

## 眼動脈の発生と解剖

### Embryology and Anatomy of Ophthalmic Artery

三重大学 脳神経外科 当麻 直樹

Naoki Toma, Department of Neurosurgery, Mie University

Keyword: ophthalmic artery, embryology, anatomy, primitive maxillary artery,

眼動脈は視神経, 眼球, 眼球付属器を栄養する動脈である。眼窩内の視神経, 眼球, 外眼筋, 涙腺, 眼瞼などの組織は異なるさまざまな原基から発生するため, それらを栄養する眼動脈の発生も複雑である。眼動脈はいくつかの原始動脈の吻合, 退縮により形成され, 内頸動脈と外頸動脈との間に潜在的な多くの吻合をもつ部位となる。これまで眼動脈の発生に関してはLasjauniasの仮説が教科書的に広く受け入れられてきたが, 近年KomiyamaによりPadgetの仮説が再興された<sup>(1)(2)(3)</sup>。

#### 眼動脈の解剖<sup>(4)</sup>

##### 起始部

眼動脈は通常内頸動脈が海綿静脈洞から硬膜を貫通してすぐに前内側あるいは上内側面から分岐する。Heyrehによると, 内頸動脈海綿静脈洞部からの分岐 (8%), 中硬膜動脈からの分岐 (1.2%), 内頸動脈および中大脳動脈から2本のtrunk (2.4%) など, 眼動脈の起始にはさまざまなvariationがある。中硬膜動脈からの分岐は上眼窩裂あるいは蝶形骨大翼の孔を通るlacrimonasal arteryのrecurrent branchと中硬膜動脈のorbital branchの吻合によるものである。稀に中硬膜動脈が顎動脈からでなく眼動脈から分岐することもある。その他, 前大脳動脈, 中大脳動脈, 後交通動脈, 脳底動脈からの眼動脈の分岐も報告されている。

##### 走行

眼動脈は頭蓋内, 視神経管内, 眼窩内の3つの部分に分けられる。頭蓋内では海綿静脈洞を形成する2層の硬膜が視神経管内では癒合しており, 眼窩内では硬膜の内層は視神経の硬膜鞘を形成し外層は眼窩の骨膜を形成する。眼動脈は頭蓋内では硬膜下腔を走行し, 通常視神経管内で硬膜の内層を貫通し, 眼窩内では2層の間を走行する。

視神経管内では通常視神経の下外側を走行する。3%で頭蓋内から眼窩に入るまで視神経管と別の管 (duplicate optic canal) を通る。視神経管内では視神経は周囲の硬膜とfibrous bandで付着しており, 眼動脈からこのfibrous bandを通して細い分枝が存在する。

眼窩内では眼動脈の走行は3つの部分に分けられ, 1st portionと2nd portion, 2nd portionと3rd portionの間で方向を変える (Fig.1A) 。 1st portionは視神経の下外側面を走行し, 2nd portionで視神経の上内側に向かうが, この部位の走行は, Hayrehによれば83%が視神経の上面を通るcross over (Fig.1B) で, 17%が下面を通るcross underである (Fig.1C) <sup>(4)</sup>。 3rd portionは視神経の内側を前方へと走行し, 眼窩の上内側でsupratrochlear branchやdorsal nasal branchとなる。

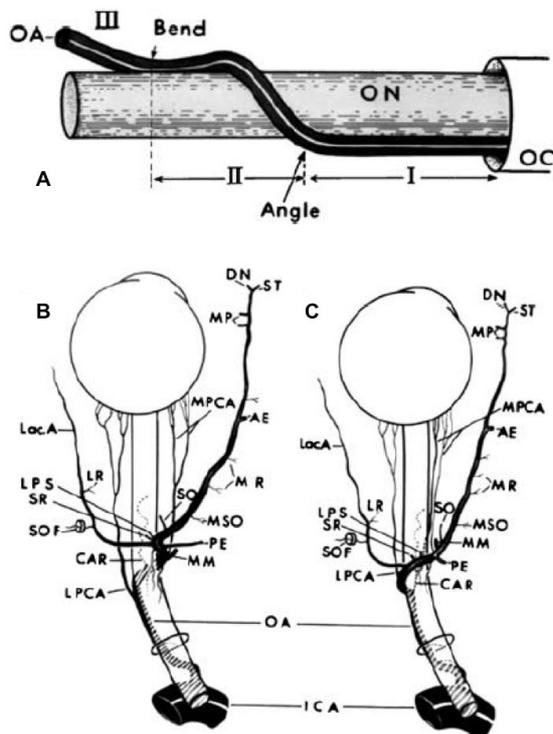


Fig.1. A : 眼窩内眼動脈の3つのportion. I : 1st portion, II : 2nd portion, III: 3rd portion B : cross overタイプの眼動脈 C : cross underタイプの眼動脈 (文献4より引用 改変)

### 分枝

眼動脈の分枝はvariationが非常に豊富でいわゆる正常patternはない。眼球および視神経へのocular branchは, central retinal artery (CRA) , lateral posterior ciliary artery (LPCA) , medial posterior ciliary artery (MPCA) であり, これらは2nd portionから分岐し, これらより末梢から眼球, 視神経への分岐はない。2nd portionがcross overの場合はまず共通幹からCRAとMPCAが分岐しその遠位からLPCAが分岐する。cross underの場合はLPCA, CRA, MPCAの順に分岐する。CRAはMPCA, LPCA近傍から分岐するため, これらciliary arteryにより描出されるchoroidal brushがCRAのlandmarkとして用いられる。

眼球付属器へのorbital branchは, 内側のethmoidonasal arteryと外側のlacrimal arteryである。ethmoidonasal arteryからはsupraorbital artery, posterior ethmoid artery, anterior ethmoid arteryなどが分岐する。

### 眼動脈の分枝と潜在的な吻合<sup>(5)</sup>

もっとも頻度が高いのは中硬膜動脈からCRAやciliary arteryを含む遠位眼動脈が栄養されるmeningo-ophthalmic arteryである。その他の中硬膜動脈から眼動脈への側副路としては, lacrimal arteryから上眼窩裂を通るsuperficial recurrent meningeal arteryやanterior falcine arteryからanterior ethmoid arteryとの潜在的な吻合がある。

顎動脈の遠位ではanterior deep temporal arteryやinfraorbital arteryを介してlacrimal arteryのinferior branchとの吻合が存在する。sphenoplatine arteryはseptal arteryを介して眼動脈のanterior/posterior ethmoid arteryと吻合する。

皮膚の動脈ではsuperficial temporal arteryと眼動脈のsupraorbital arteryとの吻合, facial arteryと眼動脈のdorsal nasal arteryとの吻合が存在する。

眼動脈の発生

眼球の発生<sup>(6)</sup> (Fig.2)

胎生22日に前脳の両側に視溝optic grooveが出現し外側に突出して眼胞optic vesicleを形成する (Fig.2A) . 胎生第4週に眼胞は表皮外胚葉と接して水晶体板lens placodeを誘導する (Fig.2B) . その後眼胞は陥入して2層の眼杯optic cupとなり (Fig.2C) , 前脳とつながる部分が眼茎optic stalkとなる (Fig.2D) . 胎生第5週には水晶体板も陥入して水晶体胞lens vesicleとなる. 眼杯の内層は神経網膜に, 外層は網膜色素上皮に分化する. 眼杯および眼茎の腹側には眼杯裂choroid fissureが形成され (Fig.2D) , その部分を通して硝子体動脈hyaloid arteryが眼球の内部に到達できるようになる (Fig.2E) . 胎生第7週に眼杯裂が癒合すると, 硝子体動脈は眼茎内に包み込まれる (Fig.2F) . 硝子体動脈の遠位部は消退するが, 近位部は網膜中心動脈となる (Fig.2G) .

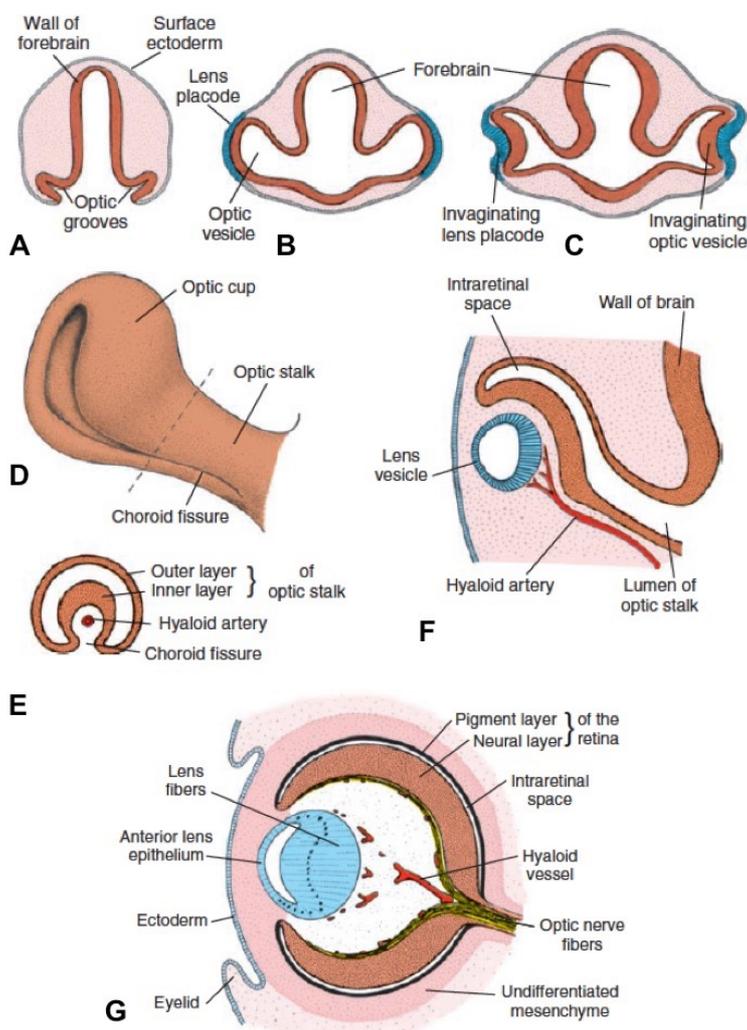


Fig.2. 眼球および視神経の発生. A : 22日胚子の前脳横断面, B : 4週胚子の前脳横断面, C : 5mm胚子の前脳横断面, D : 6週胚子の眼杯と眼茎の腹外側面, E : Dに示す眼茎の横断面, F : 眼杯裂面における眼杯, 眼茎の断面, G : 7週胚子の眼の断面 (文献6より引用改変)

眼動脈の発生

体長4~6mmの頃に眼胞から眼杯と眼茎が形成され、内頸動脈から分岐するventral ophthalmic artery (VOA), dorsal ophthalmic artery (DOA) により栄養される。16-18mmの頃に stapedial arteryはmaxillomandibular divisionとsupraorbital divisionを形成し、20mmの頃に眼窩内に入ったsupraorbital divisionと眼動脈とが吻合する。成人における眼球、視神経へのocular branchはVODとDOA由来であり、眼球付属器へのorbital branchはstapedial arteryの supraorbital division由来である。

LasjauniasとPadgetの仮説では、主にDOAの起始部とVOAとDOAの吻合および退縮部位が異なり、主たるocular branchが前者ではVOAであるのに対し後者ではDOAである。

Lasjauniasの仮説<sup>(1)</sup> (Fig.3)

内頸動脈のcranial division (前大脳動脈) から分岐して視神経管を通るVOAと内頸動脈の海綿静脈洞部から分岐して上眼窩裂を通るDOAが眼窩内の視神経周囲で吻合する。VOAは視神経管近傍の硬膜内内頸動脈と吻合することにより起始部を得る。VOAの近位部は退縮して内頸動脈のsiphonから分岐するprimitive ophthalmic arteryとなる。primitive ophthalmic arteryはDOAとともに視神経周囲にarterial ringを形成し、そこからtemporociliary artery, nasal ciliary artery, central retinal arteryを出す。DOAは上眼窩裂付近で退縮し、その近位部の遺残がILT, 遠位部の遺残がdeep recurrent ophthalmic arteryとなる。

stapedial arteryのsupraorbital divisionは上眼窩裂を通過して眼窩内に入り内側のethmoidonasal

arteryと外側のlacrimal arteryに分かれる。これらの分枝はophthalmic nerveのさまざまな枝と併走する。ethmoidonasal arteryはprimitive ophthalmic arteryと視神経周囲でarterial ringを形成し、眼動脈の2nd portionとなる。

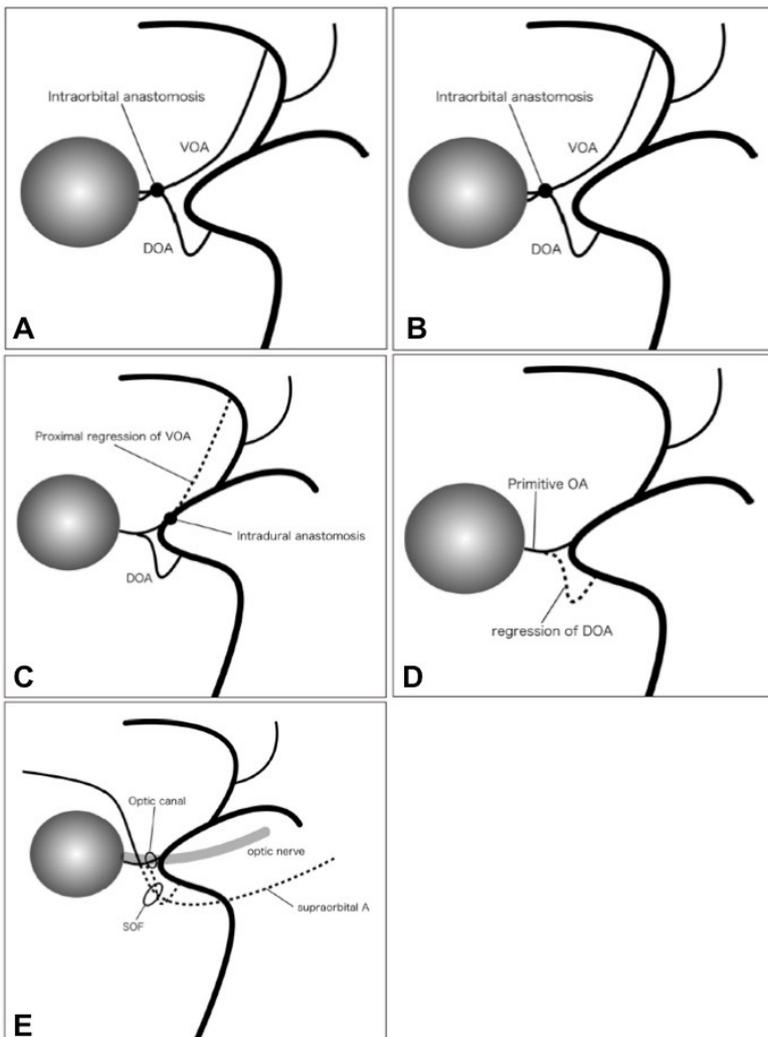


Fig.3. Lasjauniasの仮説. A : VOAは前大脳動脈から分岐し視神経管を通り, DOAは内頸動脈海綿静脈洞部から分岐し上眼窩裂を通る. B : VOAとDOAが視神経近傍で吻合する. C : VOAと内頸動脈が視神経管近傍で吻合し, VOAの近位部は退縮する, D : DOAは上眼窩裂近傍で退縮する. E : stapedial arteryの supraorbital divisionが上眼窩裂を通過して眼窩内に入り眼窩内の分枝を出す. (文献3より引用改変)

Padgetの仮説<sup>(2)</sup> (Fig.4,5)

体長3~4mmの頃には内頸動脈から分岐するprimitive maxillary arteryが眼胞への分枝を出しているが、5~6mmの頃になるとその役割は内頸動脈のより頭側の分枝であるVOA, DOAに移行していき、primitive maxillary arteryはその後退縮して初期の役割はなくなり、最終的にinferior hypophyseal arteryとして残る。

VOAはLasjauniasの仮説と同様に内頸動脈のcranial division (前大脳動脈) から分岐するが、DOAの分岐部はcranial divisionとcaudal divisionの分岐部である。DOAはhyaloid arteryを分岐しその遠位からlateral posterior ciliary artery (LPCA) を出し、VOAはmedial posterior ciliary artery (MPCA) を出す。

体長16~18mmの頃、眼動脈のpermanent stemが出現しDOAのocular branchを付加し、DOAの起始部は眼茎の頭側から尾側へとcaudal migrationする。

21~24mmの頃、permanent ophthalmic arteryとなるDOAはVOAと吻合し、MPCAも分岐するようになり、VOAの近位部は退縮する。

16~18mmの頃、stapedial arteryのsupraorbital divisionが上眼窩裂を通して眼窩に入り、20mmの頃、眼動脈と吻合し、近位部が退縮して、眼動脈が完成する。

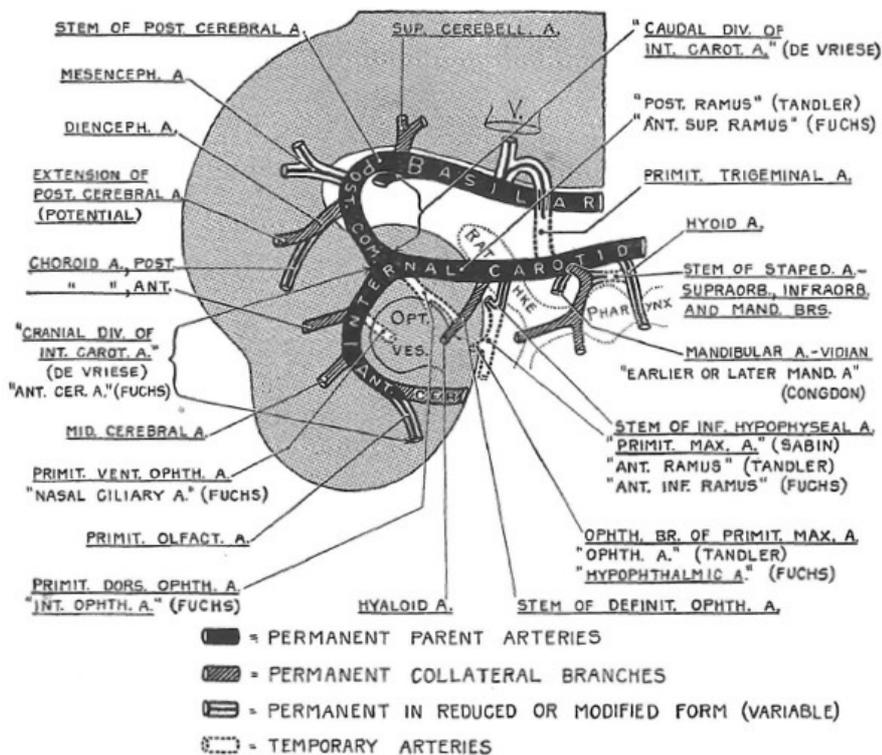


Fig.4. 前脳周囲の動脈のterminologyのvariation. VOA, DOA, primitive maxillary arteryおよび最終的な眼動脈の起始部の位置関係が確認できる。(文献2より引用)

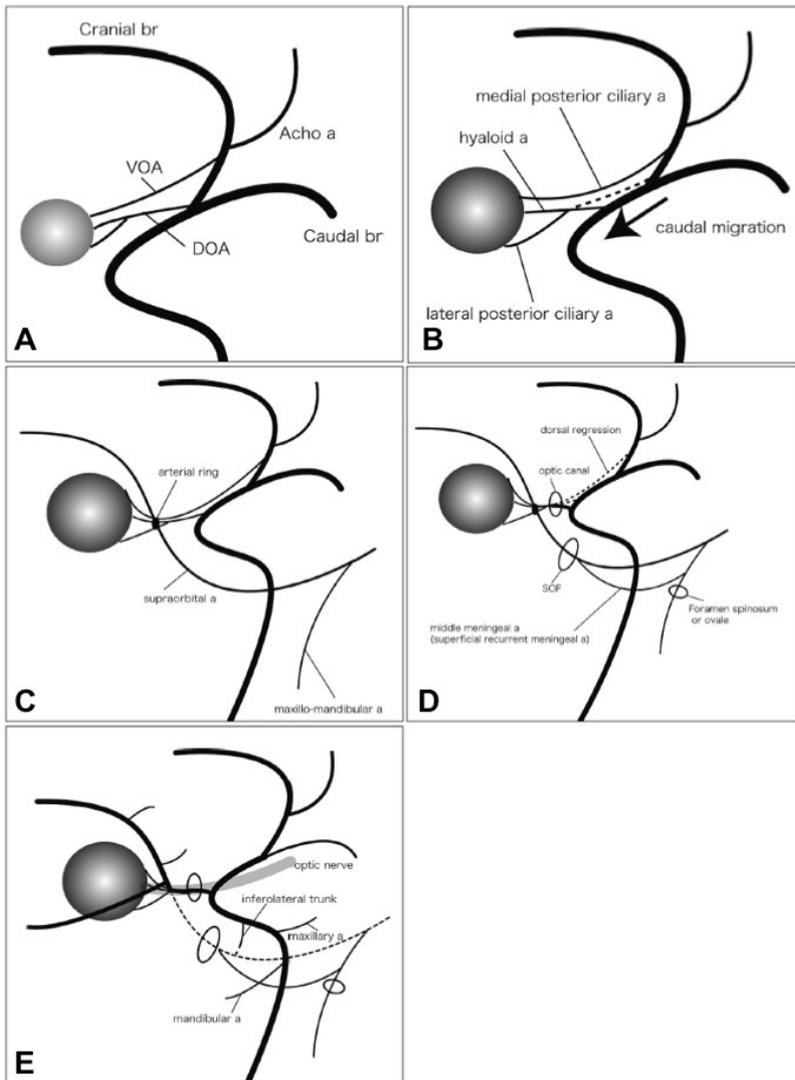


Fig.5. Padgettの仮説.  
 A: DOAはprimitive ICAの分岐部の反対側に出現し, hyaloid arteryとLPCAを分岐する, VOAはanterior choroidal arteryの分岐部近傍から出現しMPCAを分岐する. B: DOAの起始部はcaudal migrationにより近位に移動する. C: VOAの近位部は退縮し, 同時にstapedial arteryはsupraorbital divisionとmaxillomandibular divisionを出す. D: supraorbital divisionは上眼窩裂を通して眼窩内に入りVOA, DOAとarterial ringを形成する. E: arterial ringの腹側部が退縮し最終的な眼動脈の形態となる. (文献3より引用改変)

### 眼動脈の比較解剖

de la Torreらはヒト胎児とイヌの眼動脈を含めた頭蓋底動脈について比較検討している<sup>(6)</sup>. 5~9ヶ月の胎児6例すべてで内頸動脈海綿静脈洞から分岐するpersistent primitive maxillary arteryが認められた. この動脈はinferior hypophyseal arteryとなる内側枝と外側枝に分かれ, 外側枝は近傍の硬膜, 眼窩, 三叉神経節へと血液供給しており, 中硬膜動脈から眼窩への分枝と吻合している. イヌの眼動脈は内頸動脈から分岐するinternal ophthalmic arteryと外頸動脈から分岐するexternal ophthalmicからなり, 内頸動脈と外頸動脈との間にはmaxillo-carotid anastomotic arteryが存在し, 外頸動脈から内頸動脈への側副路となっている. このanastomotic arteryがpersistent primitive maxillary arteryと相同であると推測されており, persistent primitive maxillary arteryがILTとなる可能性が示唆される.

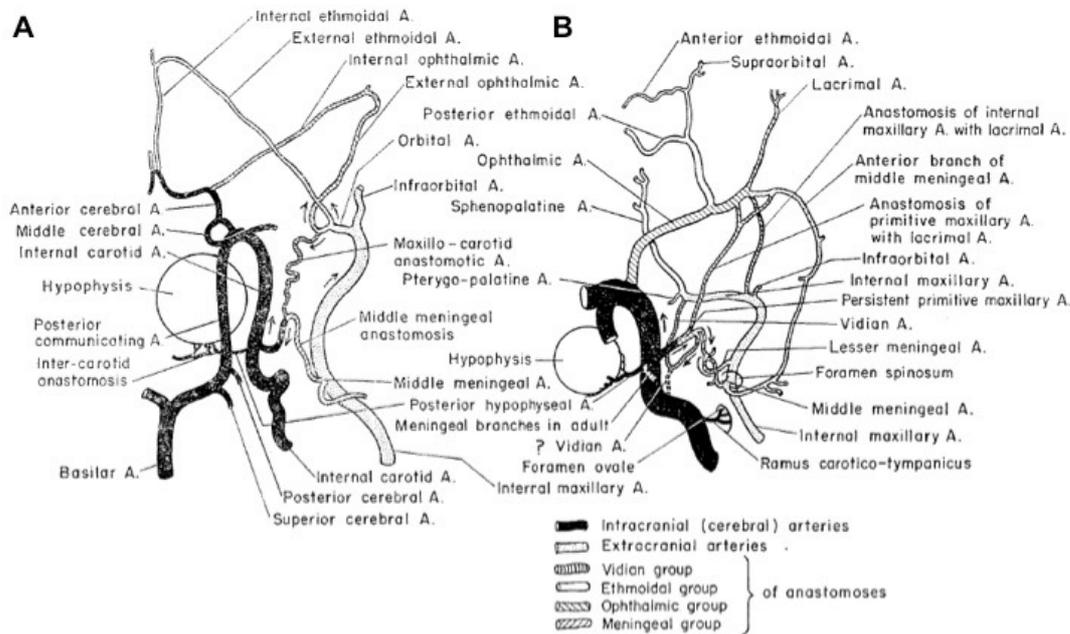


Fig.6. イヌの頭蓋底動脈 (A) と胎児の頭蓋底動脈 (B) の比較 (文献7より引用)

参考文献

1. Lasjaunias P, Berenstein A, TerBrugge K. Surgical Neuroangiography. Vol.1. Clinical Vascular Anatomy and Variations. Springer-Verlag, 2001
2. Padget DH. The development of the cranial arteries in the human embryo. Contrib Embryol 32:205-261, 1948
3. Komiyama M. Embryology of the ophthalmic artery: a revived concept. Interventional Neuroradiology 15: 363-368, 2009
4. Hayreh SS. Orbital vascular anatomy. Eye 20:1130-1144, 2006
5. Geibprasert S, Pongpech S, Armstrong D, Krings T. Dangerous external and internal anastomoses and supply to the cranial nerves: Vessels the neurointerventionalist needs to know. Am J Neuroradiol 30: 1459-1468, 2009
6. Sadler TW. Langman's medical embryology 12th edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2012
7. de la Torre E, Netsky MG. Study of persistent primitive maxillary artery in human fetus: Some homologies of cranial arteries in man and dog. Am J Anat 106: 185-195, 1960