

## Superior sagittal sinus

寺田愛子

Aiko Terada

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

Superior sagittal sinus (SSS) の正常解剖とその variation の理解は、脳静脈洞血栓症や動静脈シャント疾患、頭蓋骨膜の血管奇形といった血管病変のほか、隣接して発生する腫瘍や脳瘤などの先天性疾患の病態の把握と、その治療を安全におこなう上で重要である。SSS の正常解剖を含む variations と、その発生学的背景について概説する。

### 1. SSS の血管解剖

SSS は、大脳鎌が頭蓋骨に付着する硬膜内に包まれており、頭蓋骨内板の浅い溝内に存在している。前方は foramen cecum から、後方は torcular (Herophill) まで至る。SSS の断面は三角形で、後方になるにつれてその径は太くなる<sup>1)</sup>。

#### SSS と脳静脈

大脳半球上部の外側及び内側の表層を還流する表在性脳静脈が、bridging vein となり SSS へと流入する。前頭葉前方の脳静脈は、SSS の血流方向に流入し、前頭葉中間部分の脳静脈はほぼ直角に SSS へ流入するが、それより後方の頭頂後頭葉の脳静脈は、SSS の血流と反対に流入する。また、脳静脈は、SSS に流入する前に、共通幹を形成して合流することがある<sup>1)-2)</sup> (Figure 1)。SSS に流入する手前の脳静脈の本幹は、硬膜と隣接するか、あるいは硬膜内に存在するのだが、乳児でよくみられるように、硬膜下腔で free となっていることもある<sup>3)</sup>。

#### SSS と lateral venous lacuna

SSS は、不整形の静脈腔である lateral venous lacuna と隣接している。Venous lacuna は頭頂部に目立ってみられるが、後頭部や前頭部でもみられる<sup>1)</sup>。Venous lacunae 近傍にみられる静脈は、直接流入するというよりは、その下方を走行して SSS へ流入する<sup>2)</sup>。もともと、脳静脈は venous lacunae には流入していない。Venous lacunae は middle meningeal sinuses (いわゆる veins) が出生後に癒合したもので、meningeal sinus も vein も anterior dural plexus 由来であり、硬膜の inner layer と outer layer の間を縦走する<sup>3)</sup>。したがって、meningeal vein は、venous lacunae に流入する。meningeal sinus は、SSS の外側縁へ流入するが、ここで硬膜内に移行した bridging vein と合流する(Figure 2)。

また、くも膜顆粒 (pacchionian body) が、venous lacuna 内へと下向きに突出しており、SSS では 1cm 以下のくも膜顆粒が観察される<sup>1)</sup>。

### SSS と導出静脈 emissary vein

前頭蓋底部の foramen cecum を通過する frontal emissary vein (of foramen cecum) が、鼻腔の静脈と SSS をつなぐ。この emissary vein は血管撮影では描出されることはない<sup>1)</sup>、その存在は controversial であるが、造影 MRI や血管撮影で鼻腔に交通する emissary vein が描出された症例の報告もあり、臨床上では、鼻腔内の感染症や腫瘍の伸展の経路となる可能性や、前頭蓋底部の硬膜動静脈瘻の発生に関連する可能性がある<sup>7),8)</sup>。

SSS と連続するもう一つの emissary vein は、parietal foramen を通過する parietal emissary vein で、SSS と頭皮静脈をつなぐ。これは、正常の内頸動脈撮影ではみられないが、脳静脈血栓症などの頭蓋内圧亢進を伴う患者で時にみられるとされる。SSS からの血流が頭皮静脈へ流出するときは、通常 parietal emissary vein を介して superficial temporal vein に流出する<sup>1)</sup>。Parietal foramen は、70% 以上で片側にみられ、通常は 1mm 程度と小さい。Parietal foramina の anomaly として、両側に対称性に大きな孔がみられる “foramina parietalia permagna” がある。Parietal foramen は、胎生晩期から新生児期にみられる parietal fontanel が、出生後骨化がすすんで遺残した頭蓋孔で、正常であろうが、異常であろうが parietal fontanel の不完全閉鎖をあらわしている<sup>3),9)</sup>。

### SSS の variations と非対称性

SSS は、血管撮影では通常、冠状縫合から torcular まで描出され、冠状縫合より前方にはないとされる。SSS の variation は多くないが、rostral (proximal) third の SSS の低形成はしばしばみられ、大脳半球前方を還流する大きな表在性脳静脈が、SSS と並行して後方へ走行し、冠状縫合より後方で、通常より数 cm 外側の位置で SSS へと流出する<sup>1)</sup>。CTA の静脈相の連続 100 症例の検討では、片側の rostral SSS の低形成は 7% にみられ、両側の rostral SSS の低形成は 3% で、rostral SSS の duplication の症例はなかった<sup>4)</sup> (Figure 3)。頭頂後頭部の脳瘤や straight sinus の走行異常にともなう SSS の duplication や、dorsal SSS が低形成で rostral および middle SSS が persistent falcine sinus に流出する症例の報告もあるが<sup>5)</sup>、稀である。そのほかの variation として、transvers sinus と並行に走行し、temporal vein と SSS をつなぐ lateral convexity tributary sinus of SSS が報告されている<sup>6)</sup>。これは、bridging vein が SSS に流入する前に硬膜内を走行する部位が極端に長くなった variation と考えられる<sup>3),6)</sup>。

SSS は通常正中に位置するが、後方では正中から偏位するものもみられ、1cm 以上の偏位は 20% 近くの患者でみられる。SSS はしばしば片側の transverse sinus へ優位に流出し、右側優位のものは、左側優位の約 3 倍とされる<sup>1)</sup>。また、SSS は、transverse sinus へ流出しないことはほとんどないが、大孔に向かい occipital sinus を介して下方に連続して jugular bulb の内側面へ流出することがある。また、torcular は、SSS と straight sinus, occipital sinus の 3 つの静脈洞と両側の transverse sinus の合流部で、ときに複雑な静脈の血管網を形成することがある<sup>1)</sup>。

## 2. SSS と SSS に関連する静脈構造の発生<sup>3), 9)-11)</sup>

胎生5週早期 (Stage 2 by Padget, CRL 5mm) の神経管は primitive capillary plexus に覆われており、外背側面を還流する3つの表在性静脈叢 (anterior, middle and posterior dural plexus) からなり、これらは脳静脈還流の本幹となる primary head sinus に流入する。Anterior plexus は前脳 forebrain と中脳 midbrain を、middle plexus は後脳 metencephalon を、posterior plexus は髄脳 myelencephalon の、3つの静脈系にわけられる。Primary head sinus は、尾側で anterior cardinal vein に連続し、胎生6週 (Stage 3 by Padget, CRL 10mm) (Figure 5. A) には、XII脳神経の外側に移動して primitive internal jugular vein となる。Posterior dural sinus も尾側に移動して primitive jugular vein につながり、将来の sigmoid sinus の尾側断端となる。また、anterior dural plexus の分化がすすみ、大脳半球が発達する頭背側の正中領域に、将来の SSS の一部となる primitive marginal sinus がみられるようになる。尾側では、終脳 telencephalon を還流する telencephalic vein がみられ、その本幹は将来の tentorial sinus となる。Telencephalic vein は背側で middle dural plexus と吻合して、primitive transvers sinus となる。また脳表上では、dural layer と pial layer の分離が進み、この層を介在する疎な間葉組織が原始くも膜となる。

胎生7週後期 (Stage 5 by Padget, CRL 16-21mm) (Figure 5. B) になると、大脳半球や小脳半球が成長拡大し、耳胞の拡大・分化もすすむ。耳胞の拡大にともない、primary head sinus は退縮し、それにかわり middle および posterior dural plexus の間の dural anastomosis が sigmoid sinus の本幹となって発達していく。これにともない middle dural plexus の本幹は退縮して、primary head sinus の前方と結合して、pro-otic sinus (将来の cavernous sinus 内側) を形成する。

胎生8週 (Stage 6 by Padget, CRL 18-26mm) (Figure 5. C) になると、tentorial sinus が発達し、これを介して telencephalic (middle cerebral) vein は、primitive transvers sinus へ流出するようになり、anterior dural plexus の本幹は消退する。これと同時に、大脳半球の背尾側縁を囲む marginal sinus が発達する。Marginal sinus は、正中側で primitive transvers sinus とつながり、将来の transvers sinus 内側部分を担う。また、大脳半球間で形成され始めた大脳鎌 falx cerebri 内に観察される “sagittal plexus” (Streeter) と叢状吻合を形成し、将来の SSS および inferior sagittal sinus の一部となる。前脳 forebrain および中脳 midbrain と、後脳 hindbrain の間では、anterior および middle dural plexus が tentorium 内に集束し、tentorial plexus が形成される。Sagittal plexus は、たいてい非対称性で、右側優位に流出することが多い (89%)。これは transvers sinus、特にその内側 (近位側) を担う marginal sinus のサイズに反映され、右側は太く発達して、左側は叢状構造となる。この非対称性は、adult type でみられる傾向と一致している。Sagitto-tentorial plexus の深部成分は、将来の straight sinus を担っており、両側側脳室の脈絡叢を還流する primitive internal cerebral vein (Padget) (“median cephalic vein of Markowski (Markowski)”) と連続して、より発達した primitive transvers (marginal) sinus へ流出する。上記の通り、primitive transvers sinus は右側優位であり、典型的には左側優位とされる adult type の straight sinus の特性とは逆となる。

胎生9週 (Stage 7 by Padget, CRL 40mm) (Figure 5. D) では、tentorial plexus の外側縁は sigmoid sinus と合流して完成されるが、内側の marginal sinus は、大脳半球の拡大にともない、尾側方向への移動 (spontaneous migration) が続いている。この過程で大脳半球が正中に近づくにつれて、

sagittal plexus および marginal sinus は正中背側で吻合して、SSS を形成する。この過程では、1) 左右均等でなく、対側の血管が退縮して一方の血管が拡張する、あるいは、2) 両側の経路が癒合する (Streeter), という二つの機序が組みあわさって、SSS が形成される。Sagittal plexus の正中部分は、Galenic system の発生初期にも関与する。Primitive internal cerebral vein (vein of Markowski) を前駆体とする primitive great cerebral vein (of Galen) は、diencephalon の頂点近傍の松果体原基に起始する primitive straight sinus とつながる。胎生早期から右側優位に流出する primitive sagittal sinus と同様に、primitive straight sinus も右側優位に流出する。

また、この時期に、導出静脈 emissary vein が完成されていく。軟骨頭蓋では、導出孔周囲の硬膜静脈洞や静脈が完成すると、初期は頭蓋内静脈叢へ流入していた emissary vein が、軟骨頭蓋の発達にともない導出孔が形成されることで、external jugular vein の新たな分枝と secondary anastomosis を形成して、末梢側へ流出するようになる。一方、膜性頭蓋では、pro-otic sinus 由来の dural layer の外側 outer part に middle meningeal sinus が形成されるが、これとは別に、円蓋部の頭皮静脈 scalp vein は、頭皮静脈叢 scalp plexus として胎生9週頃に形成される。したがって、軟骨頭蓋と異なり primitive emissary vein に相当する血管構造はないが、emissary vein として唯一 parietal emissary vein のみ形成される。胎児晚期または出生後 (CRL 50mm 以降) に、頭皮静脈叢から伸展した血管の断端同士が parietal foramen (parietal fontanel) の位置で結合していく際に、tentorial plexus を覆う状態となり、ここに頭皮血管 scalp vessel と parietal meningeal vessel が集束し、このうちの静脈が吻合することで、parietal emissary vein が形成される。

胎生12週 (Stage 7a by Padgett, CRL 60-80mm) (Figure 5. E) には、大脳半球の成長はさらに進み、adult pattern の静脈洞や脳静脈が形成される。CRL 80mm の胎児期には transvers sinus の位置が定まり、tentorial plexus は縮小し、さまざま形態を呈する叢状の torcular (confluence of sinuses) が形成される。

### 3. SSS の variations とその発生学的背景

#### SSS の variations

Rostral SSS の形成は、sagittal plexus に由来するため、その duplication は、sagittal plexus の正中での癒合不全により発生し、rostral SSS の低形成は、sagittal plexus の形成不全や遅延により、代わりに前頭葉の脳静脈の縦方向の吻合が発達した結果生じるとされる<sup>4)</sup>。

Dorsal SSS でも、sagittal plexus の正中での癒合不全により duplication となりえる。また、dorsal SSS の低形成にともない persistent falcine sinus が見られることがある。Persistent falcine sinus は、大脳鎌にみられる sagittal plexus の尾側の吻合ループに相当し、発生過程では falcine sinus と straight sinus は連続している。そのため straight sinus、あるいは dorsal SSS が低形成となると、falcine sinus が遺残すると考えられている<sup>5)</sup>。

Dorsal SSS の一部となる torcular は、sagittal plexus と tentorial plexus 内側あるいは marginal sinus から形成され、大脳半球の成長とともに生じる spontaneous migration の過程によって、さまざまな形態を呈するようになる。

### SSS および SSS に関連する静脈洞の非対称性

Torcular の非対称性の傾向は、胎生早期 (Stage 3, 4) からみられており、心臓につながる大静脈の発達の変化によると考えられている<sup>3), 9)</sup>。胎生初期は左右の大静脈は両側対称性だが、Stage 2 には、右側の common cardinal vein は直接右房に流入する一方で、左側の cardinal vein は右房に至るまでに心臓管の尾側の経路を迂回して静脈洞 sinus venosus を介して流入するようになる。これにより、sagittal または tentorial plexus に属する正中の静脈路の血流は、右側優位に流出しやすくなる。その後、Stage 6 になると、心臓下で迂回していた頭部左側からの血流は、internal jugular (anterior cardinal) vein を心臓へとつなぐ左側の innominate vein の形成により相殺されるようになる。Adult type での torcular あるいは transvers sinus の非対称性の残存の程度は、おそらく二つの innominate vein の発達の程度によりきまる。左側の上大静脈の遺残のある症例の検討から、より対称な innominate vein であるほど torcular に続く静脈流出路が左右均等である傾向がみられると考えられている。

また、primitive straight sinus は胎児期には transvers sinus と同様に右側優位に流出しているが、発達過程で tentorial plexus の外側は退縮し、正中部分の遺残である torcular に流出するため、より距離の長い transvers sinus よりも、それまでの左右不均衡を補いやすい位置にある。その結果、典型的な adult type の straight sinus は、逆の左側へと流出するようになるとされる。

## **References**

- 1) Radiology of the skull and brain. Angiography. Book3 Veins. T.H.Newton and D.G. Potts. Mosby. 1975
- 2) Microsurgical Anatomy of the Superficial Veins of the Cerebrum. K. Oka, et al. Neurosurgery, 1985
- 3) The cranial venous system in man in reference to development, adult configuration, and relation to the arteries. D. H. Padget. American Journal of Anatomy. 1956
- 4) Unilateral Hypoplasia of the Rostral End of the Superior Sagittal Sinus. D. San Millan Ruíz, et al. American Journal Neuroradiology. 2012
- 5) An incidental persistent falcine sinus with dominant straight sinus and hypoplastic distal superior sagittal sinus. K. S. Krishnamoorthy, et al. Pediatric Radiology. 2006
- 6) Lateral convexial tributary sinus of superior sagittal sinus. A rare anatomic variation and the importance of its recognition. G. Baltsavias, et al. Clinical Neurology and Neurosurgery. 2013
- 7) Vein of foramen caecum: imaging findings. O. Tutar, et al. Surgical and Radiologic Anatomy. 2016
- 8) Anomalous intracranial drainage of the nasal mucosa: a vein of the foramen caecum? D. San Millan Ruíz, et al. American Journal of Neuroradiology. 2006
- 9) The development of the cranial venous system in man, from the viewpoint of comparative anatomy. D. H. Padget. Carnegie Institution of Washington. 1957.
- 10) Normal and Abnormal Embryology and Development of the Intracranial Vascular System. C. Raybaud. Neurosurgery clinics of North America. 2010
- 11) The development of the venous sinuses of the dura mater in the human embryo. G. L. Streeter. American Journal of Anatomy. 1915

Figure 1. Veins emptying into the superior sagittal sinus. 2)から引用.

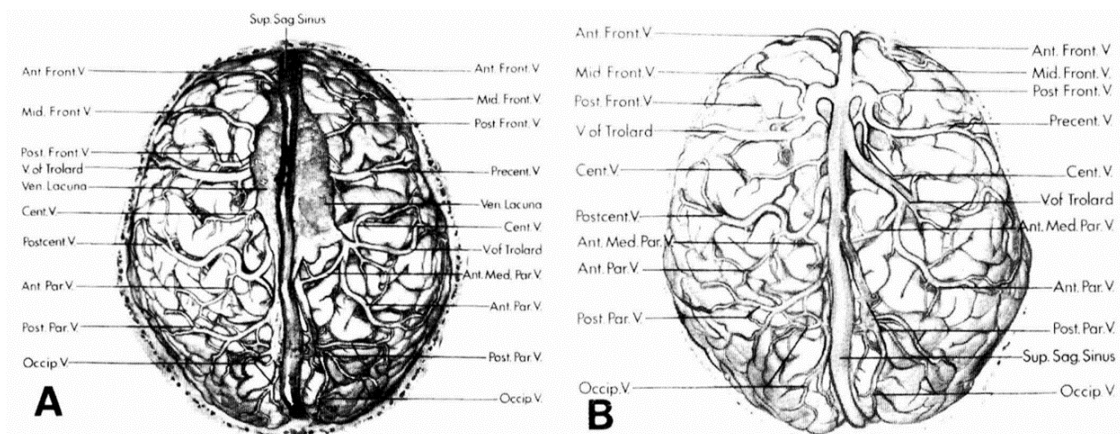
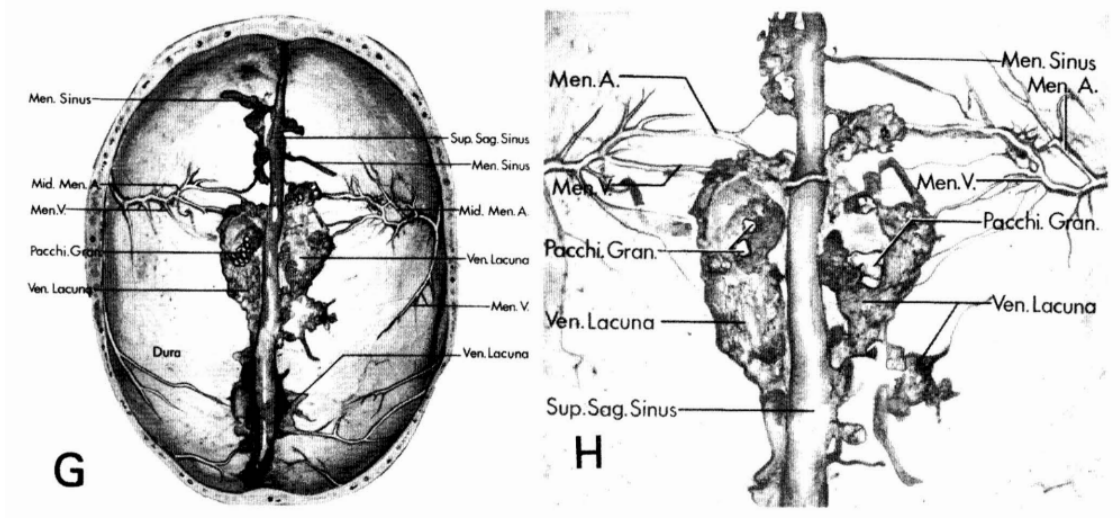


Figure 2. Meningeal veins into the lacuna. 2)から引用.

G: superior view. Meningeal vein が lacunae に流入している. H: Enlarged view. SSS と venous lacuna は, SSS の外側縁の小さな開口部で連絡している.



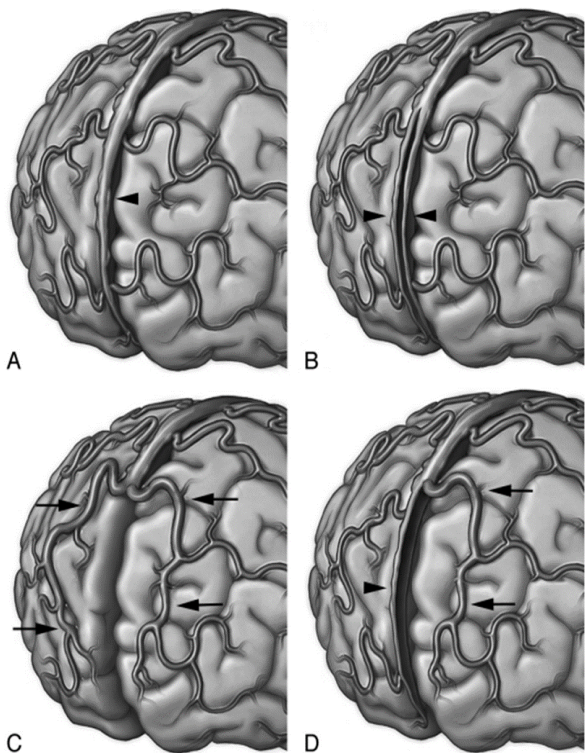


Figure 3. Schematic representation of the variation of the rostral SSS. 4)から引用.

A. Classic anatomy, with fully developed rostral SSS

B. Duplication of the rostral SSS

C. Complete hypoplastic rostral SSS

D. Unilateral hypoplastic rostral SSS

Figure 4. AP view of left carotid angiogram and MRI showing a lateral convexity tributary sinus of SSS. 6)から引用.

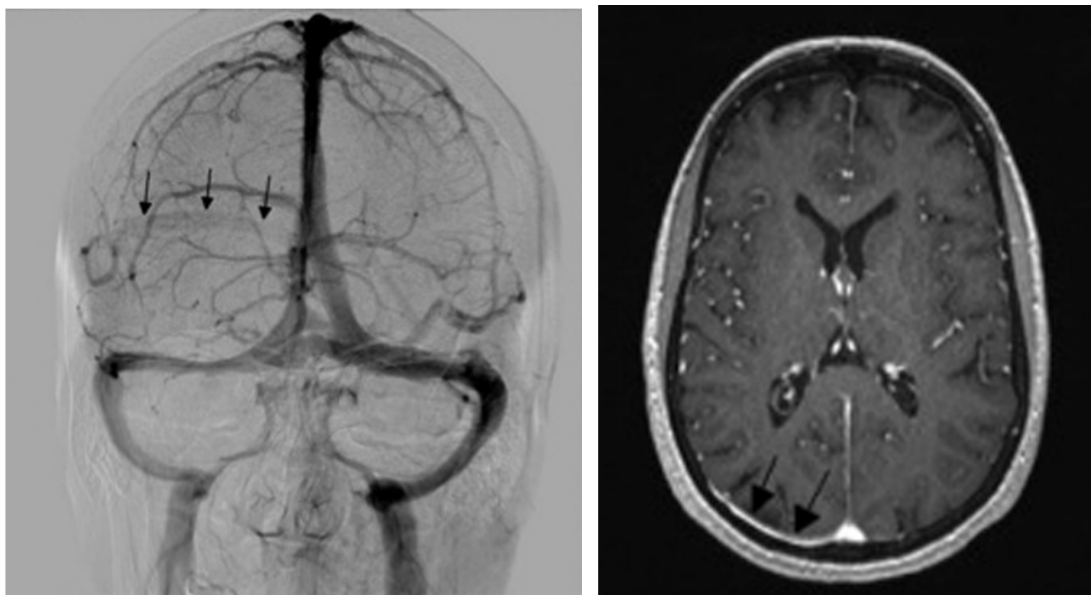
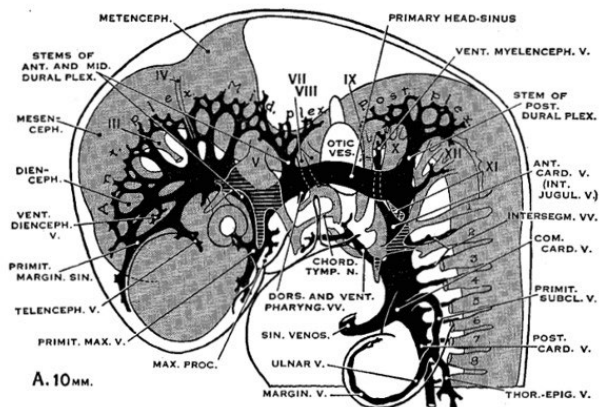
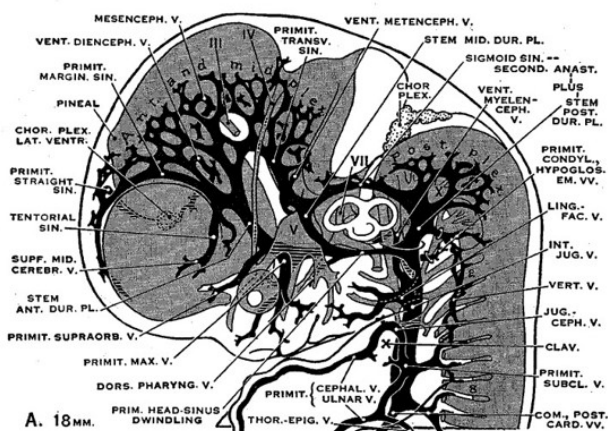


Figure 5. Development of the cranial venous system. 9)から引用.

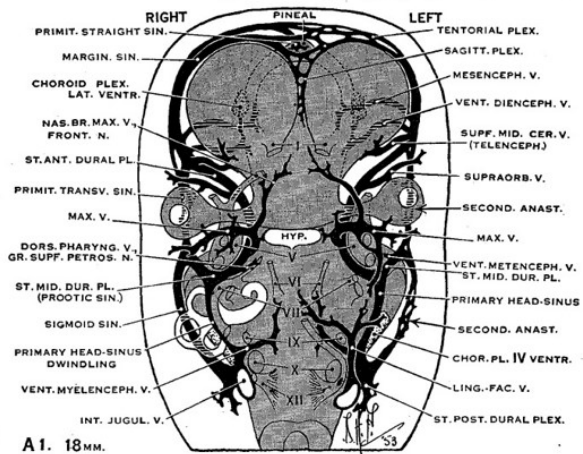




A. Stage3 by Padgett ( 6 to 12 mm)

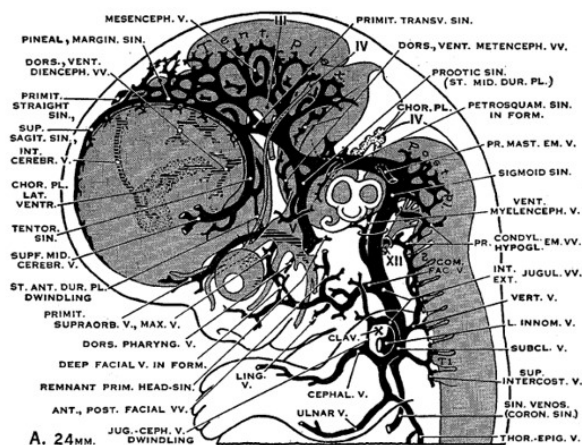


A. 18mm.

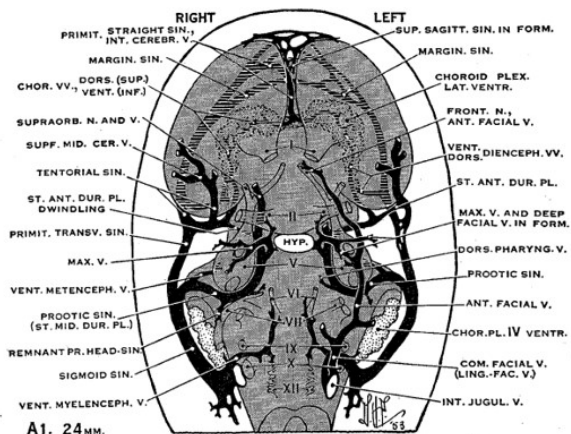


A1. 18mm.

B. Stage5 by Padgett ( 16 to 21 mm)

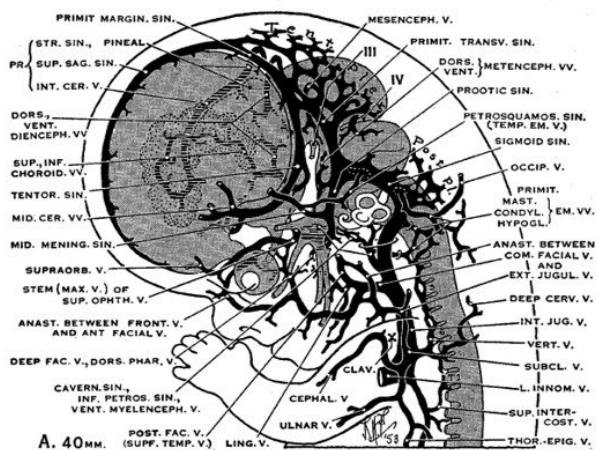


A. 24mm.

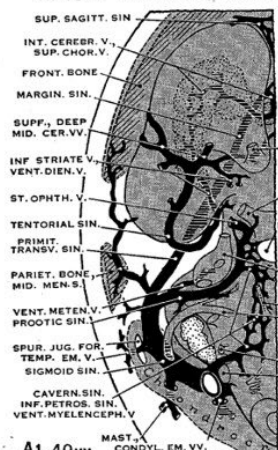


A1. 24mm.

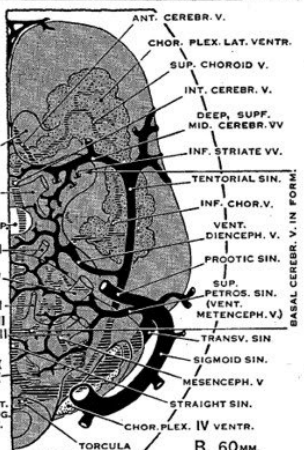
C. Stage6 by Padgett ( 18 to 26 mm)



A. 40MM.

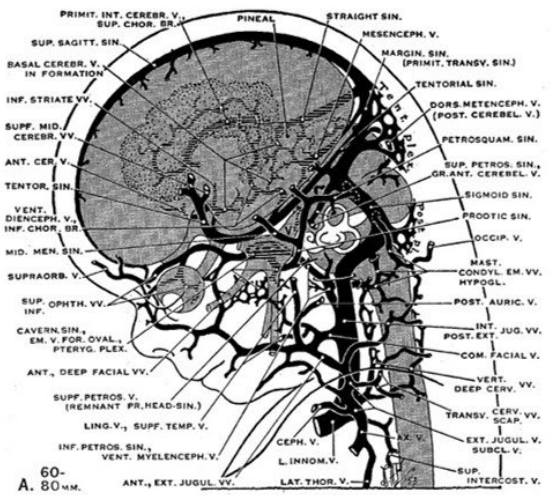


A1. 40MM.

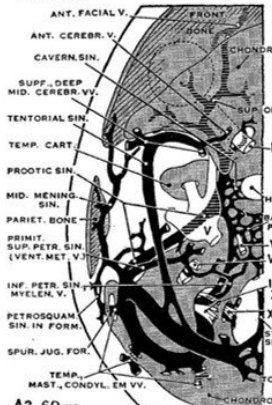


B. 60MM.

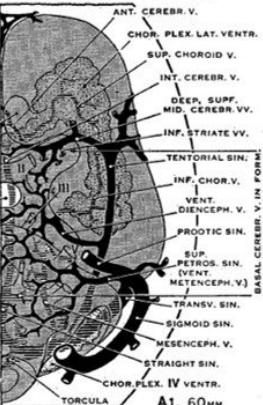
D. Stage7 by Padget ( 40 mm)



A. 60-80MM.



A2. 60MM.



A1. 60MM.

E. Stage7a by Padget ( 60 to 80 mm)