

Collateral Pathways of the Galenic System

石黒友也, 小宮山雅樹

Tomoya Ishiguro, Masaki Komiyama

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: Galenic system, internal cerebral vein, collateral pathway

【はじめに】

Galenic systemはinternal cerebral vein (ICV)とガレン大静脈 (great cerebral vein of Galen) からなり、深部静脈を還流している。深部静脈はICVの他にbasal vein of Rosenthal (BVR)からも還流され、BVRはガレン大静脈へ流入する。松果体部腫瘍の手術や脳深部静脈血栓症などによりガレン大静脈が閉塞すると静脈還流障害によって脳深部に静脈性梗塞や出血を生じることがあり、これはICVやBVRの側副血行路の発達による。BVRは深部静脈以外にも多くの皮質静脈が合流しており、また変異も比較的多いため、種々の側副血行路が発達し得る。一方、ICVの側副血行路に関する報告は少ない。本編ではICVの側副血行路に関して検討を行った。

【Galenic systemの発生】 (Fig.1)

発生の過程において受精から主な組織、器官が分化形成される胚子期の終わりである胎生8週 (頭殿長 (crown rump length: CRL) 18mm)にはモンロー孔周囲の脈絡裂 (choroidal fissure) に沿って終脳の脈絡叢が発達する。そこからの血流はinferior choroidal veinからventral diencephalic veinへ流出している。胎生9週 (CRL 24mm)頃になり側脳室が大きくなってくると、徐々に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が血流を集めるようになる。線条体が発達してくる胎生11週 (CRL 40mm)頃には左右1対のICVが形成される。Superior choroidal veinはモンロー孔でICVにつながるようになり、またdorsal diencephalic veinがICVの後方につながる。ICVはmedian veinの後方へつながり、それとともにmedian veinは前方から退縮していく。この頃にはventral diencephalic veinの血流はprimitive tentorial sinus を介して横静脈洞

に還流されており、その他にlateral mesencephalic veinやanterior pontomesencephalic veinとも交通を持つ。胎生13週 (CRL 80mm)頃にはthalamostriate veinやseptal veinがモンロー孔でICVへ合流し、両側のICVとの接合点より後方のmedian veinは残存してガレン大静脈となる。

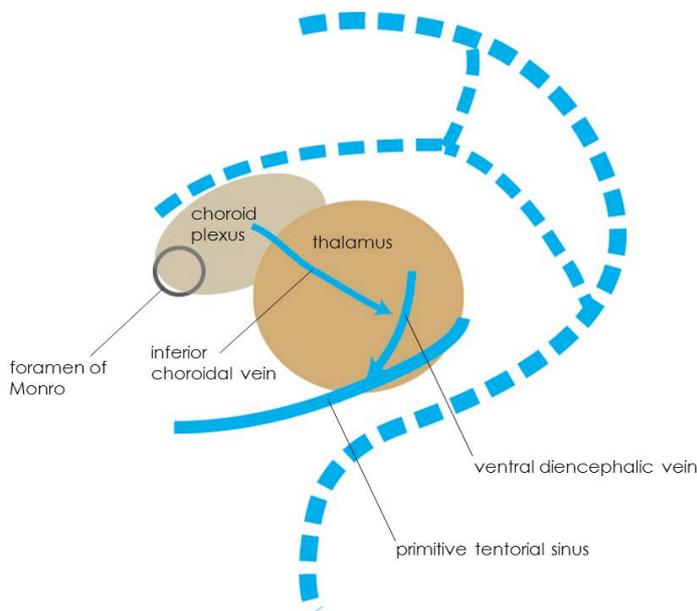
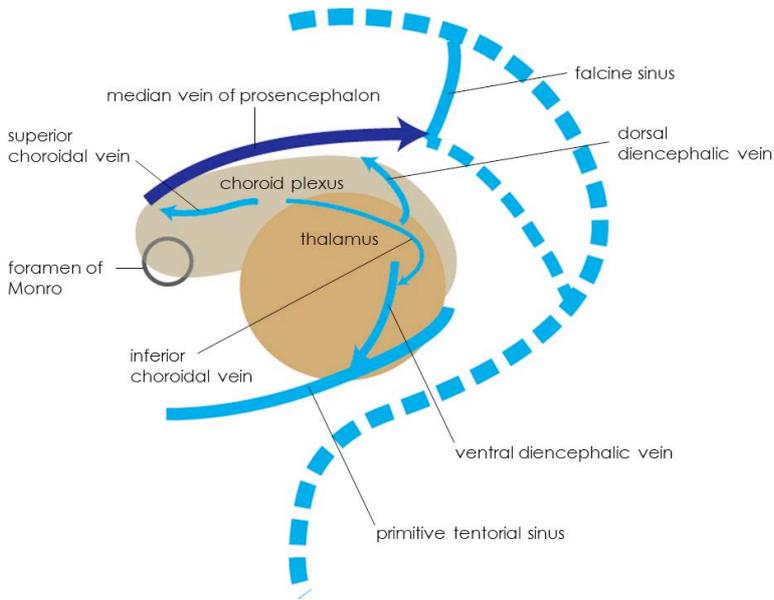


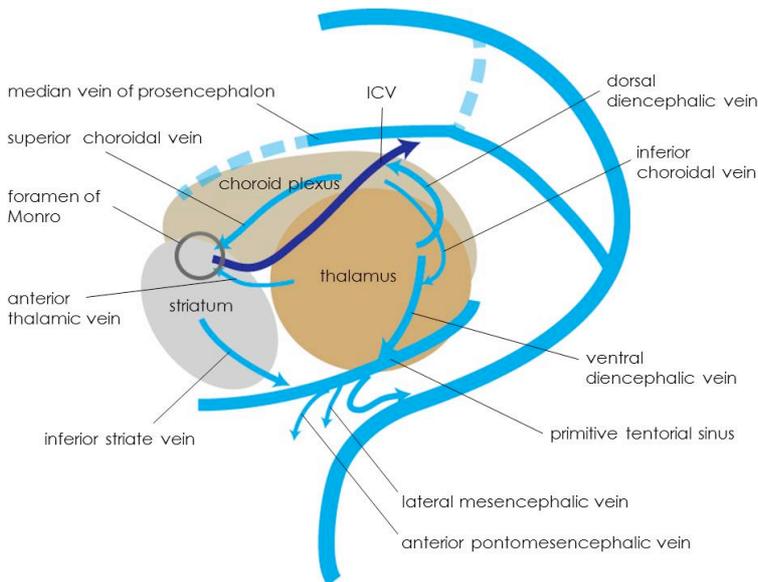
Fig.1: Galenic systemの発生

1A: 胎生8週頃 (CRL 18mm).

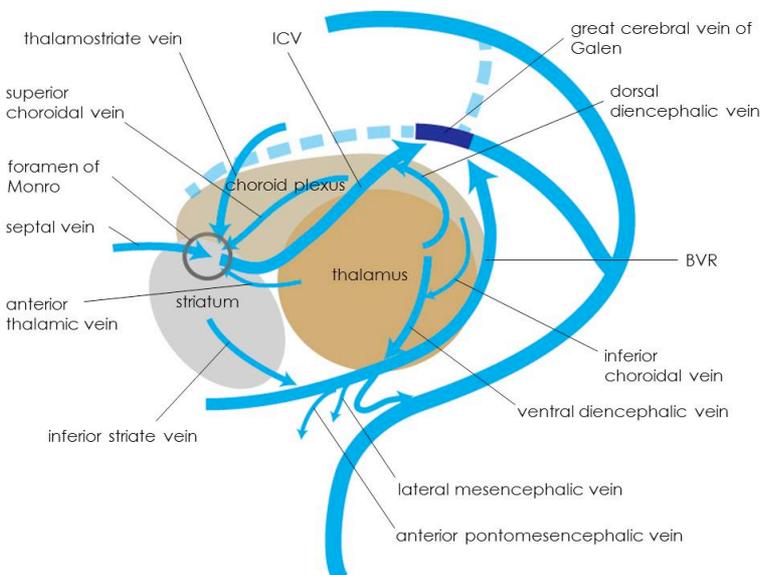
Inferior choroidal veinが脈絡叢からの血流を還流している。



1B: 胎生9週頃 (CRL 24mm). Superior choroidal veinが脈絡叢の主な導出静脈となり, median vein of prosencephalonに流入している.



1C: 胎生11週頃 (CRL 40mm). ICVが形成され, median veinの後方へつながる. それとともにmedian veinは頭側から退縮していく.



1D: 胎生13週 (CRL 80mm). Septal vein, thalamostriate vein, anterior thalamic vein, superior choroidal veinがモンロー孔でICVに合流している. ICVとの接合点より後方のmedian veinは残存してガレン大静脈となる.

【ICVの正常解剖】

ICVはsmall cerebral vein of Galenとも呼ばれ、脳室壁、深部髄質、線条体、脈絡叢からの静脈を受けており、第3脳室の天井、脳弓の下、両側視床の内側面によって囲まれたくも膜下腔である中間帆 (velum interpositum)内を左右1本ずつ走行している。モノロー孔の後上縁でseptal vein, thalamostriate vein, anterior thalamic vein, superior choroidal veinが合流して中間帆に入りICVとなる。ICVは中間帆内で様々な静脈を受けながらS状の形状を呈して後方へ走行して、四丘体槽 (quadrigeminal cistern)に出た後に脳梁膨大部の下後方で対側のICVおよびBVRとともにガレン大静脈へ流入する。ICVへ流入する静脈には上衣下静脈 (subependymal vein), 脈絡叢静脈, 脳梁静脈, 視床静脈がある。

1) 上衣下静脈

上衣下静脈は深髄質静脈 (deep medullary vein)が集まった後に、側脳室壁の静脈を受けながら上衣下を走行して、最終的にICVやBVRへ流入する。内側群 (medial group)と外側群 (lateral group)とに分けられ、前者は大脳半球の深部白質からの静脈のみを受けて、側脳室の上壁や内側壁に沿って走行し、脳弓を貫通して中間帆へ入る。一方、後者は深部白質だけでなく灰白質である大脳基底核の上下外側部からの静脈も受けて、外側壁や下壁に沿って走行する。尾状核と視床背側との間にあり扁桃核と中隔核、視床下部、視床とを結ぶ繊維が走行している分界条 (stria terminalis)や脈絡裂の視床側にある脈絡ひも (tenia choroidea)の深部を内側に向かい、中間帆内へ到達してICVに流入する。ヒトでは外套 (pallium)の発達線条体よりも早く、C字を描くように後頭葉・側頭葉が発達する。このため側脳室もC字型の間腔となり、側脳室下角では上衣下静脈の走行と脳室との関係が逆転し、内側群は下壁に沿って走行して海馬采 (fimbria)を貫いて迂回槽 (ambient cistern)へ入り、外側群は上壁に沿って走行して、分界条や脈絡ひもの深部を内側に向かい迂回槽へと入る (Fig.2A)。

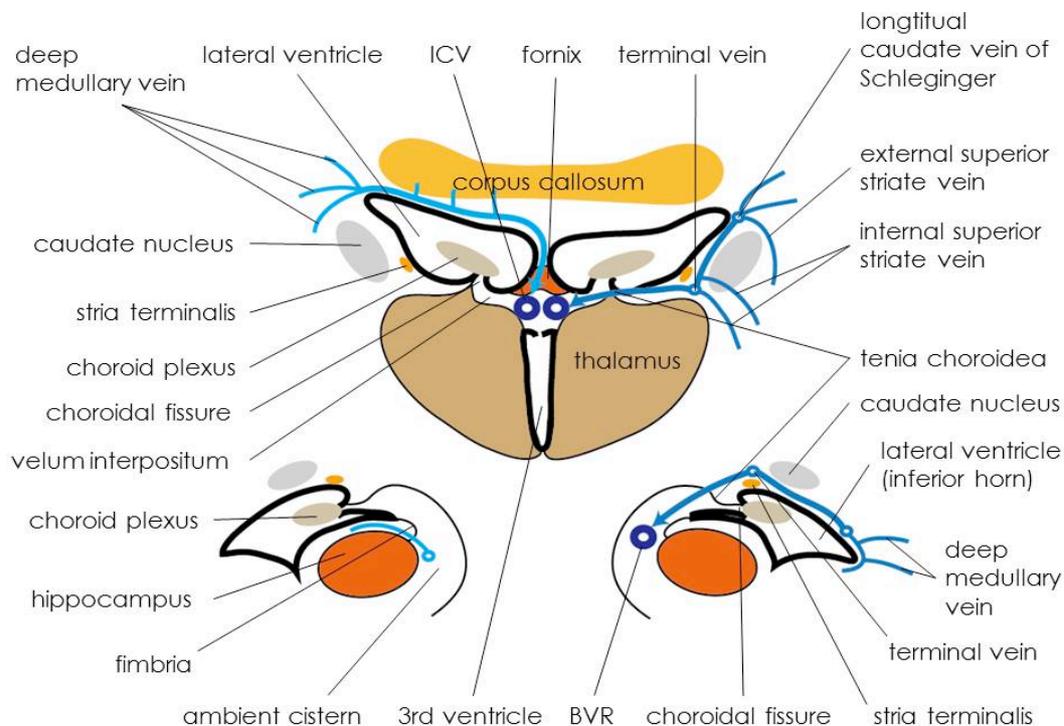


Fig.2: ICVの正常解剖

2A: 上衣下静脈と周囲の構造との関係 (冠状断像)。内側群の走行を左に、外側群の走行を右に示している。下角では上衣下静脈と脳室との関係が逆転している。

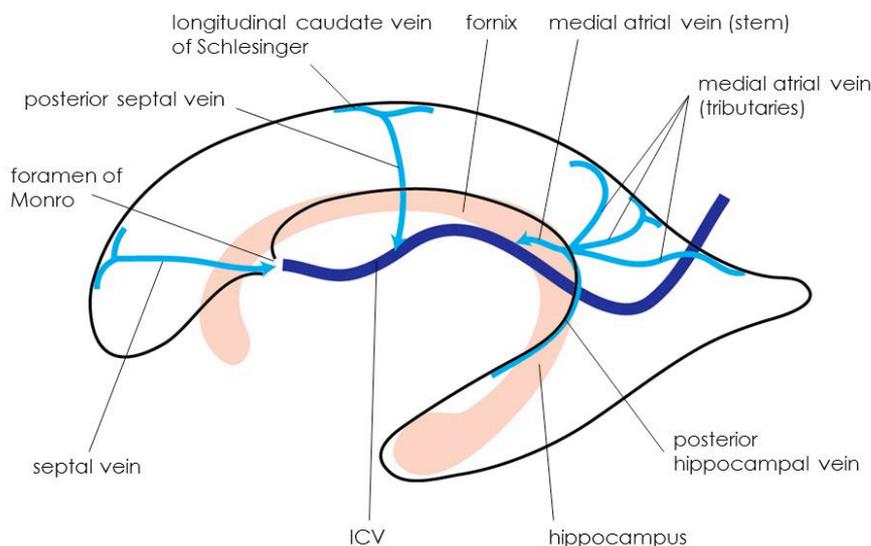
上衣下静脈には以下の静脈がある。

1-A. 内側群 (Fig.2B)

Septal vein：側脳室前角の前外側部に深髄質静脈が集まり、脳梁膝部の後面にある前角の前壁を内側に進み (callosal segment), 透明中隔に達して後方に向きを変える (septal point). その後、透明中隔に沿って後方へ走行し (septal segment), 脳弓柱の側方をまわり (columnar segment), モンロー孔後上縁で thalamostriate vein, anterior thalamic vein, superior choroidal veinとともにICVへ流入する。

Posterior septal vein：側脳室体部の外側角に集まる深髄質静脈を受け、側脳室上壁に沿って後内側に走行し、その後、内側壁に沿って下降して脳弓体部を貫いて中間帆に入りICVへ流入する。

Medial atrial vein：頭頂葉後部や後頭葉の深髄質静脈を受け数本の静脈が側脳室三角部や後角の上壁から内側壁に沿って走行し、脳弓体部や脚部を貫いた後に共通幹となりICVへ流入する。側脳室体部の内側壁の血流を受けることもあり、その場合はposterior septal veinの発達不良である。海馬からの静脈は transverse hippocampal veinが海馬采を貫いた後にanteriorおよびposterior hippocampal veinとなり、前者は下行してinferior ventricular veinに、後者は上行してmedial atrial veinの共通幹に流入する。



2B: 上衣下静脈の内側群 (側面像)

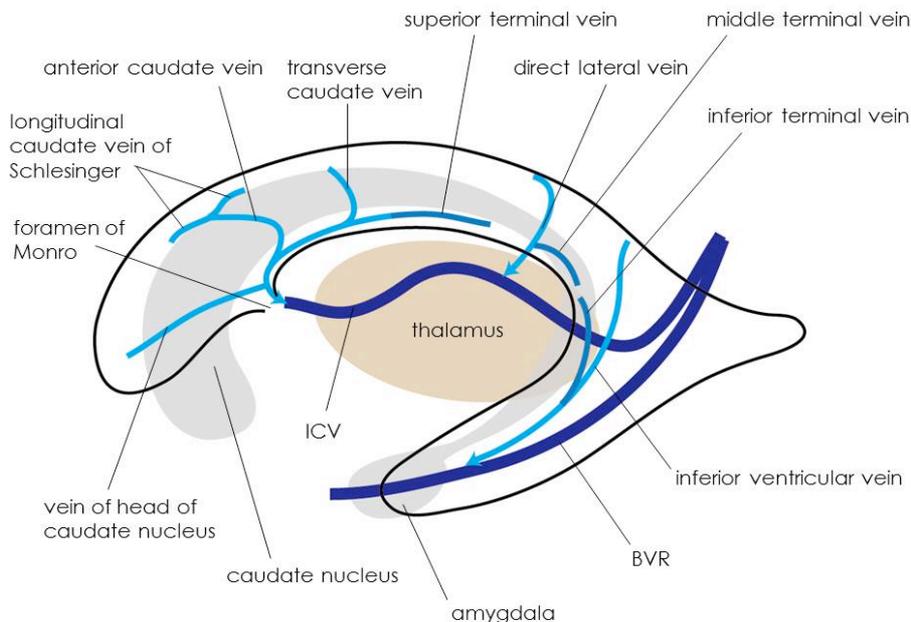
1-B. 外側群 (Fig.2C)

Thalamostriate vein：前頭頭頂葉の深部白質および線条体上前部の静脈を還流し、視床からの血流は受けない。三角部の前壁または体部の下外側壁から起始して前方に走行し、モンロー孔付近で尾状核頭部の静脈を還流するanterior caudate veinやvein of head of caudate nucleusを受け。その後内側へ向かい、モンロー孔の後上縁でseptal vein, anterior thalamic vein, superior choroidal veinとともにICVに流入する。尾状核や被殻上部、内包、前障からの静脈はsuperior striate veinが受け、前頭頭頂葉の深髄質静脈とともに側脳室前角から体部の外側角に沿って走行しているlongitudinal caudate vein of Schlesingerへと流入する。そこから数本のtransverse caudate veinが外側壁を尾状核体部に沿って走行してthalamostriate veinへ流入する。分界条と並行に走行する上衣下静脈はterminal veinと呼ばれ、thalamostriate veinの枝で分界条の深部を走行している部分はsuperior terminal veinに相当する。

Direct lateral vein：Thalamocaudate veinとも呼ばれ、thalamostriate veinとは相補的な関係にある。側脳室体部外側角や三角部の前外側壁から起始し、外側壁に沿って下方に走行した後に、内側へ向きを変えてICVに流入する。時に中間帆内でICVではなくmedial atrial veinの共通幹に合流することもある。側脳室体部後方で分界条の深部を走行するmiddle terminal veinはdirect lateral veinに流入している。

Middle terminal veinは隣接するsuperior terminal vein (thalamostriate veinの枝)やinferior terminal vein (inferior ventricular veinの枝)と交通を持つ。

Inferior ventricular vein：側脳室体部の外側壁より起始し、後方へ向い、三角部の前外側壁から下角の上壁に沿って走行して、脈絡裂の下端である下脈絡点 (inferior choroidal point)より迂回槽へ入りBVRへ流入する。この静脈が走行の途中で内側上方に向きを変えてICVへ流入する場合はlateral atrial veinと呼ばれる。側脳室下角で分界条の深部を走行しているinferior terminal veinはinferior ventricular veinへ流入する。



2C: 上衣下静脈の外側群 (側面像)

2) 脈絡叢静脈 (Fig.2D)

側脳室脈絡叢からの静脈はsuperior choroidal veinとinferior choroidal veinがあり、主に前者から還流されている。Superior choroidal veinは三角部から体部の脈絡叢の外側縁に沿って走行し、モンロー孔の後上縁でseptal vein, thalamostriate vein, anterior thalamic veinと合流してICVとなる。Inferior choroidal veinは下角の脈絡叢を還流し、下脈絡点でinferior ventricular veinに流入する。時に上行してICVやmedial atrial vein, direct lateral veinに流入することもある。

3) 脳梁静脈 (Fig.2D)

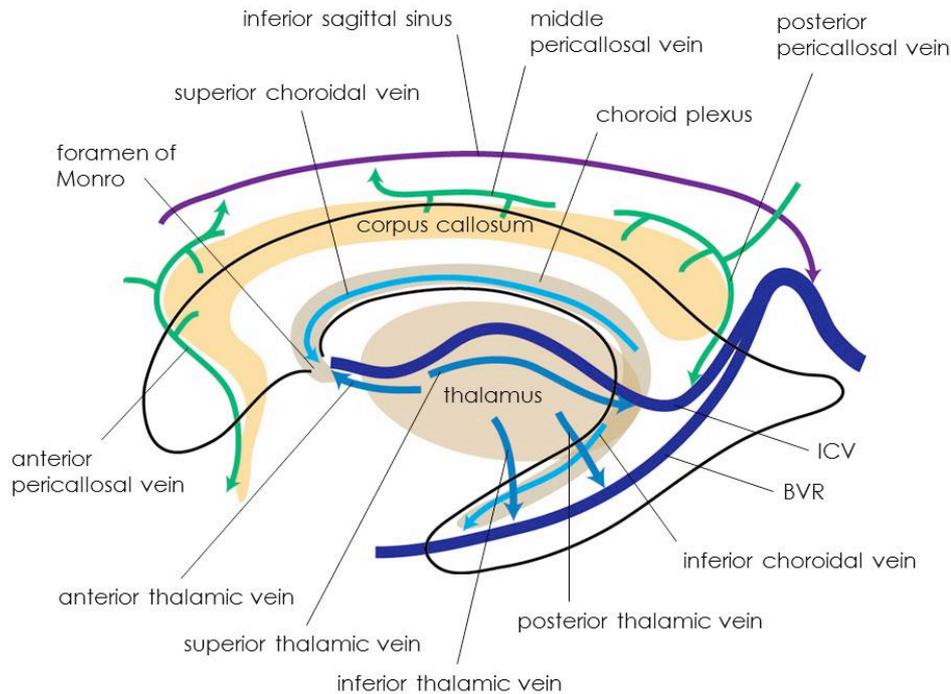
脳梁からの静脈は脳梁の背側にある脳梁周囲槽へ向かい、前1/3, 中1/3, 後1/3 でそれぞれ anterior, middle, posterior pericallosal veinへ流入している。Posterior pericallosal vein が最も発達しており、脳梁だけでなく頭頂葉内側面の深髄質静脈も受けて、脳梁膨大部の後縁をまわりICVまたはガレン大静脈へ流入する。Middle pericallosal veinは下矢状洞に直接流入するか、または前頭頭頂葉内側の静脈を介して上矢状洞へ流入している。Anterior pericallosal veinも下矢状洞に流入するが、より前方では脳梁膝部に沿って終板へ向かって下行して、BVRの第1分節の枝であるanterior cerebral veinに流入する。

4) 視床静脈 (Fig.2D)

視床の静脈はsuperior, anterior, inferior, posteriorに分けられ、superior thalamic veinが最も発達している。Superior thalamic veinは視床の真ん中から内側へ向かった後に、ICVの下をこれとほぼ平行に走行して、ICVの後部またはガレン大静脈へ流入する。Anterior thalamic veinは視床の前部から前上方へ

向って、 Monroe 孔後上縁で septal vein, thalamostriate vein, superior choroidal vein と合流して ICV となる。 Inferior thalamic vein は視床の下部から後有孔質を通して peduncular vein へ流入する。

Posterior thalamic vein は最も小さく、視床の後外側から下部を還流して BVR へ流入する。



2D: 脈絡叢静脈, 脳梁静脈, 視床静脈 (側面像)

【ICVの側副血行路】

ICVの側副血行路が発達するのは松果体部腫瘍の手術や脳深部静脈血栓症などでガレン大静脈が閉塞した場合だけでなく、頭蓋内動静脈シャント疾患によってガレン大静脈からICVへ向かって逆流を認めている場合もある。ガレン大静脈瘤は脈絡裂の動静脈シャントの流出路として median vein of prosencephalon の一部が遺残して拡張しており、静脈瘤と深部静脈との交通は通常認めない。したがってガレン大静脈瘤の症例でもICVの側副血行路は発達している。ICVの主要な側副血行路は1) Transcerebral route, 2) Striate route, 3) Direct cortical route, 4) Terminal vein route, 5) Thalamic routeがある。その他にhippocampal veinやchoroidal veinも理論的には側副血行路として機能しうる。

主要な側副血行路の詳細を以下に示す。

1) Transcerebral route (Fig.3)

髄質静脈は浅髄質静脈 (superficial medullary vein) と深髄質静脈とがあり、前者は脳表から約1-2cmの皮質下白質から始まって脳表の皮質静脈に還流する。後者は浅髄質静脈より深部の白質を還流しており、側脳室の外側壁へ向かって上衣下静脈に流入する。髄質静脈を介して脳表の皮質静脈と上衣下静脈が交通していることがあり、transcerebral veinと呼ばれる。深髄質静脈は前頭葉の前部ではseptal veinやanterior caudate veinに、前頭葉の後部や頭頂葉の前部ではthalamostriate vein, posterior septal vein, direct lateral vein, medial atrial veinに、頭頂葉の後部や後頭葉ではmedial atrial vein, lateral atrial vein, direct lateral veinに、側頭葉の後部ではinferior ventricular vein, lateral atrial vein, direct lateral veinに、側頭葉の前部ではtemporal tip subependymal veinなどのtemporal veinに流入している。これらの静脈がtranscerebral veinを介して脳表との交通を持っている場合にICVの側副血行路となる。

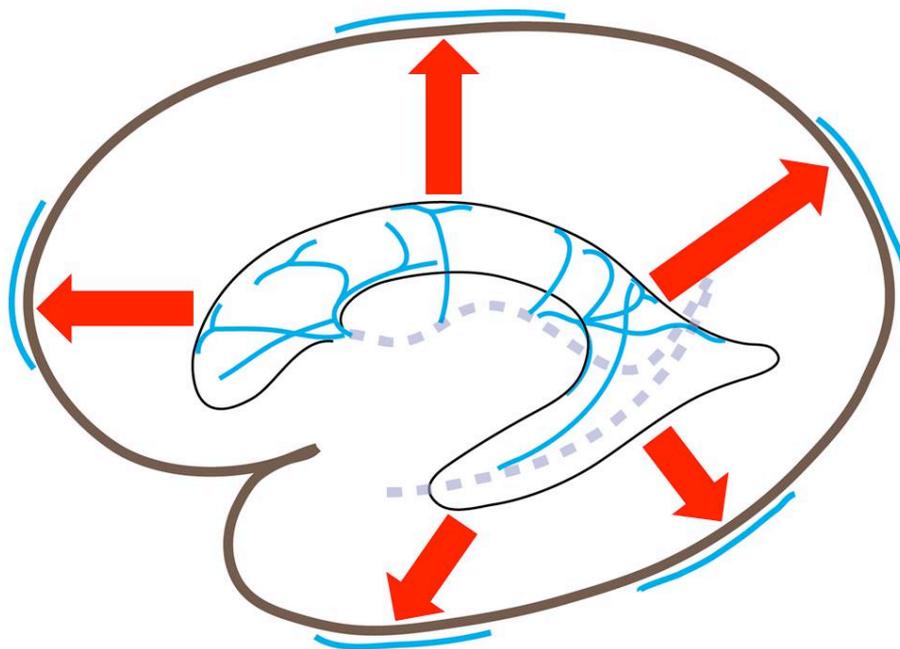
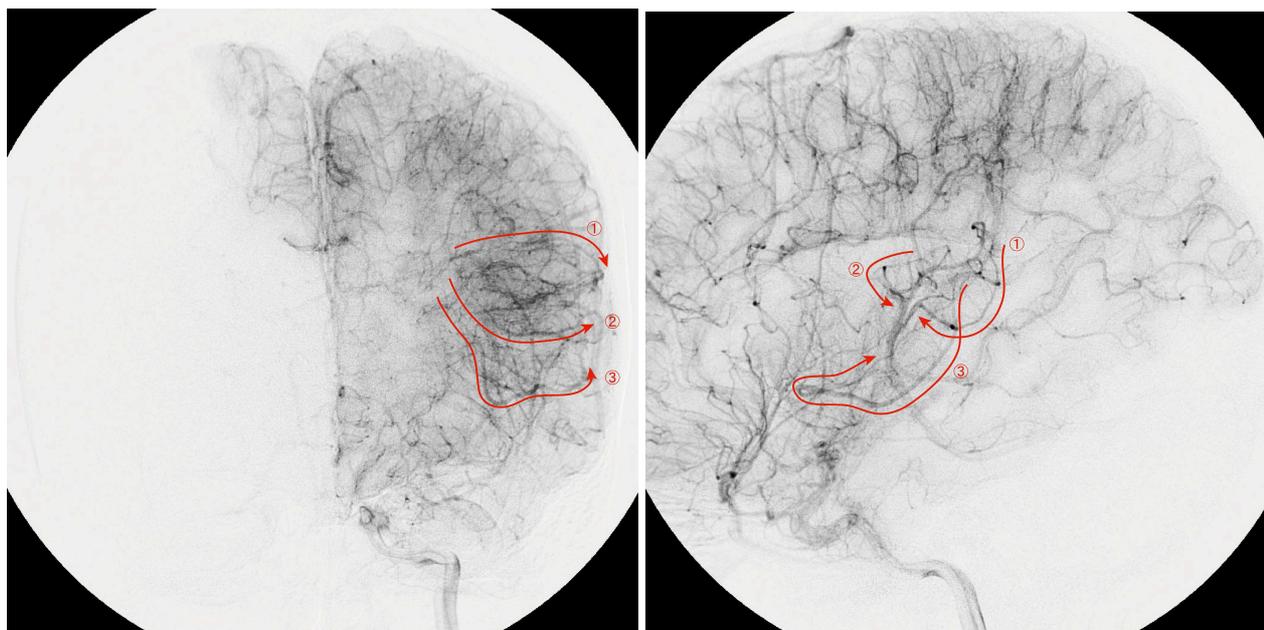


Fig.3: Transcerebral route
3A: 上衣下静脈は transcerebral veinを介して 脳表の静脈と交通する.



3B, C: 脳深部静脈血栓症の症例. 両側ICV, BVRとガレン大静脈, 直静脈洞は閉塞している. 左内頸動脈撮影 静脈相の正面像 (3B)と側面像 (3C). 深部静脈の血流は側脳室体部や三角部の外側壁から3本の transcerebral veinを介してvein of Labbéに還流されている. Transcerebral veinの走行を矢印①-③ で示す.

2) Striate route (Fig.4)

尾状核とレンズ核からの静脈は上方ではsuperior striate veinを介してICVへ還流され, 下方ではinferior striate veinとなり前有孔質を通りdeep middle cerebral vein (MCV)に流入する. Superior striate veinのうちレンズ核と前障との間の外包に沿って走行しているものはexternal superior striate veinで, 被殻と淡蒼球との間にある外側髄板や淡蒼球内にある内側髄板に沿って走行するものはinternal superior striate veinである. External superior striate veinはanterior caudate vein, transverse caudate vein, direct lateral vein, posterior septal veinに流入し, internal superior striate veinはsuperior

terminal veinやdirect lateral vein, vein of head of caudate nucleusに流入する。 External superior striate veinはexternal inferior striate veinとinternal superior striate veinはinternal inferior striate veinと交通を持ち、ICVの側副血行路として機能する。

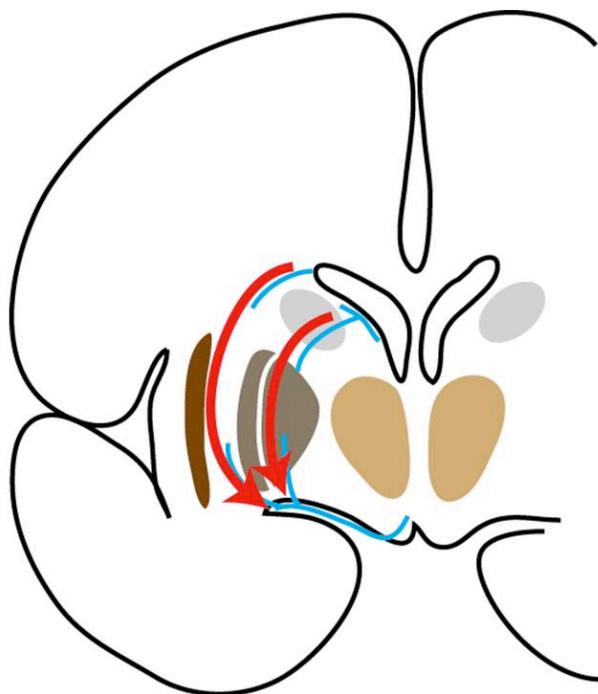
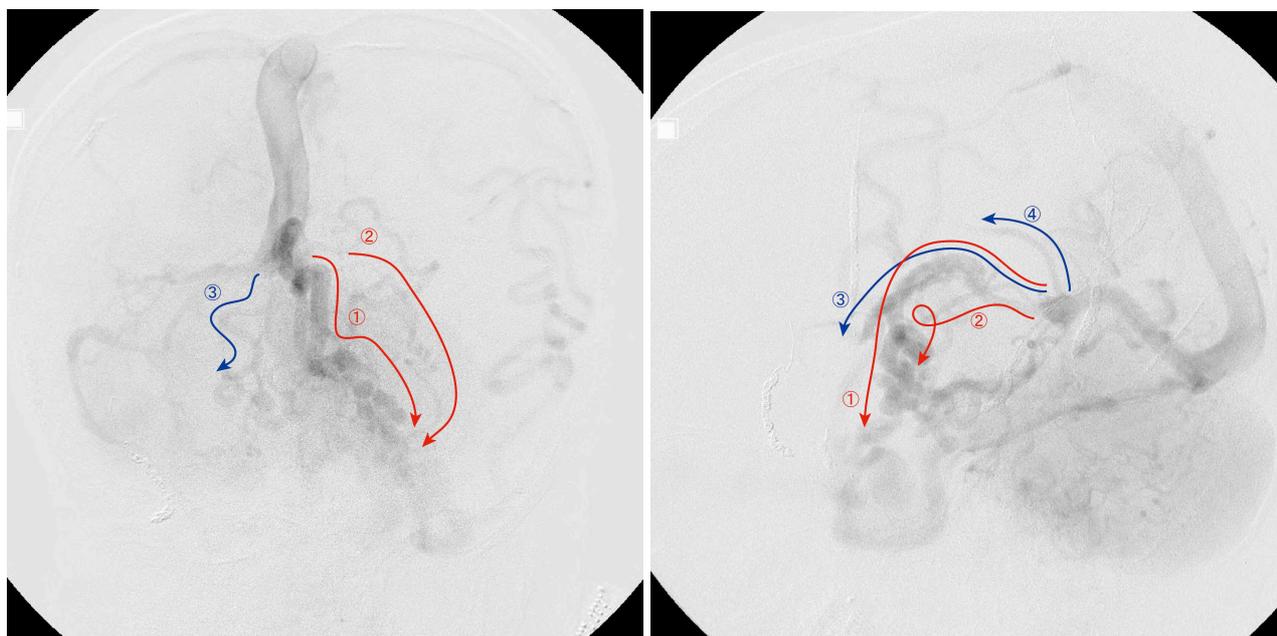


Fig.4: Striate route
4A: External superior striate veinはexternal inferior striate veinを, internal superior striate veinはinternal inferior striate veinを介してdeep middle cerebral veinへ流出する。



4B, C: Infantile dural arteriovenous shuntの症例。両側横・S状静脈洞は閉塞しており、上矢状洞に存在する動静脈シャントによって皮質静脈への逆流と上矢状洞から直静脈洞、ガレン大静脈を介して深部静脈系への逆流を認めている。左椎骨動脈撮影 正面像 (4B)と側面像 (4C)。両側ICV, 左posterior septal vein, 左BVRへの逆流を認める。左posterior septal veinを逆流している血流は側脳室内側壁に沿って前方へ走行し、モンロー孔付近でvein of head of caudate nucleusへ流入した後にinternal striate routeを介してdeep MCVへ流出している (矢印①)。左ICVを逆流している血流はanterior caudate veinからexternal striate routeを介してdeep MCVへ流出している (矢印②)。右側ではseptal veinからのtranscerebral route (矢印③)とposterior pericallosal veinからのdirect cortical route (矢印④)を認めている。

3) Direct cortical route (Fig.5)

pericallosal veinから半球間裂の皮質静脈へ直接流出する側副血行路で、anterior pericallosal veinからはmedial frontal veinを、middle pericallosal veinからはmedial frontal veinやparacentral veinを、posterior pericallosal veinからはmedial parietal veinを介して上矢状洞へ流入する。

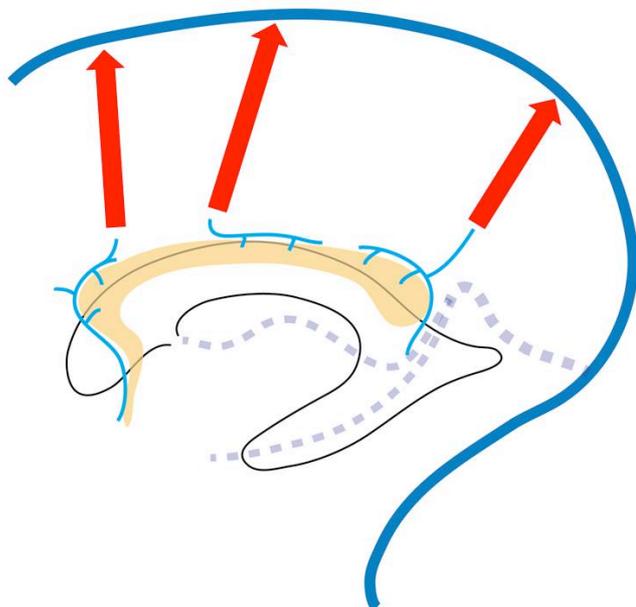
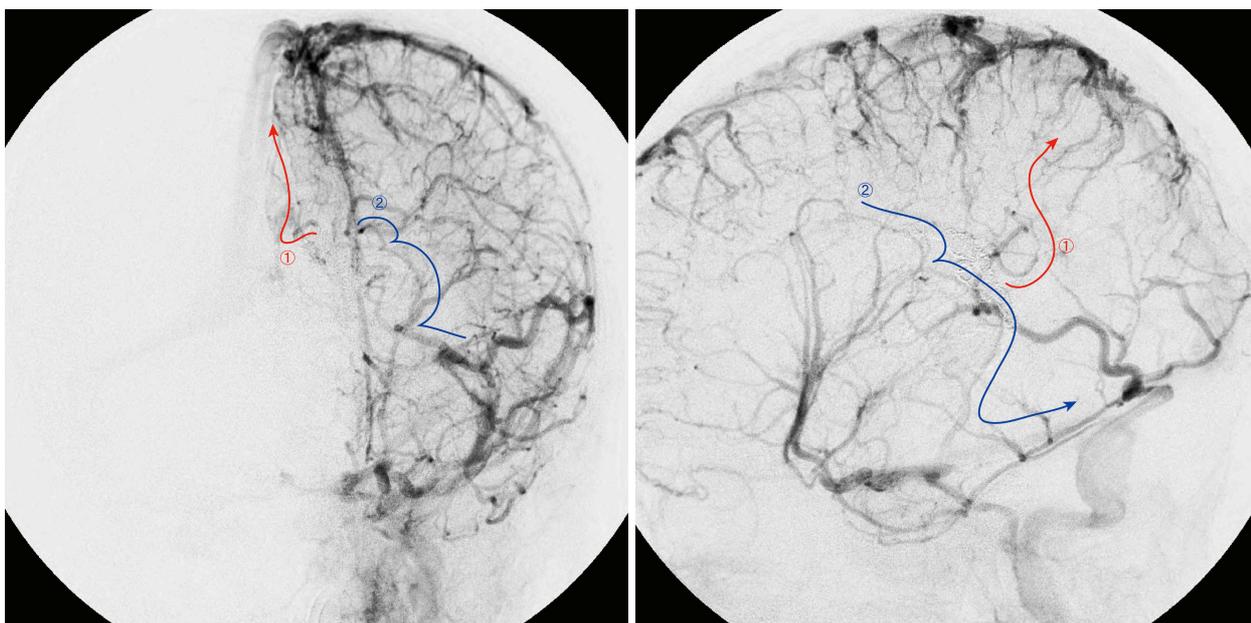


Fig.5: Direct cortical route
5A: Pericallosal veinは大脳半球間裂面の皮質静脈を介して上矢状洞と交通する。



5B, 5C: ガレン大静脈瘤 (choroidal type)の症例。塞栓術により動静脈シャントは完全に消失している。左内頸動脈撮影 正面像 (3B)と側面像 (3C)。深部静脈の血流がposterior pericallosal veinからmedial parietal veinを介して上矢状洞へ流出している (矢印①)。その他にthalamic routeを認めている (矢印②)。

4) Terminal vein route (Fig.6)

分界条の深部を走行するsuperior, middle, inferior terminal veinがそれぞれ交通することでterminal venous arcade (intraventricular arcade)が形成される。このarcadeは前方ではthalamostriate veinがモンロー孔でICVと、下方ではinferior ventricular veinが下脈絡点でBVRとそれぞれ交通している。Terminal venous arcadeに対してICV, BVR, ガレン大静脈のつながりはextraventricular arcade と考え

ることができる。Terminal venous arcadeはICVの外側群の静脈で構成されており、transverse caudate veinがこのarcadeを利用してinferior ventricular veinに流出することでICVの側副血行路として機能する。

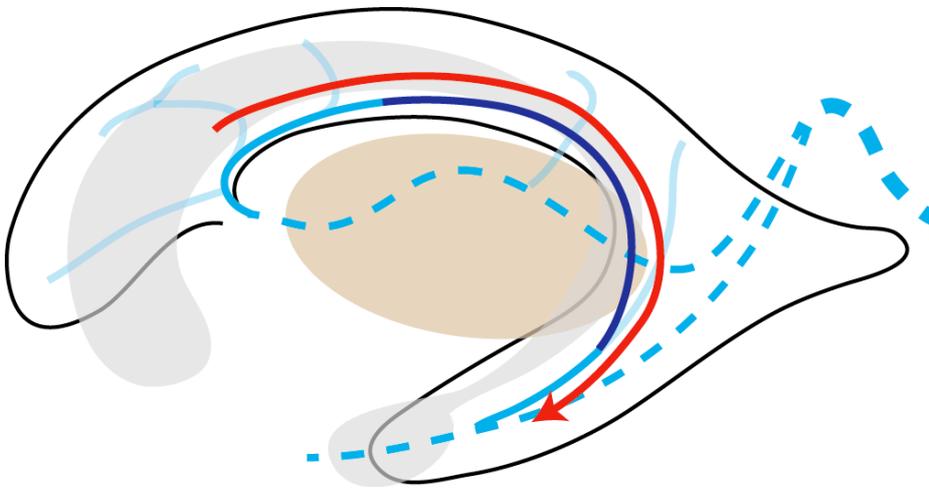
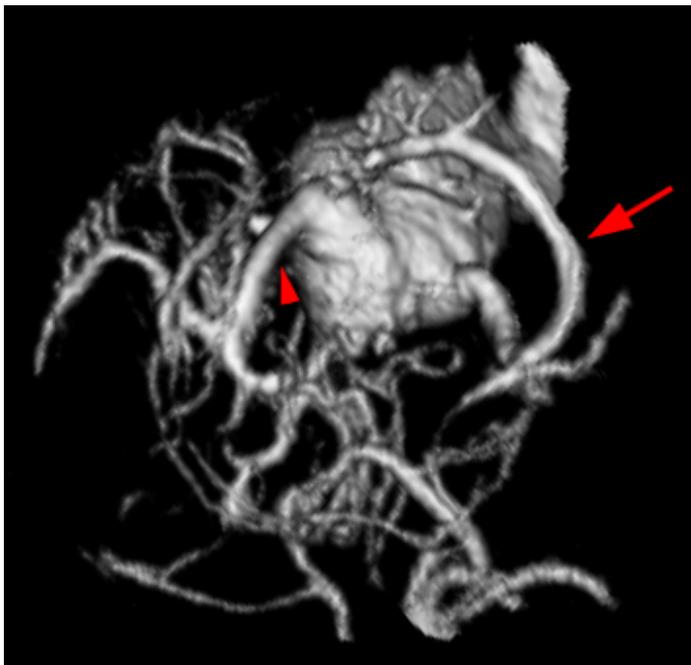
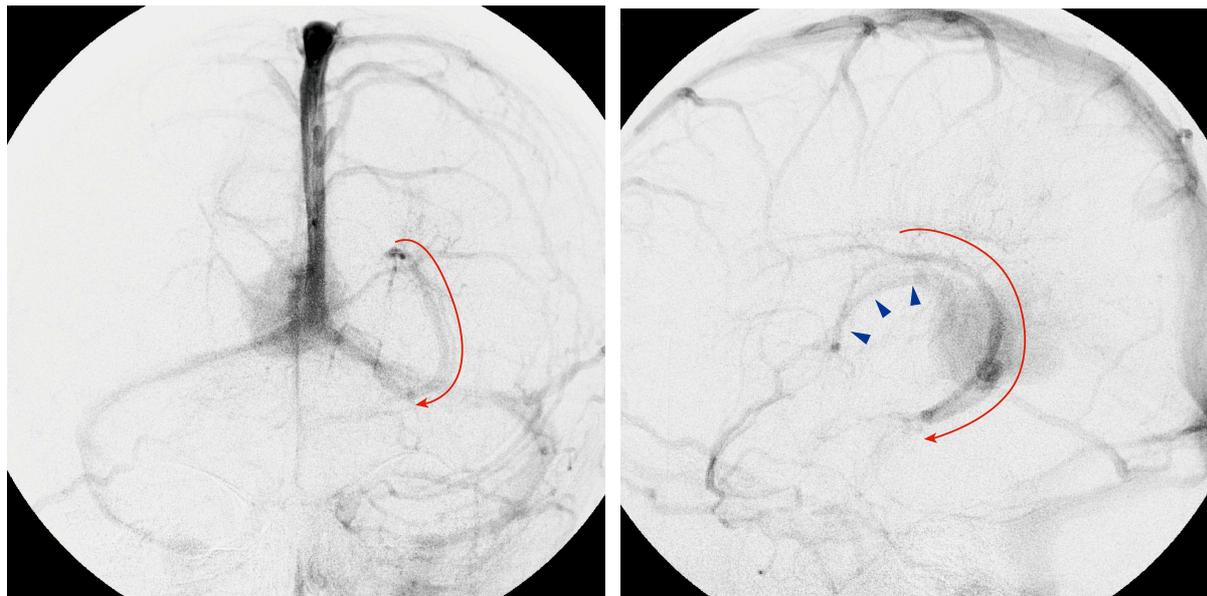


Fig.6: Terminal vein route

6A: Superior, middle, inferior terminal veinがそれぞれ交通することでthalamostriate veinからinferior ventricular veinにかけてterminal venous arcadeが形成される。



6B: 脳動静脈瘻によるvein of Galen aneurysmal dilatationの症例。深部静脈系のdevelopmental venous anomaly (DVA)を両側に認めている。3DCT angiographyで深部静脈系を拡大している。DVAによって深部静脈系は両側とも拡張している。左ICVの描出はなく、terminal vein (矢印)が明瞭に描出されている。右ICV (矢印頭)は脳動静脈瘻の流出路として拡張しているガレン大静脈と交通している。



6C, D: 左総頸動脈撮影 正面像 (6C)と側面像 (6D). 左ICVの描出はなく、深髄質静脈からの血流は longitudinal caudate vein of Schlesingerからtransverse caudate veinを経て、terminal venous arcadeを介してBVRへ向かっている。BVRは動静脈シャントによって拡張したガレン大静脈に流入している。Terminal veinの走行を矢印で示す。右ICVは順行性に拡張したガレン大静脈へ流入している (矢印頭).

5) Thalamic route (Fig.7)

視床の静脈はいずれも小さいため血管撮影で同定困難なことが多いが、ガレン大静脈瘤の症例では深部静脈系の主要な側副血行路となる。Transcerebral veinやstriate veinは胎生11週頃に形成される静脈で、ガレン大静脈瘤はそれより以前に発生する。したがってガレン大静脈瘤の症例では発生時期に認めている静脈構築であるventral diencephalic veinとdorsal diencephalic veinとの交通を利用した側副血行路が発達している。すなわち前頭頭頂葉の深髄質静脈をposterior thalamic veinやinferior thalamic veinが受けており、そこからtemporobasal veinに流出してテント静脈洞、横静脈洞へと向かう。またBVRの2nd segmentの枝であるlateral mesencephalic veinに流出することもある。

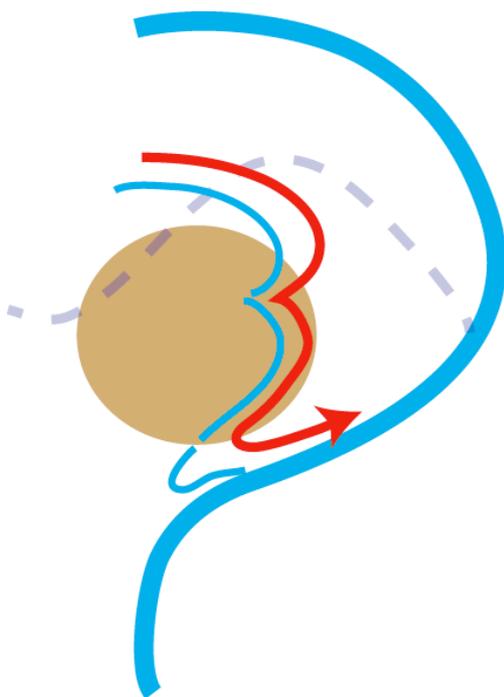
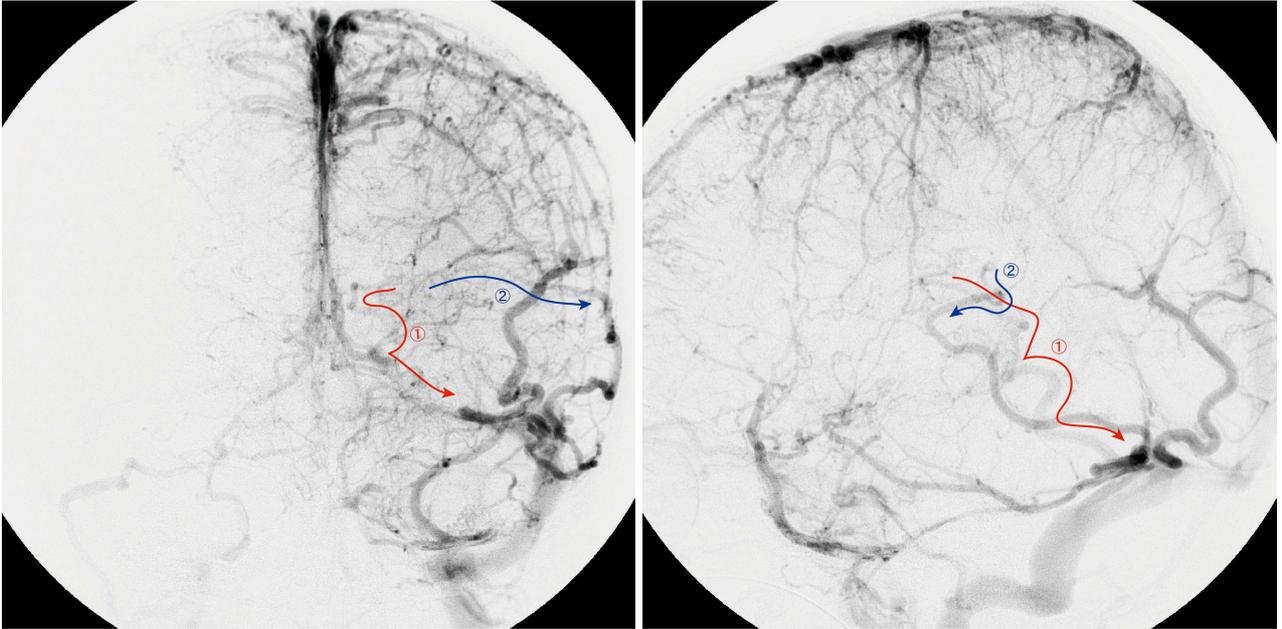


Fig.7: Thalamic route

7A: Posterior thalamic vein (またはinferior thalamic vein)が前頭頭頂葉の深髄質静脈を受け、temporobasal veinを介してテント静脈洞へ流出する。



7B, 7C : ガレン大静脈瘤 (choroidal type)の症例。塞栓術により動静脈シャントはほぼ消失している。左内頸動脈撮影 正面像 (7B)と側面像 (7C)。前頭葉の深髄質静脈からの血流はposterior thalamic veinを介してtemporobasal veinへ流出し、そこからテント静脈洞、横静脈洞へ向かっている (矢印①)。また transcerebral veinを介してvein of Labbéへの流出も認める (矢印②)。

参考文献

1. 浅利正二, 藪野信美, 大本堯史: 脳深部静脈血行障害時の側副血行路に関する臨床的検討. 脳神経 46: 935-939, 1994
2. 小宮山雅樹: 脳静脈・静脈洞: 脳脊髄血管の機能解剖 詳細版. メディカ出版, 大阪, 2011, 442-505
3. Lasjaunias P, Garcia-Monaco R, Rodesche G, et al: Deep venous drainage in great cerebral vein (vein of Galen) absence and malformations. Neuroradiology 33: 234-238, 1991
4. Lasjaunias P, ter Brugge KG, Berenstein A: Intracranial venous system: Surgical Neuroangiography, Vol. 1. Springer-Verlag, Berlin, 2001, 631-713
5. Padgett DH: The cranial venous system in man in reference to development, adult configuration, and relation to the arteries. Am J Anat 98: 307-355, 1956
6. Padgett DH: The development of the cranial venous system in man, from the viewpoint of comparative anatomy. Contrib Embryol 36: 81-140, 1957
7. Salamon G, Huang YP: Deep cerebral veins: Radiologic anatomy of the Brain. Springer-Verlag, Berlin, 1976, 210-261
8. Schlesinger B: The venous drainage of the brain, with special reference to the Galenic system. Brain 62: 274-291, 1939