

Ophthalmic artery

奥村浩隆

Hiroataka Okumura

昭和大学医学部脳神経外科学講座

Department of Neurosurgery, Showa University

1, 眼動脈の発生

胎生第3週、前脳側面から外側に一对の空洞が生じ、眼胞optic vesicleとして突出し始める。これと共に ophthalmic arteryは出現を始め、水晶体板lens placode、眼杯optic cup、眼茎optic stalk(後の視神経)の形成と共に発達していく。Ophthalmic arteryの発生にはprimitive dorsal ophthalmic artery (DOA)、primitive ventral ophthalmic artery (VOA)などの原始動脈の発達と消退が複雑に関与している。これらの発生退縮過程には不明な点もあり、複数の説が存在する。今回、PadgetとLasjauniasの説を解説し、それらを比較検討する。

Padgetの説¹⁾

OA発生について、Padgetの記述をGreggのFigureと共に概説する²⁾。

A, 4- to 5-mm stage

まず、primitive maxillary artery (MA)がICA (将来のcavernous segment)から分岐し、lateral branchとmedial branchを分枝する。lateral branchは眼胞optic vesicleへ、medial branchはRathke's pouch(将来の下垂体)に向かう。

B, 5- to 6-mm stage

Primitive olfactory artery (OlfA)とprimitive DOAは、primitive MAより遠位部のICAより分枝する。Primitive DOAは、ICAのcaudal division (PComA)のレベルから分岐し眼胞optic vesicleに向かう。

C, 7- to 12-mm stage

Primitive DOAは眼球のcaudal and dorsal portionを栄養する。Primitive VOAがanterior choroidal artery分岐部あたりより分岐し、眼球のcranial and ventral portionを栄養する。Primitive OlfAは将来のACAとなる小さな動脈を分枝する。Primitive MAのoptic branchが退縮する。その後、硝子体動脈hyaloid artery(将来のcentral retinal artery)がDOAより分岐する。

D, 16- to 18-mm stage

Adult OAの起始部がprimitive ophthalmic arteryの近位部に認められるようになる。Adult OAの起始部はtemporociliary arteryとprimitive DOAのhyaloid branch、primitive VOAのcommon nasal ciliary arteryを併合する。Stapedial arteryのsupraorbital divisionが将来的にadult OAの領域のorbital componentを栄養する。

E, 20- to 24-mm stage

眼動脈の3つのocular branch (central retinal artery, medial/lateral posterior ciliary arteries)が形成される。Primitive MAのmedial branchがinferior hypophyseal arteryとなる。Primitive OlfAが退縮し、stapedial arteryからのsupraorbital divisionは、OAと眼窩内の吻合を形成する。これは、視神経周囲のarterial ringを形成する。

F, 40-mm embryo

Primitive OAがstapedial arteryからのprimitive supraorbital arteryを併合する。Stapedial arteryのsupraorbital divisionが遠位でMAとつながり、adult MMAとなる。視神経周囲のarterial ringの一部(主にcranioventral segment)が消失することによって、OAとその枝は、ほぼ成人の構造に至る。

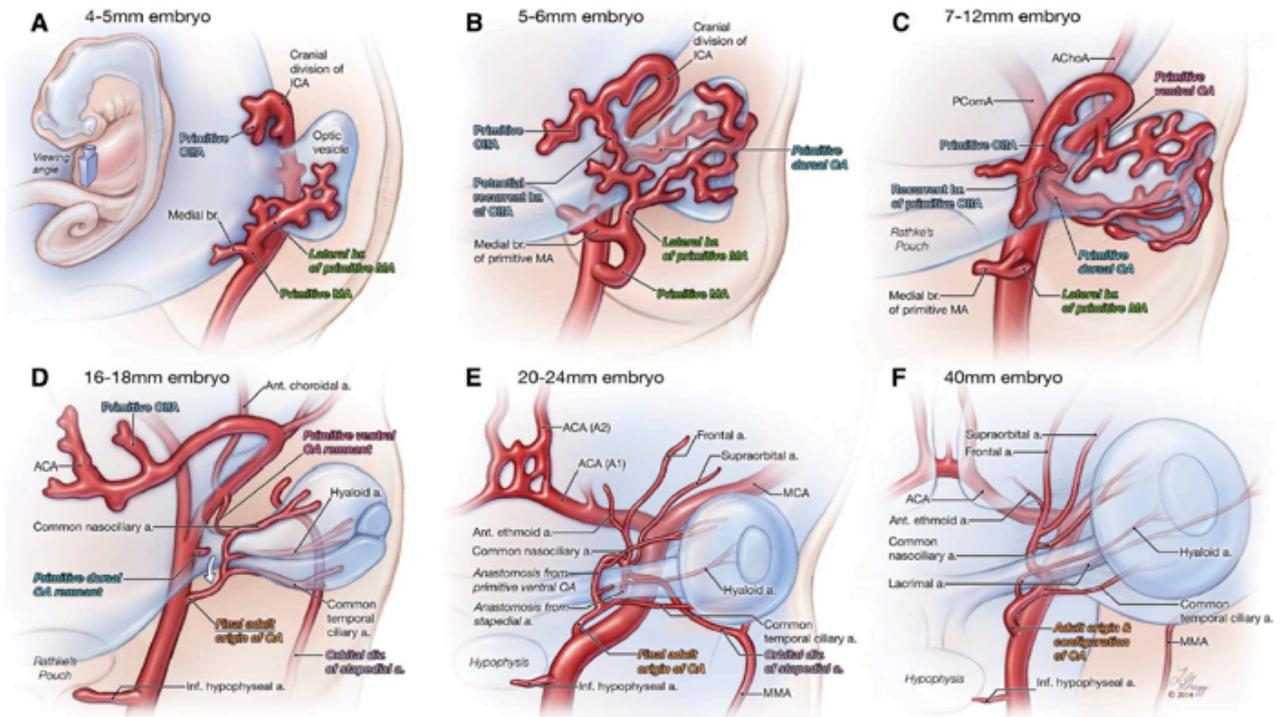


Figure 1. Padgettの説: 文献2より引用

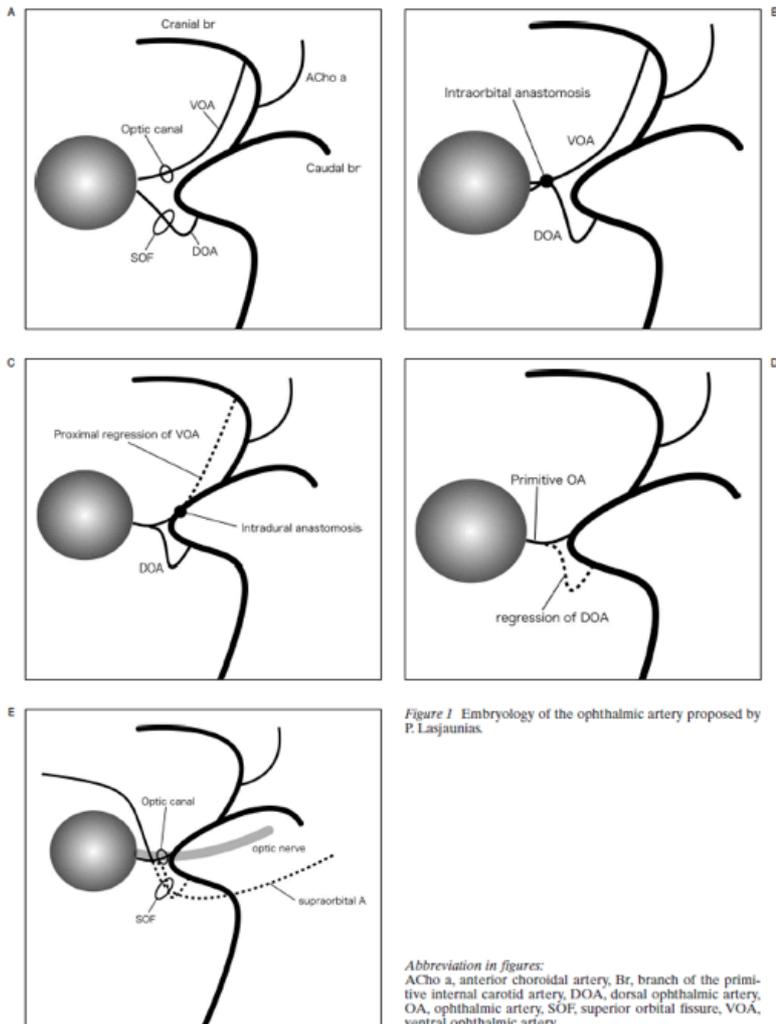


Figure 1 Embryology of the ophthalmic artery proposed by P. Lasjaunias.

Abbreviation in figures:
 ACho a, anterior choroidal artery, Br, branch of the primitive internal carotid artery, DOA, dorsal ophthalmic artery, OA, ophthalmic artery, SOF, superior orbital fissure, VOA, ventral ophthalmic artery.

Lasjauniasの説³⁾

- 1, VOAとDOAの二つの原始血管が眼胞 optic vesicleに供血する。VOAはICAの cranial divisionから起始しoptic canalを通り、DOAは海綿静脈洞部より起始し、上眼窩裂を通り眼窩内へ入る(Figure 2A).
- 2, VOAとDOAは眼窩内の視神経付近で吻合し(Figure 1B)、その後、VOAは硬膜内にて視神経管近傍の内頸動脈と吻合する (Figure 2C). VOAとDOAの起始部は退縮し、adult ophthalmic arteryが形成される (Figure 2D).
- 3, 退縮したDOAの遺残がILTである。Stapedial arteryの枝であるsupraorbital arteryもSOFを経由してethmoidal arteryやlacrimal arteryなどの眼窩内動脈を分枝する(Figure 2E).

Figure 2. Lasjauniasの説: 文献5より引用

Padgetの説とLasjauniasの説の主な相違点として、DOAそのものや、adult OA起始部の由来などが挙げられる。Padgetの説にて、DOAはcaudal division (PComA)の対側壁から起始するとされている。一方、Lasjauniasの説ではcavernous segmentから起始することとされ、SOVを通過することとされている。また、Lasjauniasの説にてadult OAの由来は、VOAとされていることも大きな違いである。

ICA cavernous起始のophthalmic arteryに対する解釈

イヌにおいてOAはinternal OAとmaxillary arteryより分岐するexternal OAからなり、cavernous ICAとexternal OA(イヌのOA)をつなぐmaxillocarotid anastomotic arteryが存在する^{6,7)}。イヌにおけるこの吻合血管とexternal OAが、それぞれ、ヒトのILTとcarotid ICAを起始とするOAに相同ずると考えられる。

Lasjauniasは、ICAのcavernous portionを起始するOAの起始異常は、persistent primitive dorsal OAであるとしている。一方Padgetは、primitive dorsal OAがICA cavernous originであるとは記述しておらず、Komiyama、Greggは、recurrent OAがpersistent primitive OAであるという考えに反論している。Komiyamaは、inferolateral trunkの形成にはpremandibular archのdorsal remnantが関与しているとし、inferolateral trunkから分岐するOAのvariationが三叉神経第1枝を伴走していることからsupraorbital arteryを使っているとしている⁵⁾。また、Greggは、primitive maxillary arteryのtrunkがILTと同じ位置であると推察されることなどから、primitive maxillary arteryのlateral branchがdeep recurrent OAの由来であるという仮説を立てている⁵⁾。

2. 眼動脈の解剖

眼動脈の起始

一般的に眼動脈は、内頸動脈が海綿静脈洞から硬膜を貫通した直後、内頸動脈の前内側面あるいは上内側面から起始する。その他の起始のバリエーションとして、内頸動脈海綿静脈洞部、中硬膜動脈、前大脳動脈、中大脳動脈、後交通動脈、脳底動脈などが報告されている。前大脳動脈起始は、dorsal ophthalmic arteryの消退とventral ophthalmic arteryの遺残が成因と考えられる。Heyrehは、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(上眼窩裂より頭蓋内へ)1.2%、2本のtrunk(内頸動脈から細いtrunkおよび中大脳動脈から太いtrunk)2.4%と報告している⁸⁾。眼動脈の中硬膜動脈起始は、accessory ophthalmic arteryと呼ばれることもある⁹⁾。

眼動脈の走行と分類

眼動脈は、走行する部位によって3つの部位に分類される。

Intracranial segment：内頸動脈から分岐後、頭蓋内を走行する部分

Intracanalicular segment：視神経管内の部分。視神経の下外側に沿って走行する。

Intraorbital segment：視神経管を出て眼窩内を走行する部分

また、intraorbital segmentではさらに3つに分類される。

First portion：眼動脈は視神経の下外側面を走行する。

Second portion：視神経周囲を回り込むように下外側から上内側に向かう。その経路はcross overとcross underの2種類がある。

Third portion：視神経の内側を前方へと走行、眼窩の上内側角付近でsupratrochlear branchとdorsal nasal branchに分かれる。

Second portionの走行様式と分枝のパターン

眼動脈は、発生過程において視神経の周りで吻合しperineural arterial ringを形成する。原始眼動脈(primitive DOA, VOA)がarterial ringの腹側を形成し、supraorbital arteryのbranchが背側を形成する。これがsecond portionの由来で、消退の仕方によってcross overとcross underのいずれかとなる。その走行パターンにより、OAの分枝の順番が異なる。走行パターンの違いは、発生過程にて視神経周囲に形成されるarterial ringの消退パターンによる。

Cross over: OAのsecond portionが、視神経の外側から上面を通るタイプ(82.6%)。 Central retinal arteryとmedial muscular arteryの共通幹がophthalmic arteryより分岐した後、その遠位からlateral muscular arteryが分岐する¹⁰⁾。

Cross under: 視神経の下面から内側を通るタイプ(17.4%)。 Lateral muscular artery、central retinal artery、medial muscular arteryの順に分岐する。

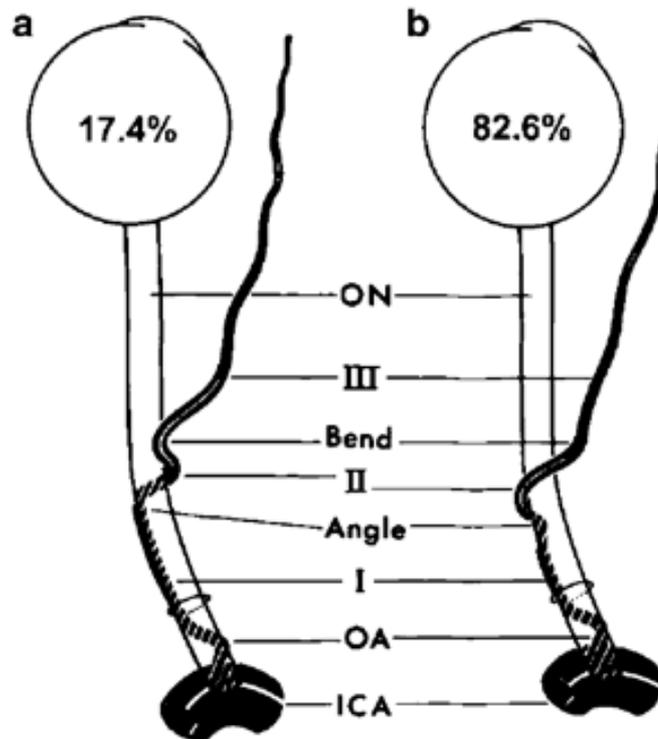


Figure 3. Course of the ophthalmic artery when it crosses (a) under and (b) over the optic nerve and their incidence文献11より引用

Hayrehは、arterial ringの消退部位を下記の様にさらに詳細に分類し詳述している⁸⁾。

W: Between the supraorbital branch of stapedial artery and primitive ventral ophthalmic artery.

W1 (between the origin of medial muscular artery and the distal part of the ophthalmic artery) and W2 (between the medial muscular artery and medial posterior ciliary artery)

X: Between the primitive ventral and dorsal ophthalmic arteries.

Y: Between the supraorbital branch of stapedial artery and primitive dorsal ophthalmic artery.

Z: Segment of the supraorbital branch of stapedial artery between W and Y.

そのシェーマを下に示す。また、それぞれのパターンの発生率は、59例のうち、W: 45.8%, X: 28.8%, Y: 22.2%, Z: 1.7%, Nil: 1.7%*であったとしている。(*arterial ringが残存していたcase)

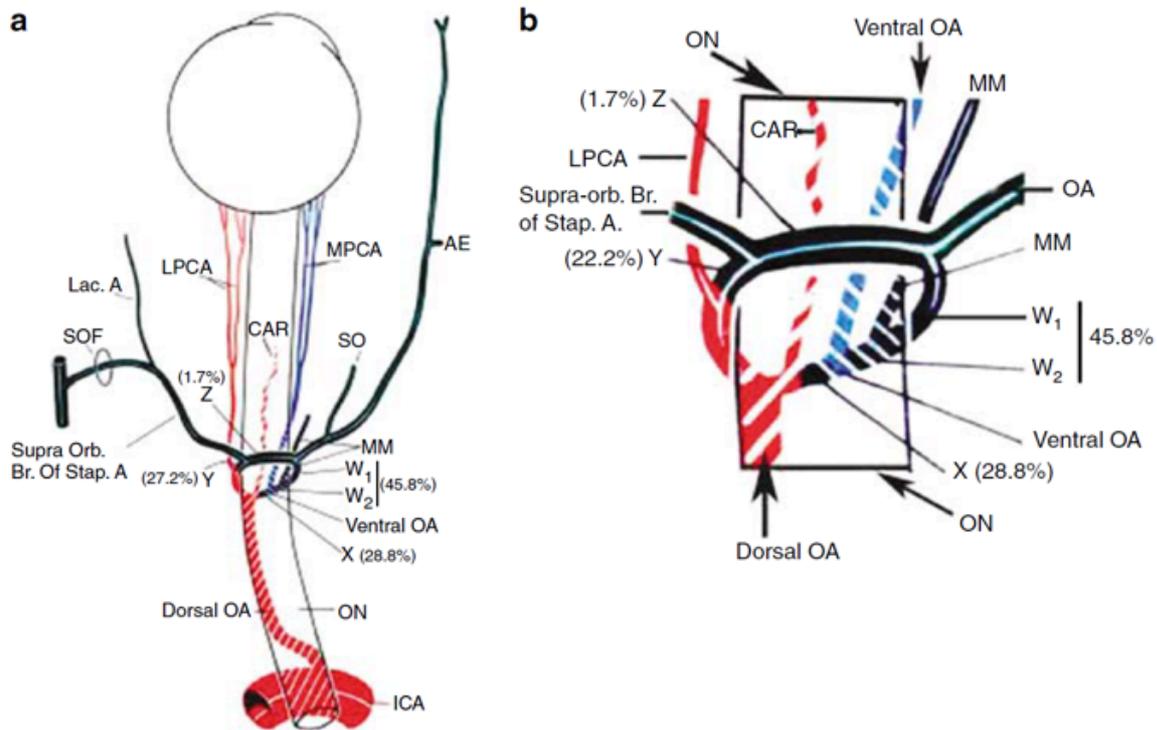


Figure 4. Schematic representation of the developmental origin of the various parts of the ophthalmic artery

3, 眼動脈の主な分枝

眼動脈の分枝は、ocular groupとorbital groupに分けられる。Ocular groupは眼球、視神経、外眼筋を栄養する血管群で、orbital groupは涙腺などの付属器や皮膚、硬膜などを栄養する血管群である。主な分枝を以下に示す。

Ocular group

Central retinal artery: 発生学的には、dorsal ophthalmic arteryの枝であるhyaloid arteryから形成される。First segmentから分岐するのは22.1%、first segmentとsecond segmentの間から分岐するのは58.7%、second segmentから分岐するのは18.3%とされている。

Anterior ciliary artery: 毛様体や虹彩を栄養する

Posterior ciliary artery (medial posterior ciliary artery, lateral posterior ciliary artery): 視神経前部、脈絡膜を栄養する

Muscular artery: 外眼筋を栄養する。Superior branchとinferior branchに分枝する。

Orbital group

Lacrimal artery: 外直筋の上縁をlacrimal nerveとともに走行し、涙腺を栄養する。終枝は眼球結膜や眼瞼に至る。MMAから分岐することも有る。Meningo-lacrimal artery、zygomatic branch、lateral palpebral arteriesを分枝する。

Meningo-lacrimal artery: cranio-orbital foramen(lacrimal foramen)を通りMMAと交通する。

Zygomatic branch: zygomatico-temporal foramenからtemporal fossaに入る。Deep temporal arteryと吻合がある

Supraorbital artery: 上直筋の内側縁に沿って走り、supraorbital foramen(supraorbital notch)を通り眼窩から出る。

Ethmoid-nasal artery: posterior ethmoid artery, anterior ethmoid arteryを分枝する。さらにその末梢では、medial palpebral arteryとsupratrochlear artery(frontal arteryとも呼ばれる)を分岐後、dorsal nasal arteryとなる。

Posterior ethmoid artery: posterior ethmoidal foramen(canal)を通り頭蓋内へ。

Anterior ethmoid artery: anterior ethmoidal foramen(canal)を通り頭蓋内へ。Anterior meningeal arteryとnasal branchを分枝する。

Medial palpebral artery: Ethmoid-nasal arteryから分枝し眼瞼の自由縁付近を走行する。Superior medial palpebral arteryとinferior medial palpebral arteryの2本があり、palpebral archを形成する。Lacrimal arteryの分枝であるlateral palpebral arteriesと吻合がある

4, 眼動脈と外頸動脈とのanastomosis

眼動脈の分枝は、外頸動脈と多数の潜在的な吻合を有している。外頸動脈から液体塞栓物質などで動脈塞栓術を行う際には、central retinal arteryへの流入による視力障害やICAへ逆流による脳梗塞の出現などに注意を払う必要がある。眼動脈と外頸動脈のおもなanastomosisは、大きく以下のように分類できる。

眼窩外側にて上眼窩裂やcranio-orbital foramenを経由したもの

MMAは、cranio-orbital foramen (lacrimal foramen)を通るmeningo-lacrimal arteryや上眼窩裂を通るsphenoidal artery(recurrent meningeal artery)を介してlacrimal arteryと吻合を有している。その他、lacrimal arteryは、zygomatic branchを介してdeep temporal arteryとanastomosisを有している。

眼窩上方にてanterior, posterior ethmoidal foramenを経由したもの

Anterior, posterior ethmoidal arteryは、sphenopalatine arteryやMMAと吻合を有している。

眼窩縁を経由したもの

Supraorbital artery、dorsal nasal artery、supratrochlear artery、palpebral arteryがSTAのfrontal branchやfacial arteryのangular artery、infraorbital arteryなどと吻合を有する。

また、下図に主な吻合の相関図を記すので参考にされたい。

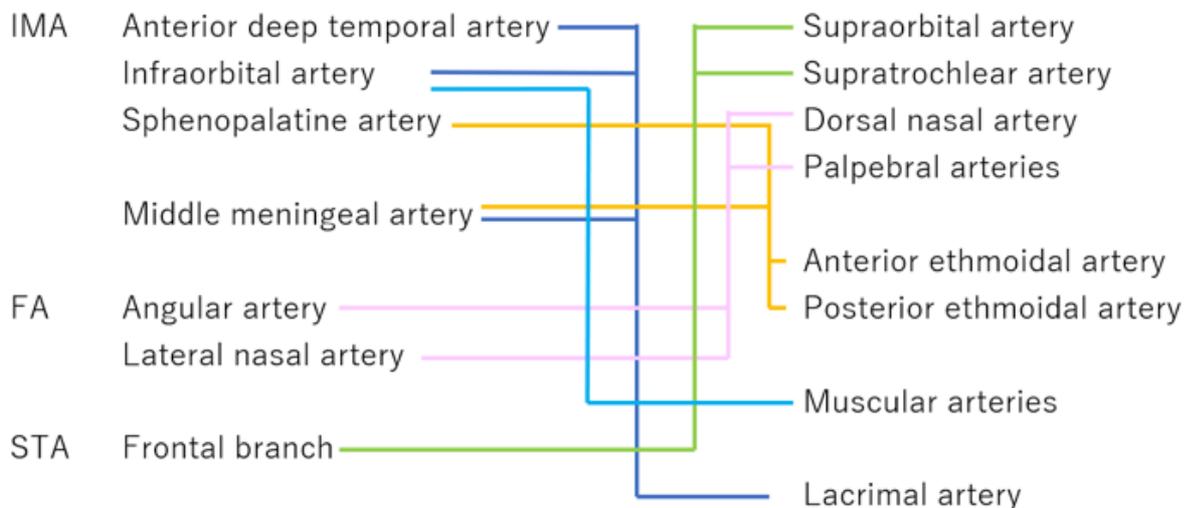


Figure 5. Variation of anastomosis between ophthalmic artery and external carotid artery.

参考文献

1. Padget DH. The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contrib Embryol* 32:205-261, 1948
2. Gregg L, San Millán, Orru' E, Tamargo RJ, Gailloud P. Ventral and Dorsal Persistent Primitive Ophthalmic Arteries. *Operative Neurosurgery* 12:141–152, 2016
3. Lasjaunias P, Moret J, Mink J. The anatomy of the inferolateral trunk (ILT) of the internal carotid artery. *Neuroradiology* 13: 215-220, 1977.
4. Lasjaunias P, Berenstein A: *Surgical Neuroangiography. Vol 3. Functional Vascular Anatomy in Brain, Spinal Cord and Spine.* Springer Verlag, Berlin, 15-87, 1992.
5. De La Torre E, Netsky M. Study of persistent primitive maxillary artery in human fetus: some homologies of cranial arteries in man and dog. This investigation was supported in part by research grant B-1088 from the national institutes of health, public health service. *Am J Anat.* 1960;106(3): 185-195.
6. Jewell P. The anastomoses between internal and external carotid circulations in the dog. *J Anat.* 1952;86(pt 2):83.
7. Hayreh SS *Orbital vascular anatomy.* *Eye* 20:1130-1144, 2006
8. Picard L, Vignaud J, Lombardi G, Roland J. Radiological anatomy of the origin of the ophthalmic artery. *Mod Probl Ophthalmol.* 1975;14:164-9.
9. Hayreh SS. The ophthalmic artery. III. Branches. *Br J Ophthalmol* 1962; 46: 212–247.
10. Hayreh SS. Arteries of the orbit in the human being. *Br J Surg* 1963; 50: 938–953.
11. 小宮山雅樹. 詳細版 脳脊髄血管の機能解剖. p191-206.