錐体静脈洞 (inferior petrosal sinus)、前内椎骨静脈叢 (anterior internal vertebral venous plexus) であるがこれらは頭蓋底、脊椎椎体といったnotochord由来の骨組織を灌流するosseous epidural veinに腹側の脳脊髄実質を灌流するneural epidural veinが一部で融合したものである (図7)。

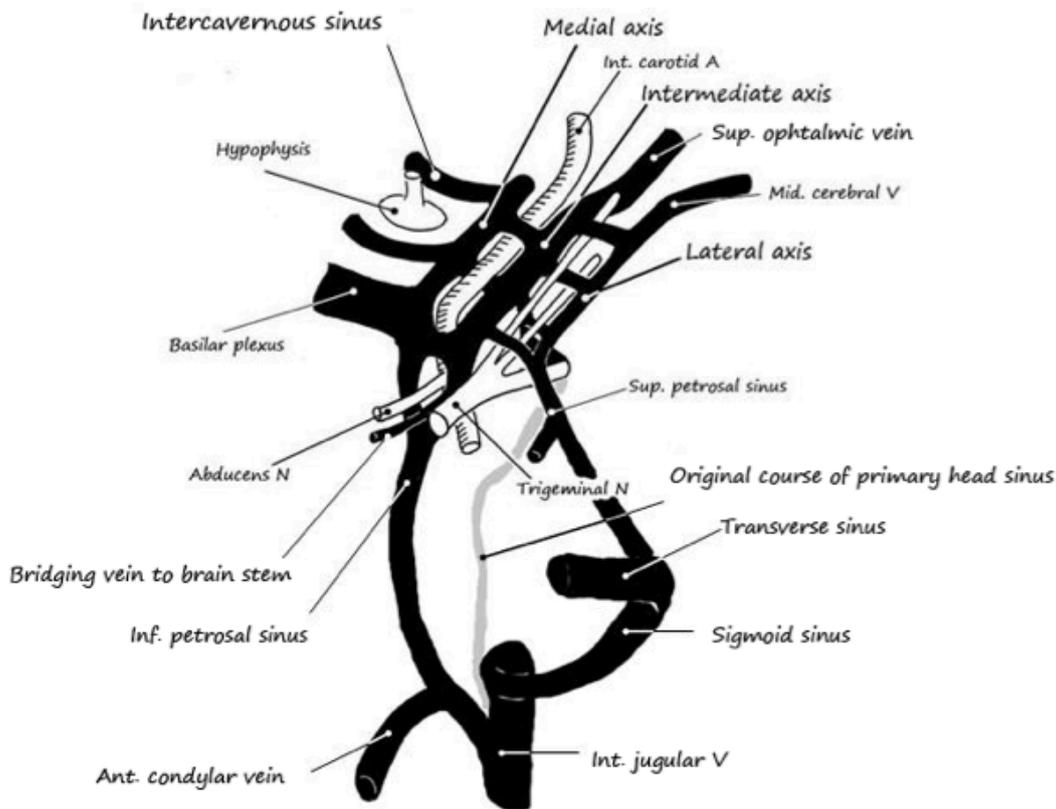


図7：頭蓋腹側の硬膜静脈の長軸方向への吻合

頭蓋底を右上後方から鳥瞰した概念図。頭蓋底部の硬膜静脈が長軸方向に吻合しているが内側には頭蓋底部の骨を灌流するosseous epidural veinが存在し外側には脳実質の静脈灌流を担うneural epidural veinが存在している。neural epidural venous systemにはbridging veinが流入する。

以上、脳の静脈に関して脳実質を被覆する髄膜、骨構造の発生に基づいて考察した。この様に考えると部位によって消褪、吻合、融合などによって修飾された脳の静脈構築を冒頭に述べたbasicでsimpleな概念(図1)に帰着させることが出来、理解しやすくなるのではないかと考えている。

#### 文献

- 1) Padget DH: The development of the cranial venous system in man, from the viewpoint of comparative anatomy. Contrib Embryol 36: 81-140.1957
- 2) Larsen WJ: Human embryology. CHURCHILL/LIVINGSTONE, A division of Elsevier Science. 1997
- 3) S. Romer, T.S. Parsons, The vertebrate body fifth edition. W.B. Saunders company, Japanese translation rights arranged through Orion Press Tokyo. 1977
- 4) Gailloud P, San Millan Ruiz D, Muster M, et al: Angiographic anatomy of the Laterocavernous sinus. Am J Neuroradiol 21:1923-29. 2000
- 5) Kiyosue H, Tanoue S, Sagara Y, et al: 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. Neuroradiol 50:1013-23. 2008