

Venous anatomy of the deep white matter (深部白質の静脈解剖)

亀田総合病院 脳神経センター 脳血管内治療科

門岡 慶介

Key words: medullary vein, transcerebral vein, deep white matter, cone beam CT, developmental venous anomaly

【はじめに】 1-5

大脳半球の主だった静脈として superficial(pial) vein と deep(subependymal) vein が挙げられるが、大脳の大部分を占める白質を中心とした領域の血管はそう詳しく触れられることがない。今回は皮質や白質から pial vein や subependymal vein への drainage を行う medullary vein について review を行う。

Deep white matter の静脈に関する記載は 1874 年の Duret(Recherches anatomiques sur la circulation de l'encéphale で” Veine médullaire”と表現)まで遡る。その後 Testut(1889)、Poirier(1921: anastomoses centripetal)、Pfeifer(1930: “Markvenen”)、Schlesinger(1939: intracerebral anastomotic vein)、Kaplan(1959: trans-cerebral vein)、Goetzen(1964: centroperipheral venous anastomosis: supracommissural, infracommissural, transcommissural, cortical, and ependymal anastomoses の分類を作成)、Saunders(1965: medullary vein の miroangiographic study)と続いた。発生の過程でいわゆる medullary vein が登場するのは、Padget(1957)によると 40mm embryo の時であり、"passing directly from the ependymal layer to the surface of the cortex: these vessels are collected by pial affluents of the middle cerebral vein, and to a lesser degree by those draining into the primitive superior longitudinal and transverse sinuses"とある。

上述のように deep white matter の静脈に関しては変遷を経ながら研究がなされていたが、1999 年の Okudera らの報告(文献 12)が一つの集大成であると考えられる。

【深部白質の静脈解剖】 1,2,3-14

発生と概要 7,11

Intraparenchymal vessel の発達前、neural tube は primordial vascular plexus に覆われており、老廃物は ventricular fluid で拡散される。動脈血に関しては ventral aspect から供給されるものの、静脈は背側の superficial parenchymal vein を通る。発生早期の venous drainage は centrifugal であるが、telencephalon、diencephalon、ventricular system、choroid plexus の発達により centripetal の deep drainage system が分化してくる。

6M の資料では、superficial parenchymal vein は薄く細い均一なものであり、frontoparietal, occipitotemporal, temporal area で概ね同じ長さ、太さ、走行、分布である(Transcerebral vein の Fig 6 も参照)。

Hemispheric wall の厚みに関して、発達した frontoparietal と occipitotemporal は最も薄い temporal の、それぞれ 4 倍、2 倍であり、hemispheric wall が薄いほど、相対的な superficial parenchymal vein の長さは長くなる。

Telencephalon の発達に従い、superficial parenchymal vein はより深部に到達するようになるが、それに つれて small venous plexus を subependymal region に作る(特に後頭葉)。これは多くの場合 subependymal vein に入る。

Cerebral veins には valve がないので中枢側(心臓側)からの注入で標本作成が可能である。

Okudera らは両側 IJV から 5% gelatin solution mixed with barium sulfate を注入し、主に frontal/parietal lobe を観察した。

Table1 に脳静脈に関する Okudera らの分類を示す。まず pial vein もしくは parenchymal veins に分かれ、後者はさらに superficial または deep parenchymal vein に分かれる。Superficial parenchymal vein は脳表に向かって drainage する群、deep parenchymal vein は deep venous system に drainage する群である。また特殊な例として pial vein と subependymal vein を直接繋ぐ transcerebral vein や superficial/deep medullary vein 同士を繋ぐ anastomotic medullary vein がある。

Superficial parenchymal vein は脳表から 1-2 cm 分の静脈血を pial vein に運ぶが、残った白質の大部分は deep parenchymal vein が subependymal vein へ運ぶ

Table 1: 大脳半球の静脈(deep venous system は除く。文献 11 より)

Table 1 Veins of the cerebral hemisphere

Pial veins

- A) Ascending (or superior) cortical (or cerebral) veins
Descending (or inferior) cortical (or cerebral) veins
Basal cortical (or cerebral) veins
- B) Veins of the lateral convexity side
Veins of the medial convexity side
Veins of the basal or inferior side

Parenchymal veins

- A) Superficial parenchymal veins
 - Intracortical veins
 - Subcortical veins (including arcuate veins)
 - Superficial medullary veins
- B) Deep parenchymal veins
 - Deep medullary veins
 - First (or outer) zone of convergence
 - Bamboo-branch and hat-tree union
 - Second (or candelabra) zone of convergence
 - Third (or palmate) zone of convergence
 - Subependymal veins (including the longitudinal caudate vein of Schlesinger)
 - Fourth (or subependymal) zone of convergence
 - Modes of union of subependymal veins
 - Subependymal (or intraventricular) union
 - Subarachnoid (or extraventricular) union
- C) Transcerebral and anastomotic cerebral veins

Superficial parenchymal vein (Fig1,2,4 Table1) 11,23

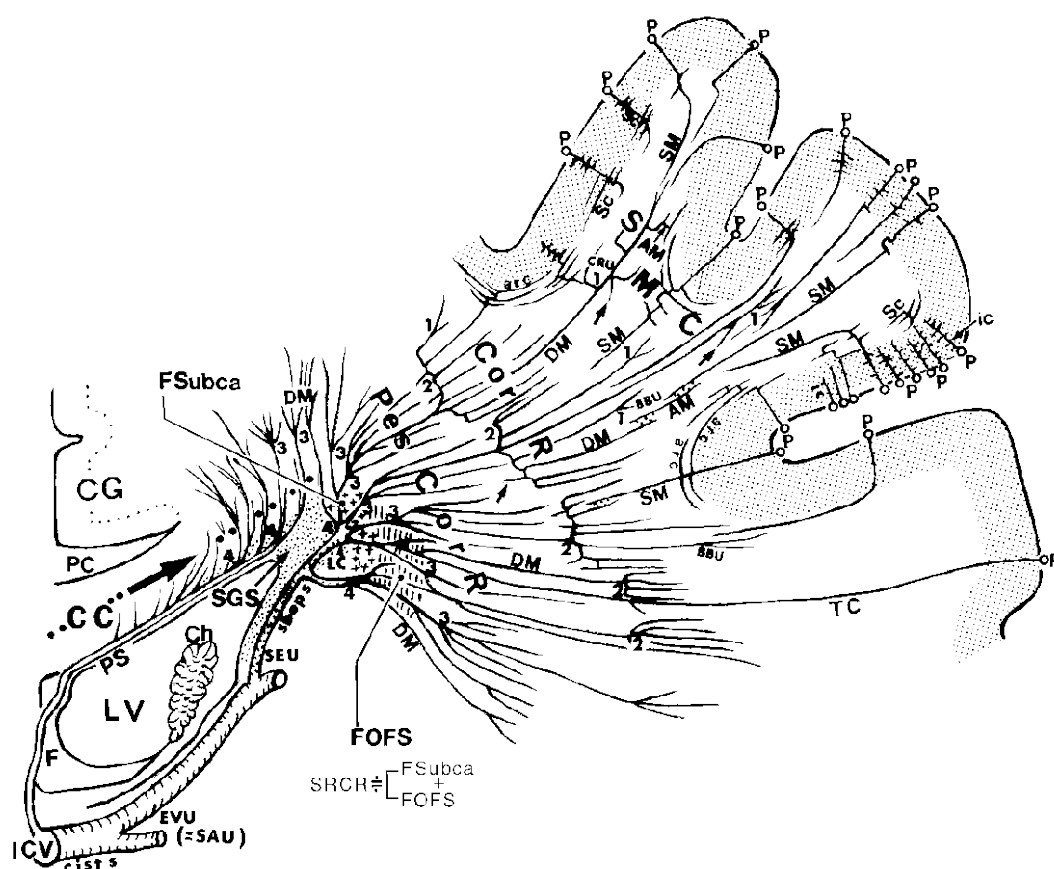
Superficial parenchymal vein には intracortical veins, subcortical veins and superficial medullary veins がある。

1) Intracortical vein : 短く真っ直ぐで、主に III-VI 層から出る。またしばしば corticomedullary junction

のレベルで arcuate fiber 間をそれに沿って走行する arcuate vein が合流する。Arcuate vein は下記 2),3)に入ることもある。

- 2) Subcortical vein: superficial medullary segment, arcuate segment, intracortical segment が含まれ、arcuate fiber を貫通する際には zig-zag になる。
- 3) Superficial medullary vein は white matter や centrum semiovale の表層から pial vein に注ぐ。Arcuate vein や lateral intercortical twigs が入ることもある。arcuate fiber を貫通する際には zig-zag になる。Superficial medullary vein は centrum semiovale から起こる

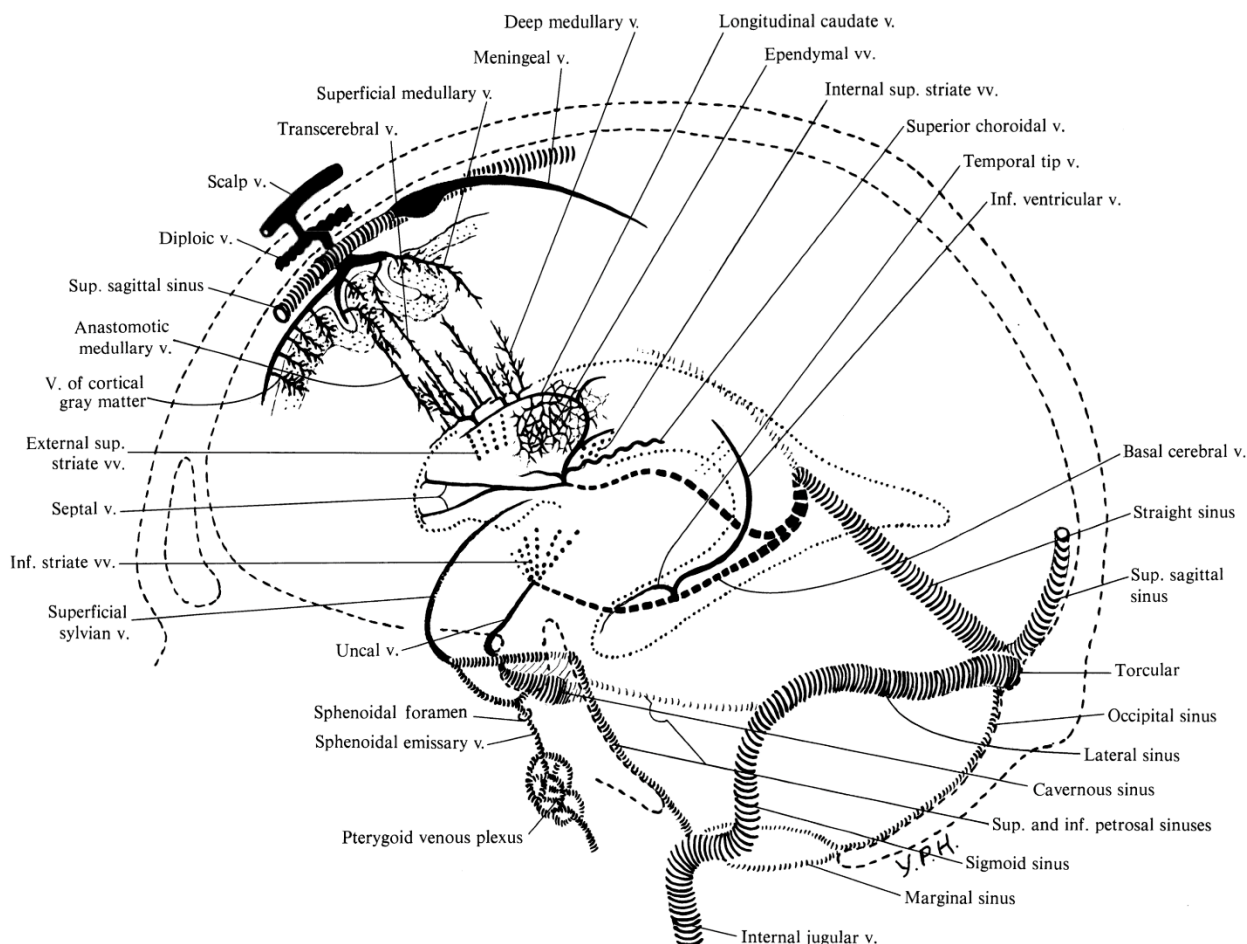
Fig 1: 側脳室前角付近での coronal plane(文献 11 より)



AM, Anastomotic medullary veins; arc, arcuate veins (or veins of arcuate fibers); BBU, bamboo-branch union; CC, corpus callosum; Ch, choroid plexus; CG, cingulate gyrus; cist s, cisternal segment of subependymal vein; CorR, corona radiata; CRU, coat-rack union; DM, deep medullary vein; EVU, extraventricular union of subependymal vein; F, fornix; Fsubca (cross-hatched area), fasciculus subcallosus, which is situated immediately lateral to the substantia glialis subependymalis; ICS, internal cerebral vein; ic, intracortical veins; LC, longitudinal caudate vein of Schlesinger; LV, lateral ventricle; P, pial veins; PC, pericallosal cistern; PesCorR, base of the corona radiata; PS, posterior septal vein; sbep s, subependymal segment of subependymal vein; Sc, subcortical vein; SGS, substantia glialis subependymalis; SAU, subarachnoid union of subependymal vein; SEU, subependymal union of subependymal vein; SM, superficial medullary

vein; SMC, substantia medullaris cerebri; FOFS (hatched area), fasciculus occipitofrontalis superior; TC, transcerebral veins; (1, 2, 3, 4), first, second, third and fourth zones of convergence; unlabeled arrow, upside-down candle and bamboo-branch veins.

Fig 2 Cranial venous system(文献 23 より)



Deep parenchymal vein (Fig 1,2,3,4, Table 1) 11,24

Deep medullary vein は長短あるが、four zones を経て subependymal vein に流れる。

- 1) 1st zone : gyri 内の white matter か centrum semiovale の表層にあり、細かい静脈が太い静脈へ直角に合流する(acute angle で合流 : bamboo-branch union/right angle で合流 : coat-rack or hat-rack union)。
- 2) 2nd(candelabra) zone : posterior frontal や anterior parietal 領域で顕著(centrum semiovale の表層 1/4-1/3)。Candelabrum vein 形成が特徴。Superolateral corner of lateral ventricle に流れ 3rd zone に繋がる。
- 3) 3rd(palmate) zone : candelabra の高さもしくは少し深いところからの枝や candelabra の stem が合流して、centrum semiovale の内側 1/3 で palmate vein を形成する。Candelabra と palmate の間の fine vein が表層に向け走り、candelabra に合流することで up-side-down branching candle tributaries になることがある。

4) 4th(subependymal) zone : 3rd から inferomedially に進み subependymal vein になるもの以外に 2 パターンある。1) the longitudinal caudate vein or vein of Schlesinger に入った上で(superolateral corner)、medial/lateral group of the subependymal vein となる。2) the longitudinal caudate vein or vein of Schlesinger を介さず直接 medial/lateral group に入る。

4 つの converging zone で一番目立たないのは 1st convergence zone、一番目立つのは 2nd zone である。

集簇する four zone の間に存在するものは以下になる。

- 1) arcuate vein と 1st zone of convergence(gyral white mater から centrum semiovale)の間 : substantia medullaris cerebri
- 2) 1st と 2nd の間 : corona radiata
- 3) 2nd と 3rd の間 : the base of the corona radiata
- 4) 3rd と 4th の間 : occipitofrontal-subcallosal fasciculi(or the stratum reticularis of the corona radiata of Riley)。Superomedially では radiation of the corpus callosum

Frontoparietal zone では 2nd zone は superior longitudinal fasciculus を含む association fiber と corona radiata の projection fiber(occipitofrontal fasciculus)の間にある(Fig3)。

また corona radiata の基部と superior-occipitofrontal-subcallosal fascicular complex は 3rd(palmate) zone にあり、一方 subependymal glial substance にある superior occipitofrontal-subcallosal fascicular complex は 4th converging zone に相当する。The longitudinal caudate vein of Schlesinger はこの 4th converging zone 内にある。

4 つの converging zone ができる理由は明らかでないが、Okudera と Huang は急速に成長する nerve fiber tract による converging medullary vein の急激な走行、形態、数の変化によると推測している。

ちなみに trigone 周囲の medullary vein は anterior horn 付近と異なり、脳室壁に向かい水平方向に並行に走る。3 つの venous converging zone を有するが、外側から

- 1)lateral sagittal stratum の外側縁
- 2)medial border of medial sagittal stratum
- 3)medullary vein が lateral atrium vein に入る subependymal zone となる。

Malignant glioma 症例では病的に拡張した deep medullary vein が横切っている所見が確認されることがある。しかし lymphoma, abscess, low grade glioma, ではこのような所見はない。

その他 deep medullary vein が拡張する病態として sinus thrombosis、Sturge-Weber syndrome、AVM、periventricular venous collagenosis、DVA、trigeminal angiomatosis、multifocal leukoencephalopathy などが挙げられる。

Fig 3: Medullary vein と fiber tract(文献 4 より)

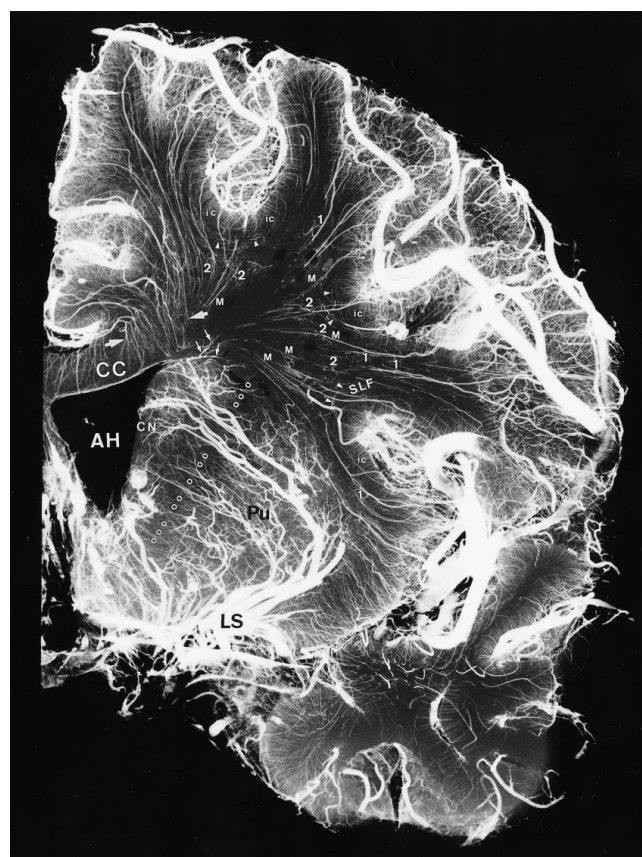
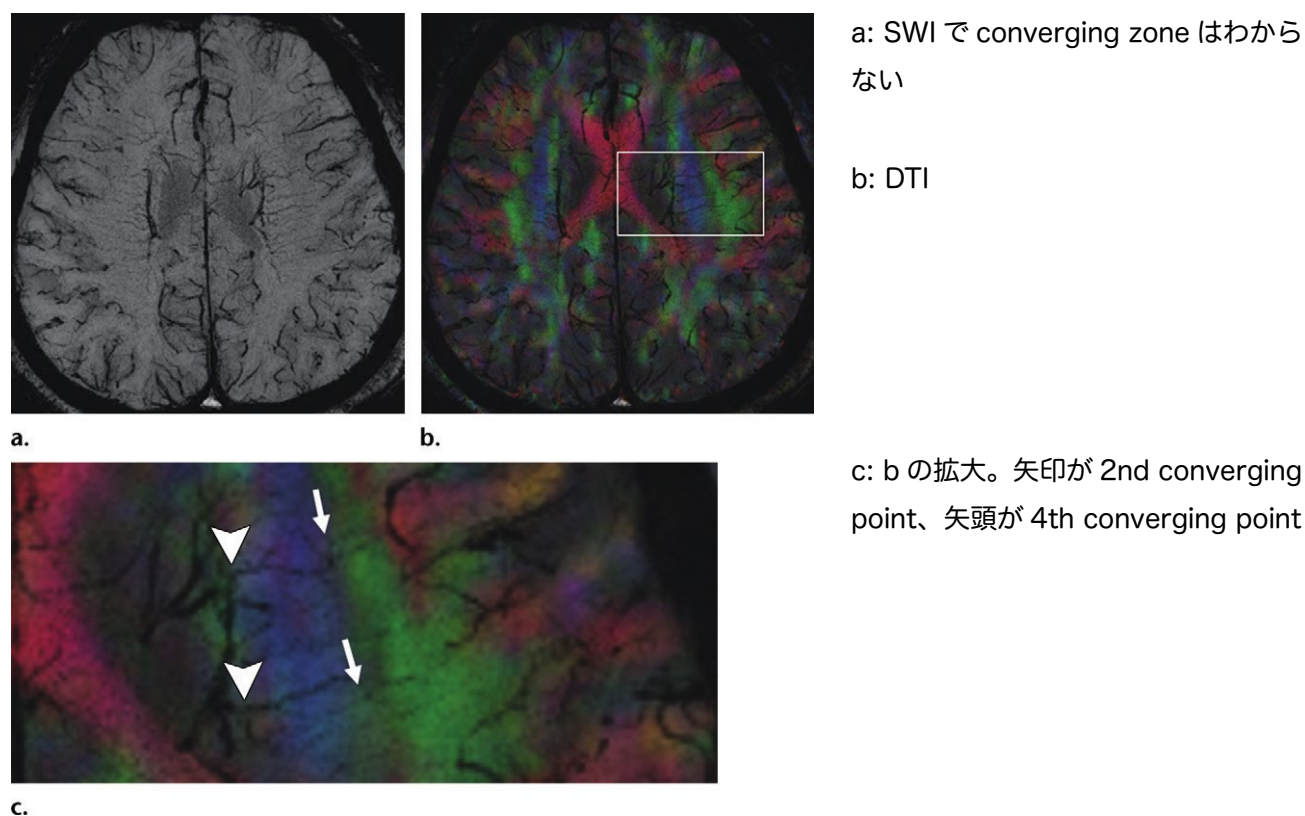


Fig 4: thickness 10mm の coronal plane(文献 11 より) Callosal arterial twigs (大矢印の間)、○の列: anterior limb of the internal capsule、A, anterior horn of the lateral ventricle、CC, genu of the corpus callosum、CN, head of the caudate nucleus、LS, lenticulostriate arteries、M, medullary arteries; (1), their bamboo or hat-tree branching; (2), candelabra-like branchings、Pu, the putamen、SLF, presumptive location of the superior longitudinal fasciculus、arrowheads, arcuate arteries. Ventriculo-fugal twigs of lenticulostriate arteries at the highest corner of head of caudate nucleus (small arrows).

Subependymal veins (Fig 5) 13,14

Subependymal veins は medial group と lateral group に分けられる(Table 2)。

Subependymal vein への集簇 (Fig 5) 11,14,20

通常 medullary vein は wedge-shaped or fanlike pattern で集簇する。

集簇部位としては、

- ・ anterolateral corner of the frontal horn (the vein of the septum pellucidum)
- ・ the head and body of the caudate nucleus or mid-body of the lateral ventricle (longitudinal caudate vein of Schlesinger)
- ・ the temporal horn(the lateral atrial and inferior ventricular subependymal vein)
- ・ the trigone(medial and lateral atrial subependymal veins)
- ・ the occipital horn(medial and lateral atrial subependymal veins)がある。

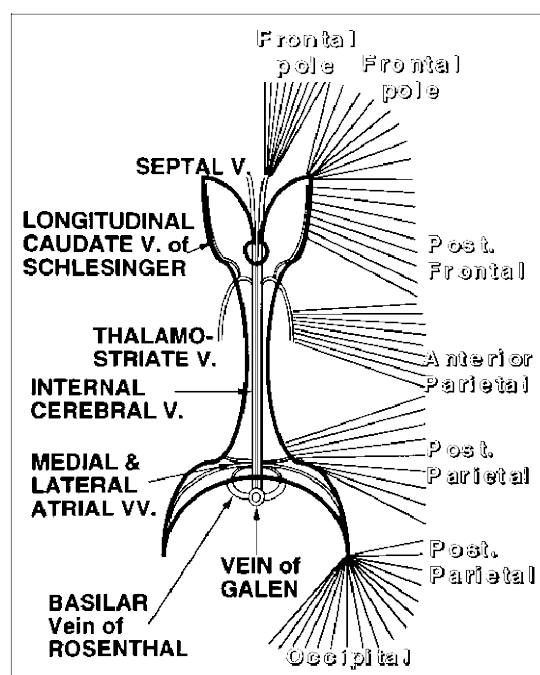


Fig 5: deep medullary vein と subependymal vein の関係(文献 14 より)

Table2: Subependymal vein と側脳室の位置関係(文献 13 より)

Location	Medial group	Lateral group
anterior horn	septal vein	anterior caudate vein
body	posterior septal vein	thalamostriate vein, direct lateral vein
atrium, posterior horn, inferior horn	medial atrial vein, transverse hippocampal subependymal vein	inferior ventricular vein, temporal tip subependymal vein

神経線維との関連 3,9

Deep medullary vein と fiber system の関係については複数の意見がある。Duret は fiber system に沿った血管走行だと考察した。しかしその後 Pfeifer は fiber system と血管走行は関係ないと報告した。Schlesinger は静脈特に venules(medium-sized veins や anastomotic veins)は動脈に比べると fiber system に従う傾向があると考えた。例外は最内側の the angle of the lateral ventricle 領域にある anastomotic vein(callosal body と直交)や superior lenticular vein(internal capsule と直交)と報告している。また基本的に postcapillary は fiber system と無関係な走行をしているとも報告している。Hassler の研究では、静脈走行は概ね fiber system に伴うものの、大きな superficial venous trunk 近傍ではあまり並走しないとされている。

Transcerebral vein と anastomotic medullary vein (Fig 1,2,6,7 Table 1) 5,11,22

Pial vein と deep venous system の間を直接繋ぐのは transcerebral vein であり、anastomotic medullary vein は superficial medullary vein と deep medullary vein を繋ぐ。

Medullary vein は $20\mu\text{m}$ 以下で通常の angiography では見えない(文献 23 では $150\mu\text{m}$ くらいから見えるとある)。それに対して transcerebral vein は $50\text{--}350\mu\text{m}$ であり見えることもある。

また、多くの transcerebral vein は venous converging zone 1-3 または 1-4 を欠く。

Transcerebral vein に関連して、medullary vein の発生についての相反する説がある。

- 1) Surface origin theory: Transcerebral vein が表層から深部に向かい subependymal vein に入り、脳の発達により引き伸ばされる。最終的に深部への draining が発達すると、そのどこか(表層に近いことが多い)で分断され superficial/deep parenchymal veins を形成する。
- 2) Deep origin theory : 側脳室を囲む germinal matrix(cortex の発達に関与する)に、longitudinal caudate vein of Schlesinger の precursor となる venous plexus が作られる。そこから shrub-like venous tree が出て表層に向かうことで deep medullary vein が作られる。

Okudera らは、deep origin theory は fronto-parietal 領域の deep parenchymal vein の発生を説明しやすいが、他部位(occipitotemporal)まで説明しうることを考えると、surface origin theory がより好ましいようであると結論づけている。

White matter の venous capillary に平滑筋はないものの myosin の束があり zero/slightly negative pressure でも虚脱しない。Cerebral blood volume の 70-80% は vein にあり、静脈径のわずかな変化が ICP や脳血液量に影響するため、何らかの autoregulation を持つと考えられる。また endothelial cell の配列により配列することで BBB を形成しており、venule では能動輸送が行われている。

Fig 6: 6M fetus(文献 11 より)

1, Superficial draining parenchymal veins; 2, transcerebral veins barely reaching subependymal area in the occipital lobe; 3, transcerebral veins reaching the ventricle and beginning spreading subependymally; 4, deep medullary veins draining into the corresponding subependymal veins at the supero-lateral corner of the lateral ventricle (precursor of the longitudinal caudate veins of Schlesinger); 5, candelabra tributaries of deep medullary veins; 6, deep medullary veins; 7, subependymal veins; 8, pial (or superficial cortical)

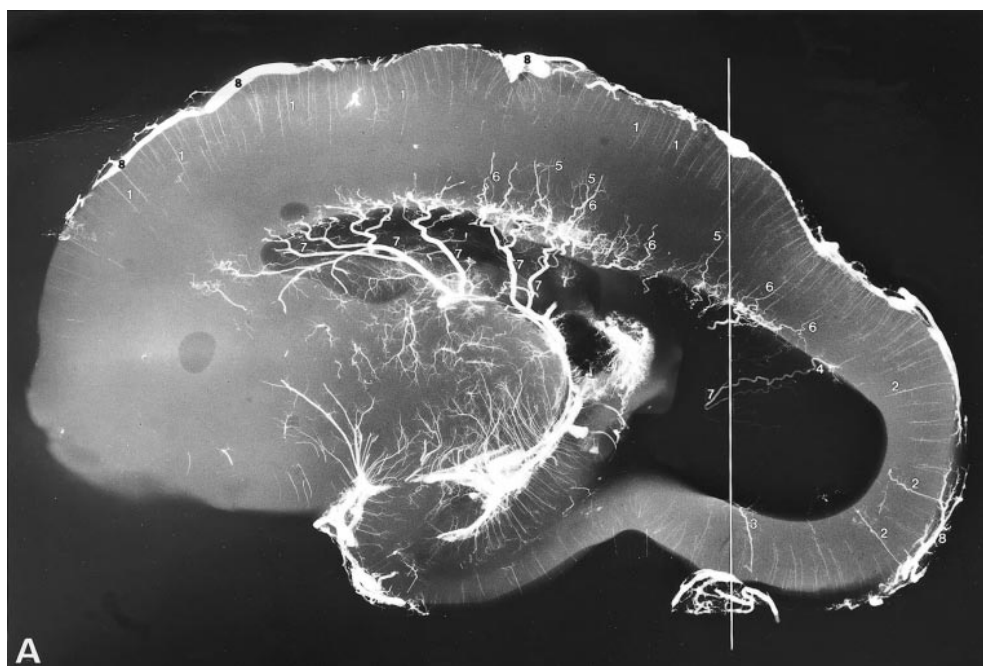
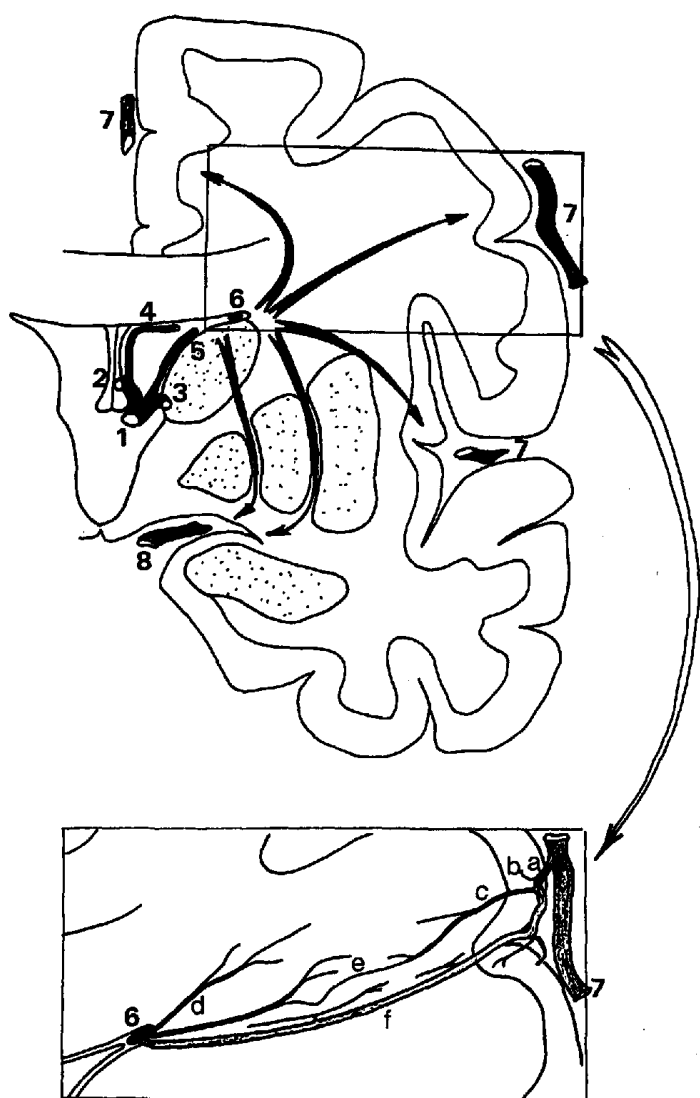


Fig 7: Transcerebral route
(文献 5 より)



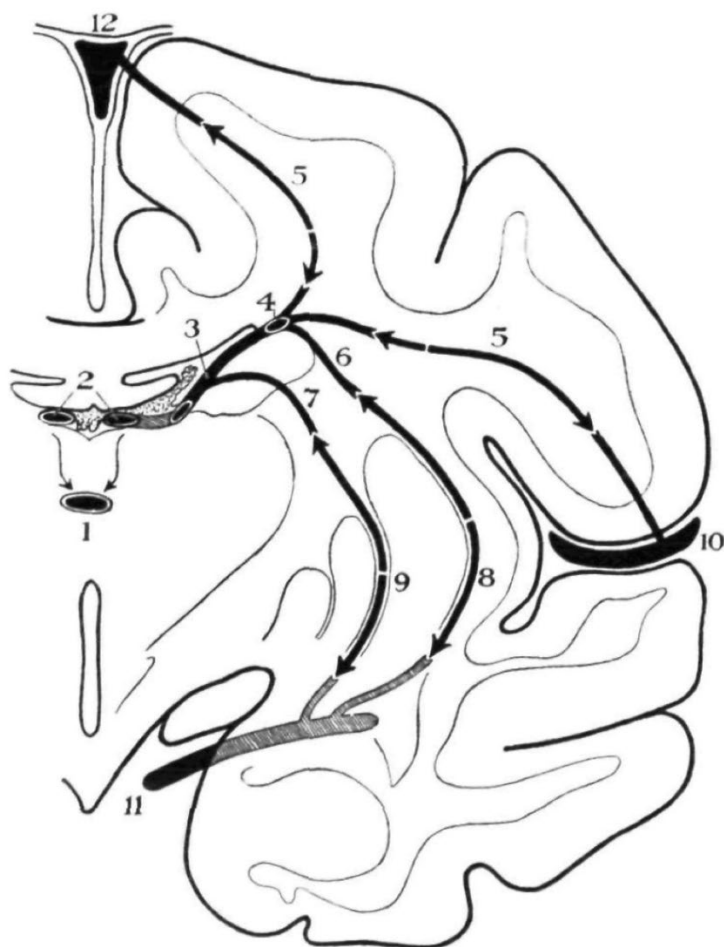
- 1 Internal cerebral v.
- 2 septal v.
- 3 thalamostriate v.
- 4 medial subependymal v.
- 5 transverse caudate v.
- 6 longitudinal caudate v.
- 7 subarachnoid cortical v.
- 8 basal v.
- a, subpial cortical v.
- b, intracortical v.
- c, intra- and subcortical v.
- d, paraventricular v.
- e, venular anastomosis
- f; trans-cerebral (veno-venous) v.

Trans-striatal route (Fig 8) 5,6

これまで述べた trans-cerebral vein は基本的に deep venous system と、SMCV など円蓋部の superficial(pial) vein を結ぶものを指していたが、もう一つ押さえておくべき white matter からの drainage として、trans-striatal route がある。

・ Trans-striatal route は interstriate anastomosis として Testut(1911)によって指摘された。ICV へ流入する superior striatal vein と、DMCV や BVR へ流入する inferior striatal vein の吻合であり、deep venous system が障害された際の collateral route としても重要である。

Fig 8: Superficial vein と deep venous system の側副路(文献 4 より)



6,7 と 8,9 を結ぶのが trans-striatal route

1: Great vein of Galen; 2: small veins of Galen (internal cerebral veins); 3: transverse caudate vein; 4: longitudinal caudate vein; 5: trans-cortical vein; 6 and 7: superior striatal veins; 8 and 9: inferior striatal veins; 10: superficial middle cerebral vein; 11: deep middle cerebral vein or basal vein of Rosenthal; 12: superior sagittal sinus.

【DVA との関連】 (Fig 9,10) 2,11,14,18

従来 venous angioma と呼ばれていた病態であり、1984 年に Huang らが medullary venous

malformation(MVM)という名称を提唱した。

発症機序としては子宮内もしくは生後に生じた静脈閉塞への代償性変化を挙げた。MVM は medusalike, mushroom-shaped, umbrella-shaped lesions に見える。また 3 segments で形成され、segment 1 は多くの拡張した medullary vein を含む。Segment 2 は convergence で拡張した多くの deep medullary vein を集める、拡張した単一または複数の central medullary vein からなる。Segment 3 は superficial cortical や subependymal vein を含み、dural sinus や Galenic system に入る。

1986 年には Lasjaunias らが developmental venous anomaly(DVA)と提唱した。彼らは血管増殖所見のない angioma という呼び方をやめるよう提唱した。彼らは venous channel 形成の失敗や異常な形成によって静脈の集簇が起こるのではと考察した。

Valavanis らは DVA の位置を以下の 3 つに分類した。

Juxtacortical(or superficial : 脳表へ流れる), subcortical(脳室まではいかない DWM も含む。どちらにも流れる)、deep(deep/subependymal に流れる)。

Fig 9 : Drainage 方向の異なる DVA

(文献 4 より)

a- c は superficial drainage type の DVA/MVM。Central deep medullary vein と subependymal vein 間の障害と考えられる。d-f は central medullary vein と subependymal vein 間の route 障害で、subependymal vein を迂回して deep に入っているのだろう。

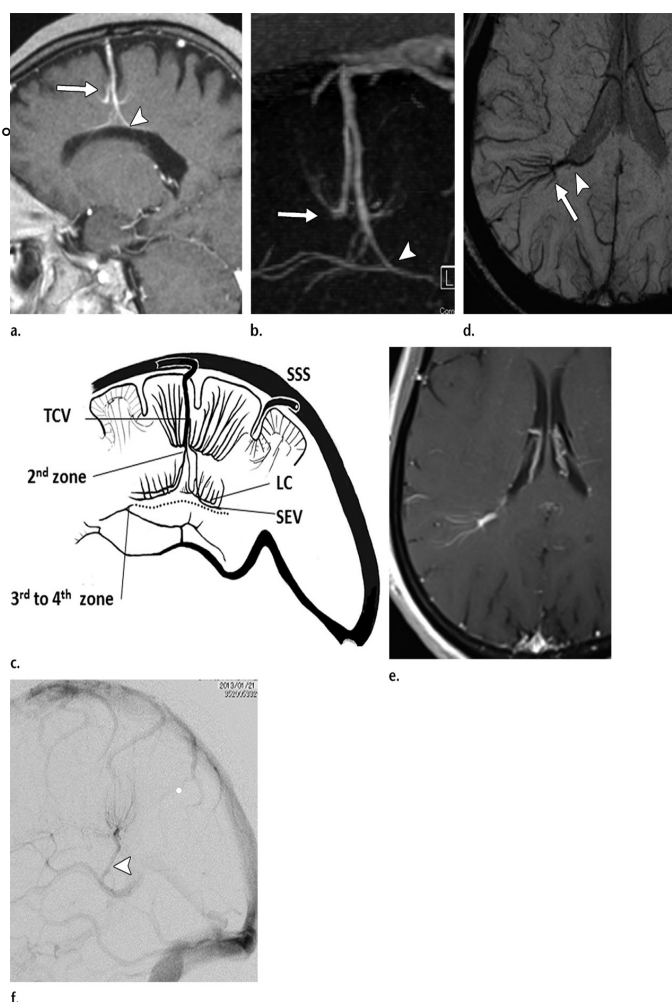
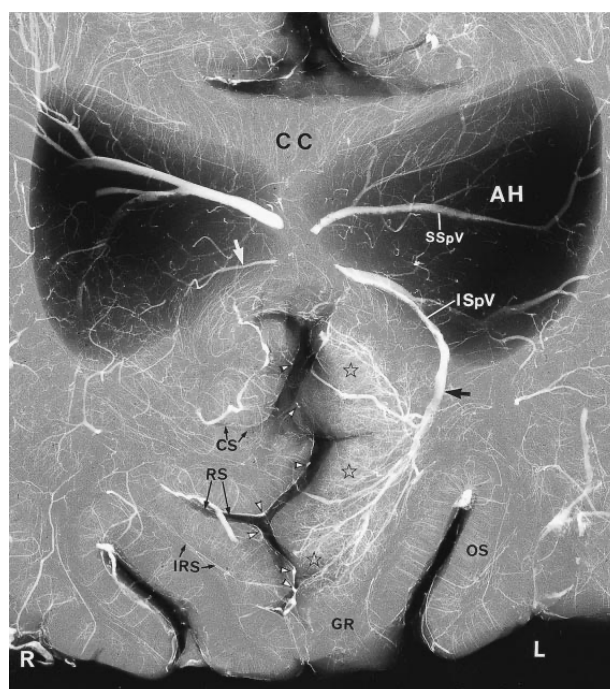


Fig 10: DVA の発生機序(文献 11 より)

右側だと pial vein があるが、患側にはなく、その分顕著な medullary vein が発達、合流して太い inferior septal vein に入る。したがって DVA/medullary venous malformation には aplasia, hypoplasia, thrombosis などによる early life(胎児もしくは出生早期)の mild/intermittent obstruction が関与すると考えられる。



参考：Infratentorial medullary vein (Fig 11) 14
テント下の medullary vein にも superficial と deep が存在する。

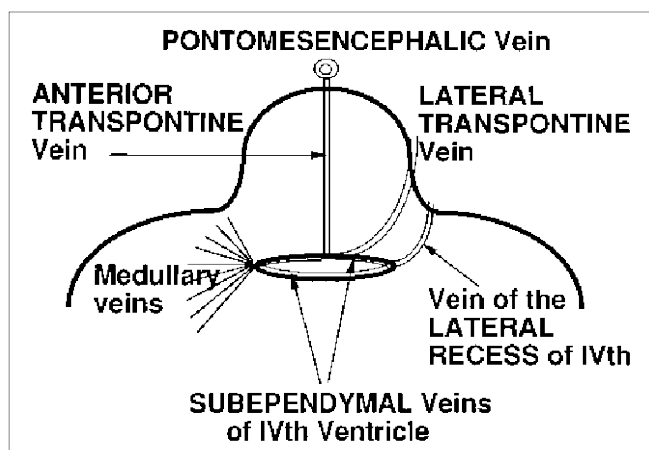
1) anterior superficial draining vein は小脳半球の hemispheric vein を経由して petrosal sinuses に向かう。Posterior superficial draining vein は vermician vein から TS や torcula へ向かう。

2) 小脳の deep medullary vein は dentate nucleus や middle cerebellar peduncle の上にある 4th ventricle の corner に集簇する。そこから 4th ventricle の subependymal vein を通って the vein of the lateral recess of 4th ventricle や前方へ pons を貫通する anterior/lateral transpontine vein に向かう。最終的に transpontine vein は pontomesencephalic vein から Galen に流れる。

The vein of lateral recess of 4th ventricle は(4th ventricle の静脈血も含めて)petrosal sinuses に向かう。

その他の静脈として、aqueduct に並走する形で頭尾側方向に走る longitudinal intrategmental vein がある (midbrain と pons の tegmentum から)。この血管は AVM や DVA の drainer として働くことがあり pineal vein を経て Galen に入る。

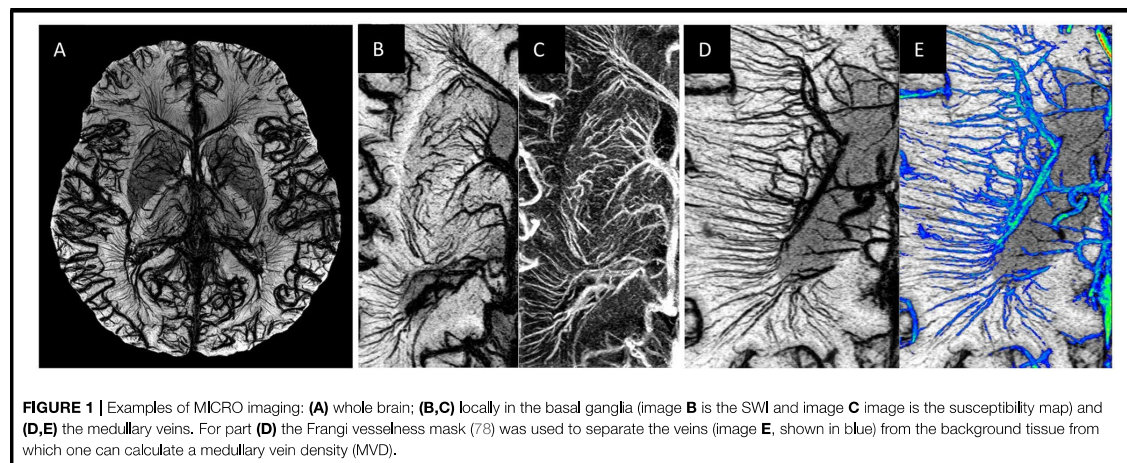
Fig 11: Infratentorial medullary vein(文献 14 より)



【今後の展望】 (Fig 12-14) 11,15-17

Cadaver や動物を用いた標本により、精細な medullary vein の情報が積み重ねられてきた。日常臨床の中で medullary vein の情報を収集するには MRI と脳血管撮影(3DRA や CBCT を含めて)が中心になるだろう。Fig 3 の fiber tract のように、MRI は血管構造以外の情報も評価しうるのが利点であると考ええる。

Fig 12: MICRO MRI による medullary vein 評価(文献 15 より)



Ferumoxytol (CKD に伴う IDA 治療薬。鉄のナノ粒子で、MRI の造影剤としても使用されうる)を造影剤として使用する Microvascular in-vivo Contrast Revealed Origins (MICRO) imaging (high-resolution SWI) で撮影。Deep parenchymal vein のうち medullary vein はよく観察でき、superficial medullary vein のうち、superficial medullary vein も見える。しかし superficial 群でも intracortical vein や subcortical vein は観察が難しく、deep の中でも deep medullary vein へ各 zone で合流する branch も見えない。

Fig 13: 7T MRI dual-echo gradient echo で medullary vein を観察(文献 16 より)

Deep medullary vein(青丸)や subependymal vein でもある longitudinal caudate vein of Schlesinger(オレンジ矢印)は確認できるが、それ以上は難しい。

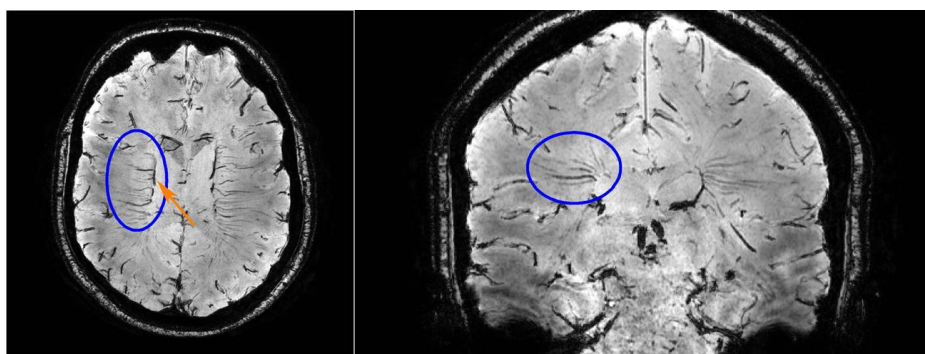


Fig 14: 3T SWI(thickness 10mmd で高齢者の white matter hyperintensities(WMH)と deep medullary veins(DMV)の関係を検討(文献 17 より)

Deep medullary vein や longitudinal caudate vein of Schlesinger までの観察になる。

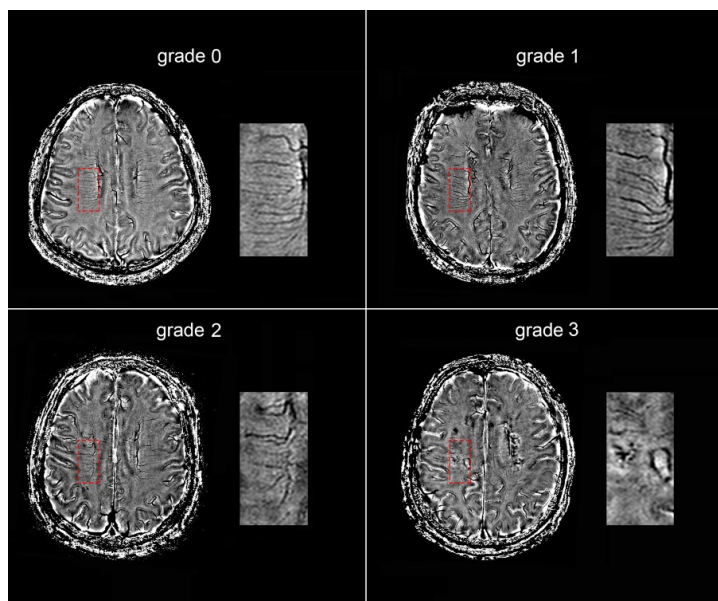
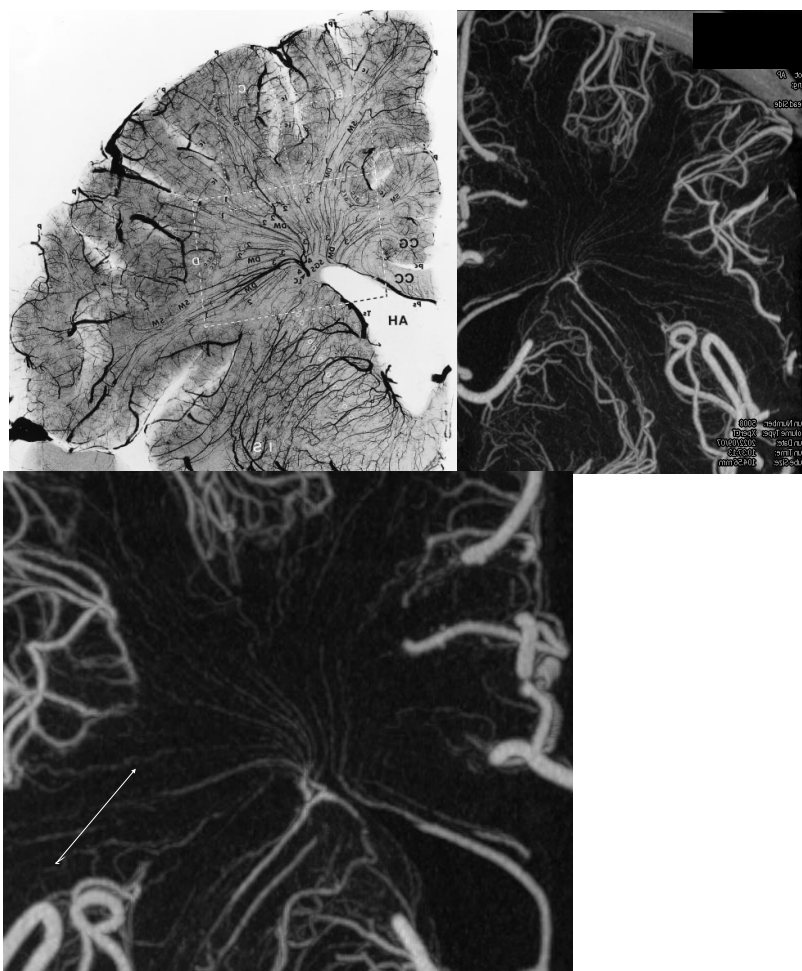


Fig 15: CBCT(自験例)(文献 11 と比較)

やはり Deep parenchymal vein のうち medullary vein はよく観察でき、superficial medullary vein のうち、superficial medullary vein も見える。しかし superficial 群でも cortex 近傍や、deep medullary vein へ合流する branch は見えない。



【まとめ】

深部白質の静脈解剖を歴史的変遷含め紹介した。

DVA などがなければ通常の脳血管撮影では十分に観察できず、MRI や CBCT でも cadaver を用いた標本と同等の情報が得られないのが現状である。

これからの進歩に期待しつつ、見えないもののそこにあることに想いを馳せつつ楽しみたい。

【References】

- 1) PADGET DH. The cranial venous system in man in reference to development, adult configuration, and relation to the arteries. Am J Anat. 1956;98(3):307-355. doi:10.1002/aja.1000980302
- 2) Surgical Neuroangiography vol.1 pp650-661
- 3) B. Schlesinger, The venous drainage of the brain, with special reference to the Galenic system, Brain, Volume 62, Issue 3, September 1939, Pages 274-291, <https://doi.org/10.1093/brain/62.3.274>
- 4) Taoka T, Fukusumi A, Miyasaka T, et al. Structure of the Medullary Veins of the Cerebral Hemisphere and Related Disorders. Radiographics. 2017;37(1):281-297. doi:10.1148/rg.2017160061
- 5) Jimenez JL, Lasjaunias P, Terbrugge K, Flodmark O, Rodesch G. The trans-cerebral veins: normal and non-pathologic angiographic aspects. Surg Radiol Anat. 1989;11(1):63-72. doi:10.1007/BF02102249
- 6) Komiyama M. Trans-cortical and trans-striatal venous collaterals in the hemodynamic compromise of deep venous system. Interv Neuroradiol. 2020;26(4):451-454. doi:10.1177/1591019920907418
- 7) Smirnov M, Destrieux C, Maldonado IL. Cerebral white matter vasculature: still uncharted?. Brain. 2021;144(12):3561-3575. doi:10.1093/brain/awab273
- 8) Friedman DP. Abnormalities of the deep medullary white matter veins: MR imaging findings. AJR Am J Roentgenol. 1997;168(4):1103-1108. doi:10.2214/ajr.168.4.9124123
- 9) Hassler O. Deep cerebral venous system in man. A microangiographic study on its areas of drainage and its anastomoses with the superficial cerebral veins. Neurology. 1966;16(5):505-511. doi:10.1212/wnl.16.5.505
- 10) Hooshmand I, Rosenbaum AE, Stein RL. Radiographic anatomy of normal cerebral deep medullary veins: criteria for distinguishing them from their abnormal counterparts. Neuroradiology. 1974;7(2):75-84. doi:10.1007/BF00341874
- 11) Okudera T, Huang YP, Fukusumi A, Nakamura Y, Hatazawa J, Uemura K. Micro-angiographical studies of the medullary venous system of the cerebral hemisphere. Neuropathology. 1999;19(1):93-111. doi:10.1046/j.1440-1789.1999.00215.x
- 12) Functional Cerebral Venous Anatomy from the Viewpoint of Venous Collaterals Part I, Supratentorial Superficial and Deep Venous System. Takahiro Ota, Originally published 8 Dec 2023 <https://doi.org/10.1161/SVIN.123.001050> Stroke: Vascular and Interventional Neurology. 2024;4:e001050
- 13) NNAC 2014 石黒先生資料
- 14) Lee C, Pennington MA, Kenney CM 3rd. MR evaluation of developmental venous anomalies: medullary venous anatomy of venous angiomas. AJNR Am J Neuroradiol. 1996;17(1):61-70.

- 15) Haacke EM, Ge Y, Sethi SK, Buch S, Zamboni P. An Overview of Venous Abnormalities Related to the Development of Lesions in Multiple Sclerosis. *Front Neurol.* 2021;12:561458. Published 2021 Apr 26. doi:10.3389/fneur.2021.561458
- 16) Kuijf HJ, Bouvy WH, Zwanenburg JJ, Razoux Schultz TB, Viergever MA, Vincken KL, Biessels GJ. Quantification of deep medullary veins at 7 T brain MRI. *Eur Radiol.* 2016 Oct;26(10):3412-8. doi: 10.1007/s00330-016-4220-y. Epub 2016 Feb 16. PMID: 26883328; PMCID: PMC5021732.
- 17) Zhang R, Zhou Y, Yan S, Zhong G, Liu C, Jiaerken Y, Song R, Yu X, Zhang M, Lou M. A Brain Region-Based Deep Medullary Veins Visual Score on Susceptibility Weighted Imaging. *Front Aging Neurosci.* 2017 Aug 8;9:269. doi: 10.3389/fnagi.2017.00269. PMID: 28848426; PMCID: PMC5550668.
- 18) Huang YP, Robbins A, Patel SC, et al. Cerebral venous malformations. In: Kapp JP, Schmidek HH, eds. *The Cerebral Venous System and Its Disorders*. New York: Grune & Stratton, 1984:373- 474
- 19) Lasjaunias P, Burrows P, Planet C. Developmental venous anomalies (DVA): the so-called venous angioma. *Neurosurg Rev* 1986;9(3):233–242.
- 20) Wolf BS, Huang YP. The Subependymal veins of the lateral ventricles. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med.* 1964;91:406-426.
- 21) Valavanis A, Wellauer J, Yaşargil MG. The radiological diagnosis of cerebral venous angioma: cerebral angiography and computed tomography. *Neuroradiology.* 1983;24(4):193-199. doi:10.1007/BF00399770
- 22) Yasargil MG, Damur M (1974) Thrombosis of the cerebral veins and dural sinuses. In Newton TH, Potts DG (eds) *Radiology of the skull and brain*. Mosby, St Louis
- 23) G.Salamon Y. P. Huang. *Radiologic Anatomy of the Brain*. Springer-Verlag, Berlin, 1976
- 24) Huang YP, Okudera T, Fukusumi A, et al. Venous architecture of cerebral hemispheric white matter and comments on pathogenesis of medullary venous and other cerebral vascular malformations. *Mt Sinai J Med* 1997;64(3):197–206.)