

Anterior Perforating Arteries of the Brain

市立長浜病院 脳神経外科 中澤和智

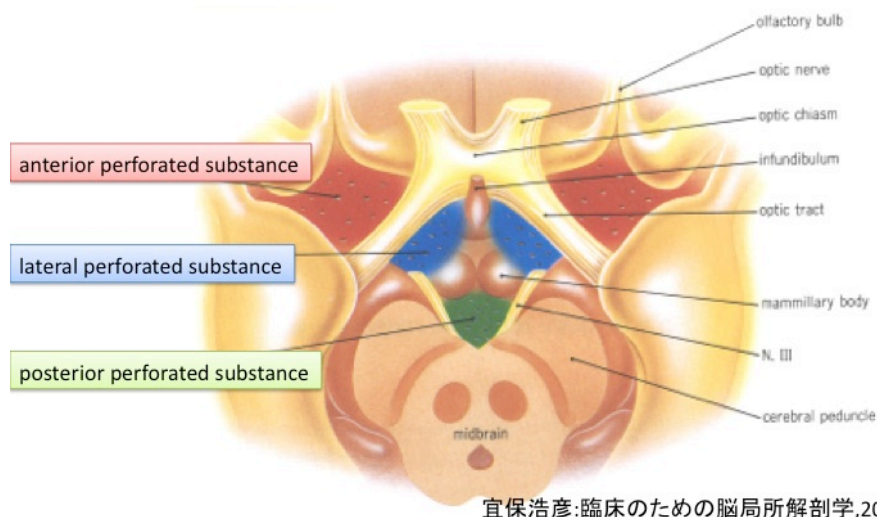
目次

1. 有孔質 (perforated substance) とは？
2. 外側有孔質 (lateral perforated substance)
3. 後有孔質 (posterior perforated substance)
4. 前有孔質 (anterior perforated substance)
5. 基底核での血流支配
6. 脳胞期と終脳 (telencephalon.endbrain) の発生
7. 大脳基底核の形成と解剖
8. 内包の発生と解剖および通過する線維
9. 前有孔質 (anterior perforated substance) を貫く穿通枝の発生
10. まとめ

1.有孔質 (perforated substance) とは？

穿通枝がWillis動脈輪とその近傍から分岐した後、脳底部を貫通する小孔の集簇であり、1.前有孔質 (anterior perforated substance) 2. 外側有孔質 (lateral perforated substance) 3. 後有孔質 (posterior perforated substance) がよく知られている(図.1). 多数の小動脈が存在するために手術や血管内操作ではその認識が重要となる. Yasargilはbasal perforation zonesと命名し、1. anterior perforation zoneと 2. posterior perforation zoneに分類している (表.1) .

有孔質



宜保浩彦:臨床のための脳局所解剖学,2002

図1. : 有孔質は穿通枝がWillis動脈輪とその近傍から分岐した後、脳底部を貫通する小孔の集簇であり、1.前有孔質 (anterior perforated substance) 2. 外側有孔質 (lateral perforated substance) 3. 後有孔質 (posterior perforated substance) が知られている.

Perforated Substanceと Pefrotation Zones

有孔質 (Perforated Substance)	Yasargil (Pefrotation Zones)
anterior perforated substance	anterior perforation zone antero-medial extension antero-lateral extension inferior-lateral extension
lateral perforated substance	posterior perforation zone peri-infundibular group peri-mamillary group retro-optic group
posterior perforated substance	posterior perforation zone interpeduncular group

表1. : antero-medial extensionは前交通動脈の分岐が貫通し, antero-lateral extensionは Heubner 反回動脈およびレンズ核線条体動脈が貫通, inferior-lateral extension はA1の分岐および前脈絡叢動脈が貫通する.

2. 外側有孔質 (lateral perforated substance)

paramedian perforated substance とも言われている. 外側が視索, 内側は下垂体および乳頭体, 後方は大脳脚に囲まれる三角形の有孔質である. 後交通動脈の枝であるpremammillary artery が貫通する. 灰白隆起, 視床下部, 視床に血流を送る.

3. 後有孔質 (posterior perforated substance)

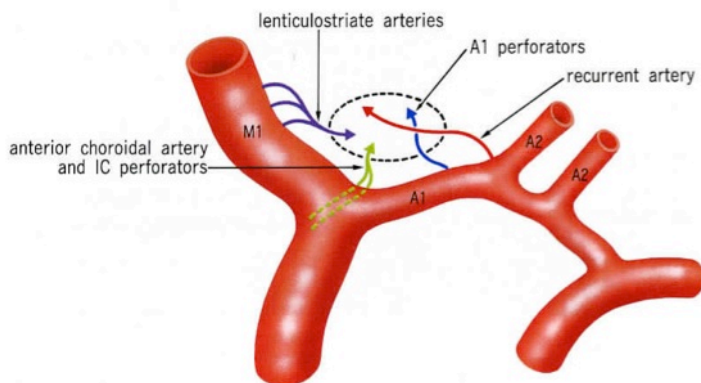
前方が乳頭体, 外側は大脳脚, 後方は中脳橋移行部で囲まれる三角形の領域. paramedian thalamic artery, superior paramedian mesencephalic artery, inferior paramedian mesencephalic artery が通過する.

4. 前有孔質 (anterior perforated substance)

以下に本題である前有孔質を通過する血管について記述する. 前有孔質はシルビウス裂の深部に存在し, その前方の境界は, 外側および内側嗅索 (lateral or medial olfactory striae), 外側は島限 (liemen insulae), 後方は視索および側頭葉, 内側は大脳半球間裂近傍で, 菱形をなしている. (図.3)

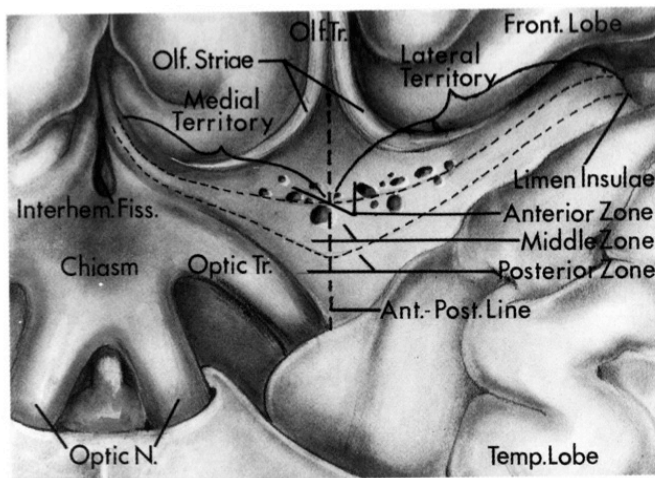
前有孔質を貫く血管には, 1. レンズ核線条体動脈 (lentuculo-striate artery, M1の枝), 2. A1の枝, 3.反回動脈 (recurrent artery of Heubner), 4. 内頸動脈の枝, 5. 前脈絡叢動脈 (anterior choroidal artery)の枝などが知られている. (図.2.4,表2). Yasargilの述べるantero-medial extension は前交通動脈の枝が貫通し, antero-lateral extensionは反回動脈およびレンズ核線条体動脈が貫通, inferior-lateral extension はA1の分岐および前脈絡叢動脈の枝が貫通する. Rosnerらは前有孔質に前後に2本と内外側に1本の仮想線を引き, zone (anterior, middle, posterior) とterritory (lateral, medial)と6区画に分類し, 検討している(図.3).それによると, 主にmedial territory にはA1, Heubner A, ICAのperforator, anterior choroidal A 由来のものが, lateral territoryには lenticulo striate artery, Heubnar, ICAのperforator が貫通し, anterior zone にはHeubner A, middle-posterior zone にその他のperforatorが通過している(図.4, 表.2). 前有孔質を貫いた後には, 最終的には主に基底核領域の構造物に分布し還流する.

前有孔質を通過する穿通枝



宜保浩彦:臨床のための脳局所解剖学,2002

図2. 前有孔質を貫く血管には, 1. レンズ核線条体動脈 (lentuculo-striate artery), 2. A1の枝, 3. 反回動脈 (recurrent artery of Heubner), 4. 内頸動脈の枝, 5. 前脈絡叢動脈 (anterior choroidal artery)などが知られている.



Rosner. JNS 61, 1984

図3. Rosnerらは, 前有孔質に前後に2本と内外側に1本の仮想線を引き, zone (anterior, middle, posterior)とterritory (lateral, medial)と6区画に分類し検討した.

前有孔質を貫く部位

Rosner. JNS 61, 1984

	穿通枝本数(平均)	medial (%)	lateral (%)	anterior (%)	middle (%)	posterior (%)
Heubner	2.1 (1-4)	36	64	59	34	7
A1	6.4 (1-11)	91	9	8	54	38
IC	3.9 (1-9)	52	48	5.8	39.2	55
Anterior choroidal A	2.2 (1-10)	62	38	0	15	85
medial LSA	2.1 (1-5)	10	90	8	57	35
intermediate LSA	3.3 (1-10)	0	100	14	51	35
lateral LSA	4.8 (1-9)	0	100	0	10	90

表2. : 穿通枝が前有孔質を貫く部位

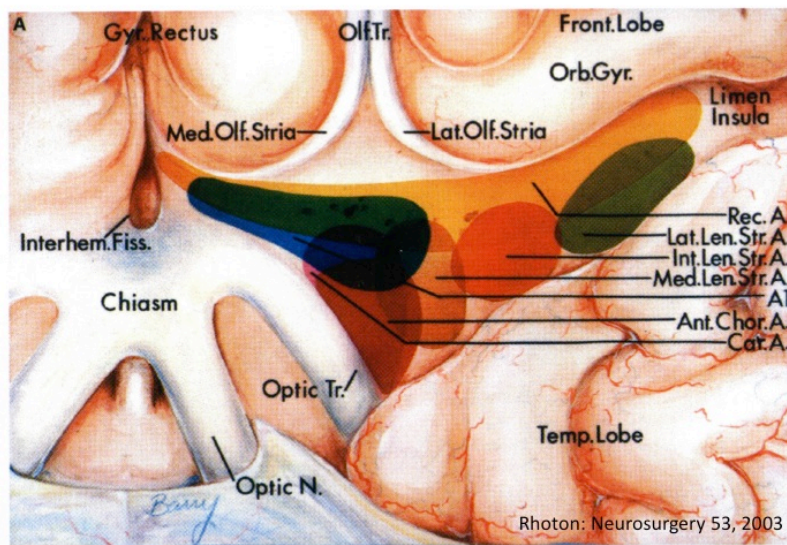


図4. 主にmedial territoryにはA1, Heubner A, ICAのperforator, anterior choroidal A由来のものが, lateral territoryにはlenticulo striate artery, Heubnar, ICAのperforator が貫通し, anterior zone にはHeubner A, middle-posterior にその他のperforatorが通過している .

5. 基底核での血流支配

レンズ核線条体動脈 (lateralおよびintermediate) : 被殻, 淡蒼球, 内包後脚 (上部), 尾状核

レンズ核線条体動脈 (medial) : 淡蒼球 (外側), 内包前脚 (上部), 尾状核頭部

A1の穿通枝 : 内包膝部, 淡蒼球 (前部), 内包後脚近傍, まれに視床

反回動脈 : 尾状核頭部, 被殻, 淡蒼球, 内包前脚近傍

内頸動脈 : 内包膝部, 内包後脚, 視床, 淡蒼球近傍

前脈絡叢動脈 : 内包後脚, 扁桃体, 外側膝状体外側, 大脳脚, 視放線, 脈絡叢

これらのように前有孔質を貫いた血管は主に基底核を栄養することになる (図.5, 表.3) . ここで, 脳と血管の発生についても記述する.

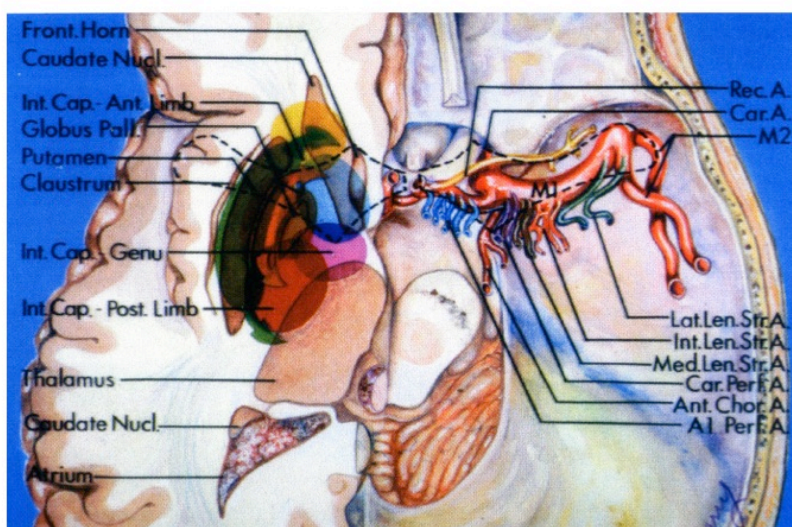


図5. Anterior perforating artery と基底核領域の血流支配

Rhoton: Neurosurgery 53, 2003

穿通枝と血流支配

由来	medial / lateral	動脈名	栄養される場所
Cranial division	medial	Heubner	尾状核頭部, 被殻前1/3 淡蒼球, 内包前脚
Cranial division	medial	A1	内包膝部～後脚, 淡蒼球前部, 内包後脚近傍, まれに視床
Cranial division	medial	IC	内包膝部～後脚, 視床, 淡蒼球
Cranial division	medial	Anterior choroidal A	内包後脚, 扁桃体, 外側膝状体外側, 大脳脚, 視放線, 脈絡叢
Cranial division	lateral	Medial LSA	淡蒼球外側, 内包前脚, 尾状核頭部
Cranial division	lateral	intermediate LSA	被殻, 内包後脚, 尾状核頭部～体部
Cranial division	lateral	Lateral LSA	被殻, 内包後脚, 尾状核頭部～体部

表 3.

6. 脳胞期と終脳 (telencephalon.endbrain) の発生

胎齢：24日目：1次脳胞の形成：神経管頭部が3つに分かれる（3脳胞期: 図.6）.

前脳胞 (prosencephalon, forebrain)：将来の大脳と間脳

中脳胞 (mesencephalon, midbrain)：将来の中脳

菱脳胞 (rhombencephalon, hindbrain)：将来の後脳（菱脳）

胎齢：4週目：前脳胞と中脳胞の間に中脳屈を，菱脳胞と脊髄間には頸屈を呈し，中脳屈と頸屈の間に橋屈という凹みができ2次脳胞が形成される（5脳胞期: 図.6）.

終脳 (telencephalon.endbrain)：将来の大脳半球，内腔は側脳室

間脳 (diencephalon,interbrain)：将来の視床上部，視床，視床下部，

視覚路，視神経，網膜，淡蒼球，眼胞 (optic vesicle)、その内腔は第3脳室

中脳 (mesencephalon)：将来の中脳，中脳水道

後脳 (metencephalon)：将来の橋・小脳 第4脳室

髄脳 (myelencephalon)：将来の延髄

終脳は，脳の最も吻側で，発達する構造物で，中空性の左右の終脳胞 telencephalic vesicles(大脳胞 cerebral vesicles)と、それをつなぐ正中部の終板 lamina terminalis からなる。大脳胞の内腔(側脳室)は第三脳室と室間孔 interventricular foramenで連続する。このような前から順に縦にならんだ中枢神経基本構造は，神経管を形成することになった魚類以降の脊椎動物に共通している。魚類では終脳が小さく，その役割は嗅覚に使われている。そのため大脳といわずに嗅脳と呼ばれる。

脳胞

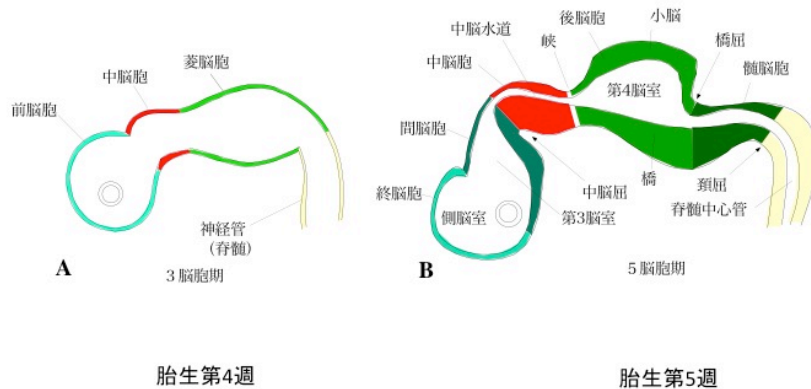


図6. 3脳胞期(図6.A):神経管の前端に3個の膨隆部かてきる. これを一次脳胞 primary brain vesicle といい, 前方より前脳胞 forebrain vesicle、中脳胞 midbrain vesicle, 菱脳胞 rhombencephalon からなる. 5脳胞期(図6.B): 前脳胞はさらに終脳胞 telencephalon と間脳胞 diencephalon かてきる. 終脳胞は, 左右の大脳半球 cerebral hemisphere (大脳皮質 cerebral cortex と大脳基底核 basal nuclei) になり, 間脳胞は間脳 diencephalon(視床 thalamus と視床下部 hypothalamus)になる. 中脳胞は中脳 mesencephalon (midbrain) になる. 菱脳胞は後脳胞 metencephalon (hindbrain) と髄脳胞 myelencephalon に分かれる. 後脳胞は, 腹側か橋 pons, 背側か小脳 cerebellum になる. 髄脳胞は延髄 medulla oblongata になる.

7. 大脳基底核の形成と解剖

発生学的には,まず神経管の前方端に前脳胞が形成され,次に,この前脳が終脳と間脳が区画される.胎生期の終脳はさらに背側部の構造(大脳新皮質と海馬)を作る外套部(pallium)とその腹側部を構成する外套下部(subpallium)に区画され,この外套下部に神経核隆起(基底核隆起,ganglionic eminence, 脳室隆起,ventricular eminence)が形成される.終脳胞は前方,上方,後方に拡張し,特に後方への拡張により,間脳は大脳胞により覆い隠される.基底核隆起から線条体と淡蒼球を構成するニューロンが発生し,大脳基底核ができ,終脳胞の背外側部より大脳皮質ができる(図.7.8).

基底核隆起の形成

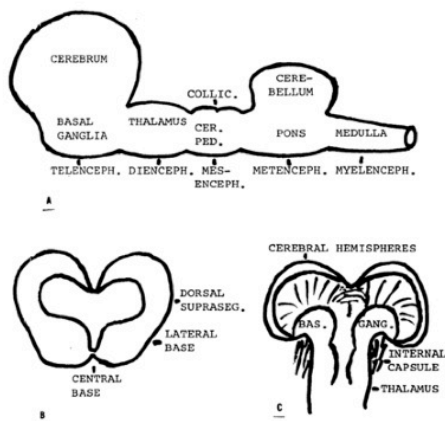


図7. :終脳はさらに背側部の構造(大脳新皮質と海馬)を作る外套部(pallium)とその腹側部を構成する外套下部(subpallium)に区画され,この外套下部に神経核隆起(基底核隆起,ganglionic eminence; GE, 脳室隆起,ventricular eminence;VE)が形成される.

Kaplan HA J Neurosurg. : 23, 1965

大脳皮質と線条体の発生

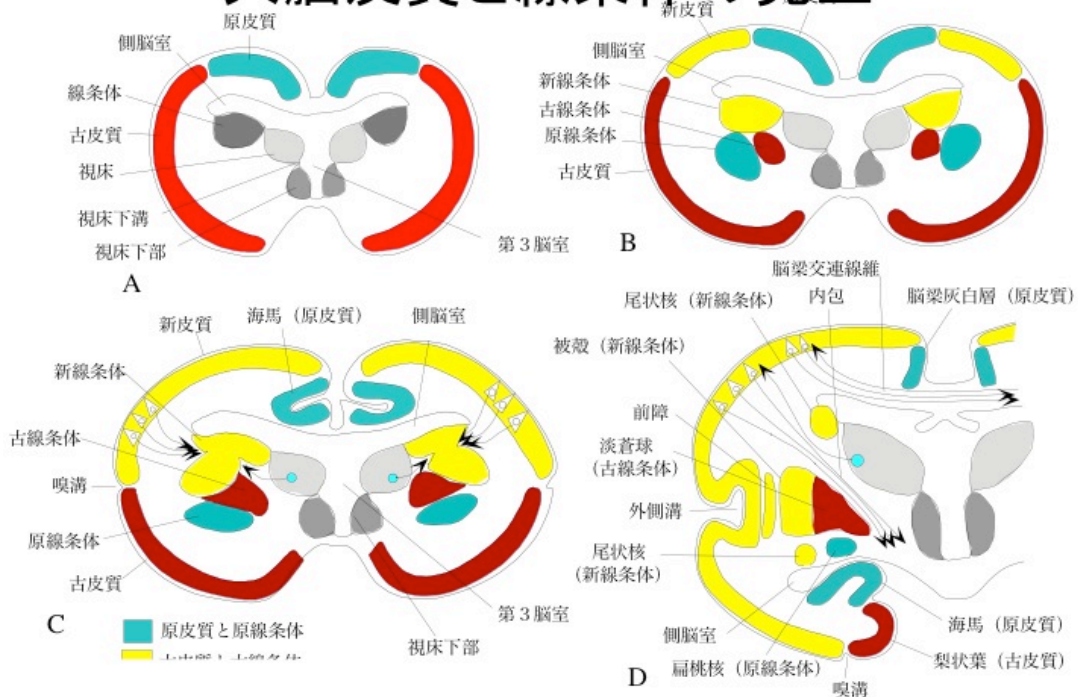


図8. : 終脳胞の底部より大脳基底核ができる。終脳胞の背外側部より大脳皮質ができる。尾状核と被殻は発生が同爾で(新線条体), 元来一体のものであるが, この間を新皮質に由来する線維群が内包として通過するために二次的に分けられたものである。

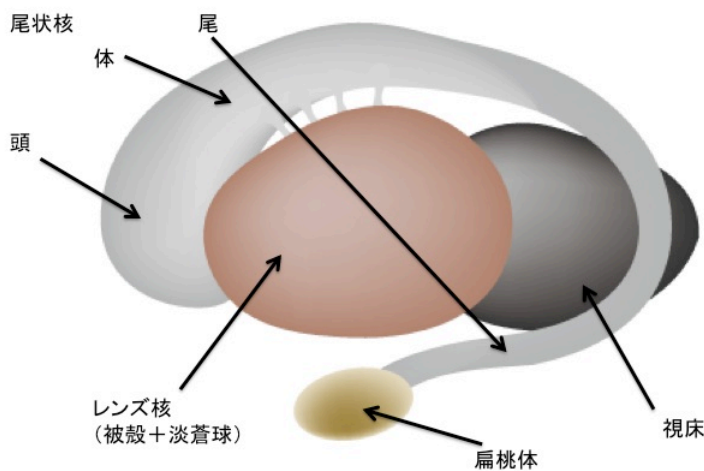


図9. : 大脳基底核

大脳基底核は, 「終脳から発生した皮質下核」であって, 大脳半球の白質の中心部に位置する神経核(灰白質)であり, 淡蒼球 globus pallidus, 被殻 putamen, 尾状核 caudate nucleus, 扁桃核 amygdala からなる (図.9). 尾状核は視床 thalamus を囲むように位置し, 頭 head・体 body・尾 tail からなる. レンズ核は内側面を内包 internal capsule、外側面を外包 external capsule によって覆われ、外包の外側には前障

が存在する。尾状核と被殻はもともと発生が同じで新線条体neostriatumから形成され、単一の灰白質塊から生じたため両者は灰白質で連絡され、併せて線条体corpus striatumと呼ばれる。淡蒼球は古線条体paleostriatum由来であり尾状核や被殻とは発生が異なる。淡蒼球と被殻を合わせてレンズ核 lentiform nucleus という (図.8)。

8. 内包の発生と解剖および通過する線維

内包は投射線維projection fibersのニューロンからなる伝導路群で、発生学的には投射線維の増大によって線条体corpus striatumが尾状核と被殻に分けられる際に、この投射線維束が形成する構造であり、尾状核・レンズ核・視床によって囲まれる。前脚anterior limb・膝genu・後脚posterior limbからなり、錐体路系 pyramidal systemにおいては皮質核線維corticocaudal fibersが膝、皮質脊髄線維corticospinal fibersが後脚を通る。一方、錐体外路系 extrapyramidal systemにおいては皮質橋線維corticopontine fibersのうち前頭橋路frontopontineが前脚、残りの頭頂・側頭・後頭橋路が後脚を通り、さらに皮質網様体線維corticoreticular fibersが膝、皮質赤核線維 corticorubral fibers が後脚を通る。また、外側膝状体 lateral geniculate bodyからの視放線optic radiation, 内側膝状体medial geniculate bodyからの聴放線 acoustic radiationなども内包に含まれる(図.10)。

内包(線条体)を通る神経線維

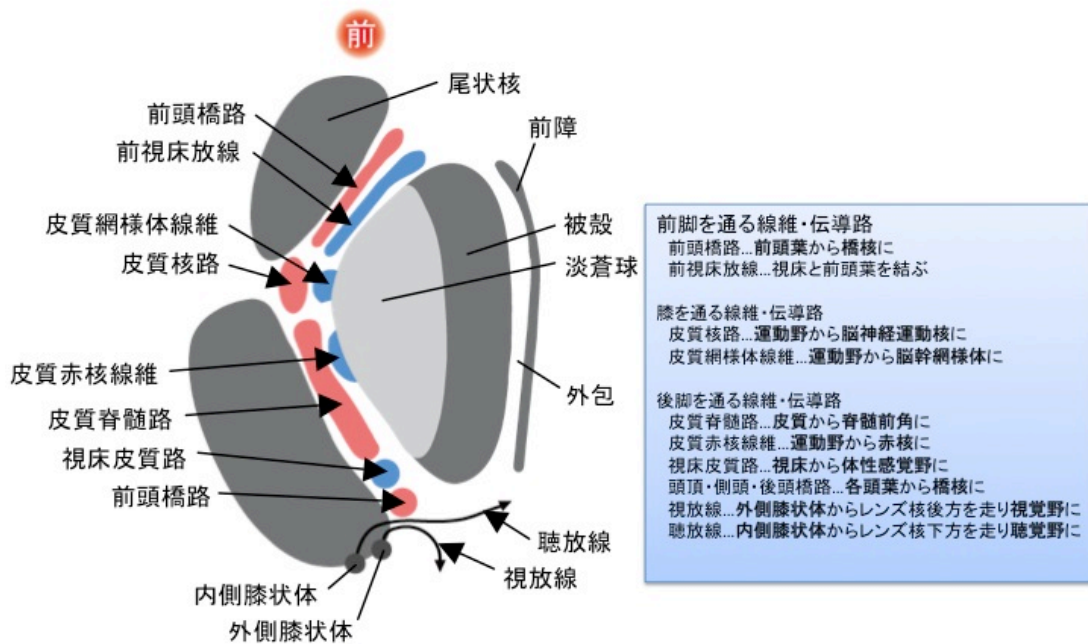


図10. 投射線維projection fibersのニューロンからなる伝導路群

9. 前有孔質 (anterior perforated substance) を貫く穿通枝の発生

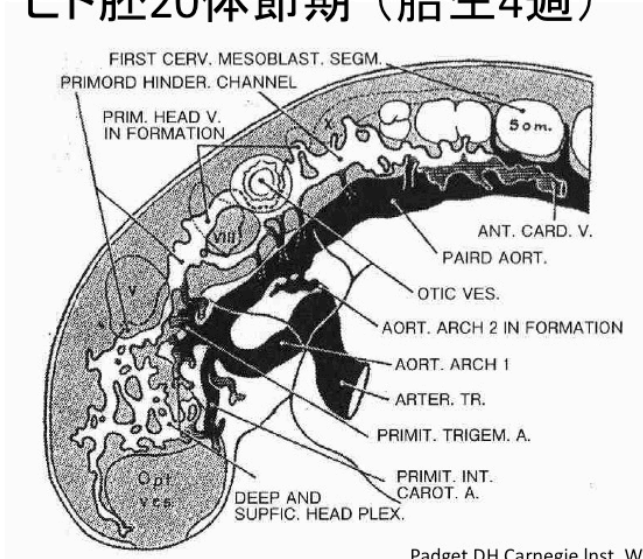
内頸動脈系の前方循環は中枢神経系の発生が尾側→頭側に進行するように脳血管系の発生も尾側→頭側に進行する。

第3大動脈弓と背側大動脈から原始内頸動脈primitive internal carotid arteryが形成される (図.11)。胎生5週ごろ第3咽頭弓から形成される原始内頸動脈は後交通動脈によりcranial divisionとcaudal divisionに分けられる(図.12)。cranial divisionからは、medial olfactory arteryとlateral olfactory

artery に分かれ、medial olfactory arteryは前大脳動脈 (primitive olfactory artery) となり、lateral olfactory arteryは前脈絡叢動脈やHeubner artery, 中大脳動脈となる(図.13). caudal divisionには後交通動脈, 後大脳動脈のP1, 上小脳動脈, 三叉神経動脈の分枝より遠位の脳底動脈, diencephalo-mesencephalic artery, posterior choroidal artery が属し、遅れて形成される。椎骨脳底動脈系と吻合する。初期には、cranial divisionから派生する前大脳動脈と前脈絡叢動脈は末梢で primitive choroidal arcadeを作り終脳や大脳辺縁系を栄養し、foramen Monroで吻合する。前大脳動脈から中大脳動脈が発達するまではこれらが主に終脳を栄養する。中大脳動脈は前脈絡叢動脈より新しい動脈で、内頸動脈の cranial divisionかlateral olfactory artery から分岐する。発生学的に先にできている前大脳動脈の分枝と考えられている。

中大脳動脈は新外套 (neopallium) の成長に伴い、sylvian fissure にそうように蛇行してゆく。中大脳動脈が発達すると前脈絡叢動脈は退縮する。当初発達していた前脈絡叢動脈の皮質枝 (側頭葉, 頭頂葉, 後頭葉) は発生過程でcaudal divisionに受け渡される。この受け渡しをdistal annexation (併合)という(図. 14). このように原始内頸動脈のcranial divisionから派生した。前大脳動脈と中大脳動脈から前有孔質を通過する穿通枝ができる(図.15).

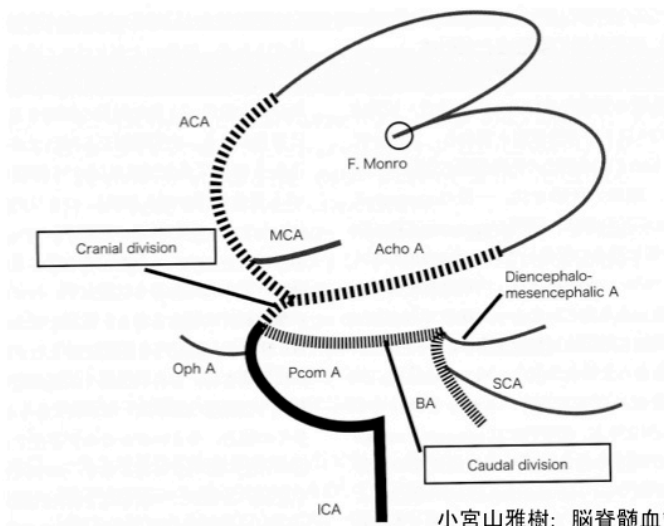
ヒト胚20体節期 (胎生4週)



Padgett DH Carnegie Inst. Wash Pub. 1948

図11. Padgett の図. 原始内頸動脈の出現から 頭部主動脈が形態形成される

原始内頸動脈のcranial divisionとcaudal division



小宮山雅樹: 脳脊髄血管の機能解剖, 2008

図12. 原始内頸動脈は後交通動脈によりcranial division と caudal division に分けられる。

原始内頸動脈のcranial division

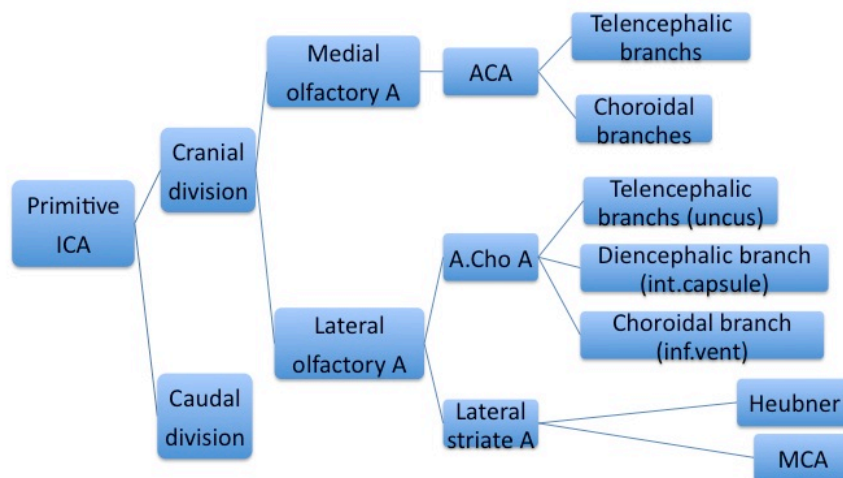
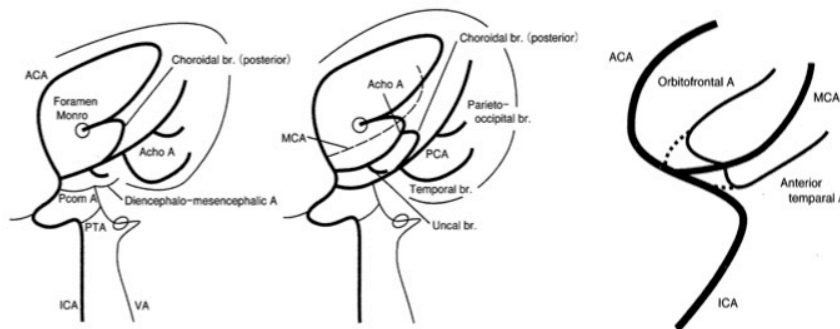


図13. : cranial divisionからは, medial olfactory arteryとlateral olfactory arteryに分かれ, medial olfactory arteryは前大脳動脈 (primitive olfactory artery) となり, lateral olfactory arteryは前脈絡叢動脈やHeubner artery, 中大脳動脈となる.

大脳動脈領域の皮質血流の移行



小宮山雅樹: 脳脊髄血管の機能解剖, 2008

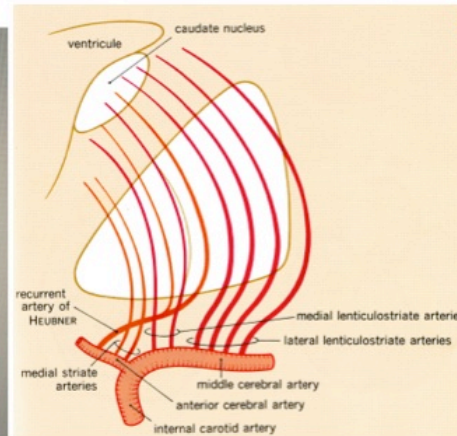
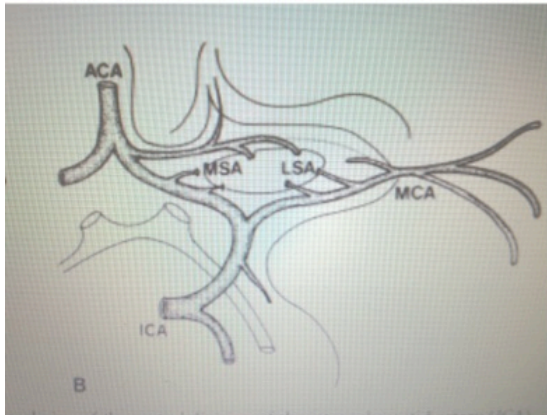
図14. : 初期には, 前大脳動脈と前脈絡叢動脈は末梢でprimitive choroidal arcadeを作り, 終脳を栄養するが, 後期になると前大脳動脈から中大脳動脈が分枝し, 新外套 (neopallium) を栄養する.

10. まとめ

大脳と基底核の発生に形成ともない前大脳動脈, 前脈絡叢動脈, 中大脳動脈が出現し, 脳の成長に合わせ, 血管の形成が行われている. anterior perforating arteryであるレンズ核線条体動脈, A1の枝, 反回動

脈、内頸動脈の枝、前脈絡叢動脈は前頭葉底部を前有孔質で貫通し、主に大脳基底核、内包、外側膝状体、大脳脚などを栄養している。脳と血管の発生にあわせて、それぞれの穿通枝が有孔質を通過する場所が決まり、基底核での支配領域も決定される。

前有孔質を通過する穿通枝の派生



Lasjaunias P et al. Surgical Neuroangiography, 2001

MSA: Medial striate A, LSA: Lateral striate A

後藤文男 臨床のための脳局所解剖学, 1996.

図15. 原始内頸動脈のcranial division から派生した前大脳動脈と中大脳動脈から前有孔質を通過する穿通枝ができる。

参考文献

1. Yasargil MG: Microsurgery” vol.1. Stuttgart, New York: Thieme Verlag ; 144-164, 1984
2. 宜保浩彦ほか: 臨床のための脳局所解剖学 改訂2版. 東京: 中外医学社, 2002
3. 後藤文男ほか: 臨床のための脳局所解剖学 改訂3版. 東京: 中外医学社, 1996
4. Rhoton: Cranial anatomy and surgical approaches. Neurosurgery 53: Rhoton's anatomy, 2003
5. 小宮山雅樹: 脳脊髄血管の機能解剖. 大阪: メディカ出版, 2008
6. 小宮山雅樹: 脳血管内治療に必要な解剖学的な知識—機能的脳血管解剖. Jpn J Neurosurg Vol.13, 117-125, 2004
7. Streeter GL : The developmental alterations in the vascular system of the brain of the human embryo. Contribution to embryology vol. 8 : Carnegie Inst, Wash Pub; 5-38, 1918
8. Oi S: Agenesis and prenatal occlusion of the cerebral vessels. Principles of Pediatric Neurosurgery. Berlin: Springer-Verlag; 50-58, 1991
9. Rosner, et al: Microsurgical anatomy of the anterior perforating arteries. J Neurosurg 61:468-485, 1984
10. Padget DH : The development of the cranial arteries in the human embryo. Contribution to Embryology. Carnegie Inst, Wash Pub; 207-260, 1948
11. 磯貝純夫: 脳血管系を形成するメカニズムと血管内皮細胞の由来. 血管医学 Vol.11, 77-86, 2010
12. 奥寺利男ほか: 脳の発達とその異常 (II)一胎生期の脳の発達と行動. 小児の脳神経 Vol. 24, 401-410, 1999
13. Lasjaunias P, et al : Surgical Neuroangiography Second Edition. Berlin: Springer-Verlag, 2001
14. 小南修史: 内頸動脈の発生と解剖学的変異. Pierre Lasjaunias 記念神経血管セミナー抄録集, 2011
15. Kaplan HA, et al.: The Lateral Perforating Branches of the Anterior and Middle Cerebral Arteries . J Neurosurg. 23:305-10, 1965
16. 山門 誠: 基底核の発生 Brain Med (15) 233-240, 2003