

眼窩の動脈解剖

Arterial anatomy of the orbit

大分大学放射線部 清末一路

Hiro Kiyosue, Oita University Hospital

Keyword: anatomy, embryology, ophthalmic artery, and orbit

眼窩壁を構成する骨は前頭骨、頬骨、篩骨、蝶形骨、涙骨、上顎骨、口蓋骨で、霊長類以外では骨壁は不完全に眼窩を覆うが、ヒトでは眼窩は前方を除きほぼ骨性の壁でおおわれている。眼窩上壁は前頭骨および深部では蝶形骨の小翼から構成され、下壁は上顎骨、頬骨眼窩面、および口蓋骨の眼窩突起から構成される。および頭蓋内および翼口蓋窩と上眼窩裂、視神経孔、下眼窩裂という穴・間隙で交通している。眼窩には眼球、視神経に加えて外眼筋および外眼筋などに分布する脳神経などが含まれる。

眼窩内組織への供血はヒトではその大部分が眼動脈を介して内頸動脈系から供血されるが、イヌなど霊長種以外の種では外頸動脈系からexternal ophthalmic arteryの供血が主であり、内頸動脈からはinternal ophthalmic artery がcentral retinal arteryのみが分枝する。

1. 眼動脈の発生と起始部の変異

眼動脈の発生は複雑でいくつかの原始血管がその形成に関与する。一般的にはPadgetの説が受け入れられているが、脳管内治療の領域ではLasjaniasの仮説が支持されている(1) (2)。以下両者の仮説を概説する。

Padgetによる眼動脈の発達 (図1) (1)

1. 内頸動脈のcaudal division (PcomA)とcranial divisionの分岐部付近よりdorsal ophthalmic artery(DOA)が分岐し眼胞（将来の眼球）を栄養し、DOAからは将来のcentral retinal arteryとなるhyaloid arteryが分枝する。さらに、より尾側（primitive trigeminal artery分岐よりやや頭側）からprimitive maxillary arteryが起始し、内側枝（将来のinferior hypophyseal artery）と外側枝に分かれ、外側枝は眼胞の一部や前脳の底面を栄養する。
2. 内頸動脈のcranial divisionからventral ophthalmic artery (VOA)が起始し、眼胞の内側腹側を栄養するようになり、primitive maxillary arteryの外側枝は退縮する。VOAとDOAは末梢側で豊富な吻合を形成する。
3. VOAの近位部は退縮する、stapedial arteryから分枝する眼窩枝（superior orbital branch）が発達し外側から前述のVOA/DOAの吻合に連続することにより、視神経を囲むringを形成する。
4. DOA起始部が尾側に変位することにより眼動脈起始が形成され、視神経周囲のringの一部が離断することにより、眼動脈分枝が形成される。またstapedial arteryは退縮しsupraorbital branchは外頸動脈から起始する中硬膜動脈となる。眼動脈との吻合は退縮していくが潜在的に残る。

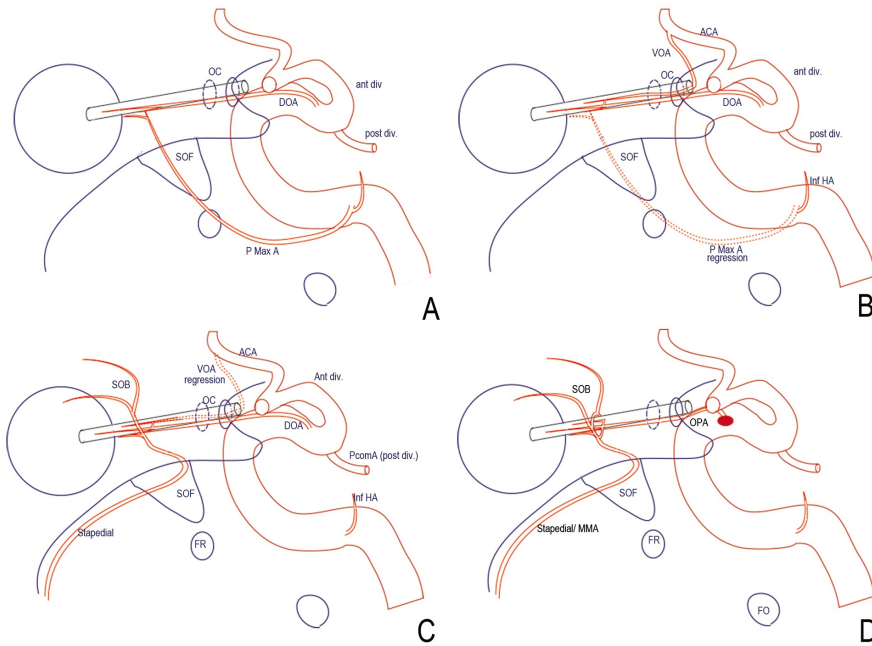


図1 Padget説による眼動脈の発生の模式図

Lasjaniasによる眼動脈の発達 (図2) (2)

1. VODはPadgetの説と同様にanterior division (将来の前大脳動脈) から起始し眼胞に供血するが、DOAはより尾側 (C4) より起始するとされ、将来の上眼窩裂を通り眼窩に入りVOAと吻合する。
2. 続いてDOAは退縮する。またVOAが眼窩に入る前の部分で内頸動脈に取り込まれ、それより近位部のVOAが退縮することにより眼動脈が形成される。退縮したDOAの遺残は内頸動脈海綿静脈洞部からの分枝であるinferolateral trunk (ILT)となる。

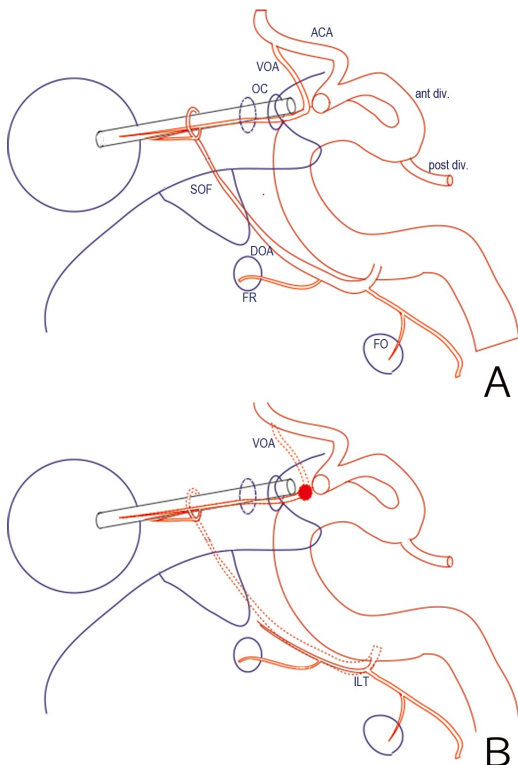
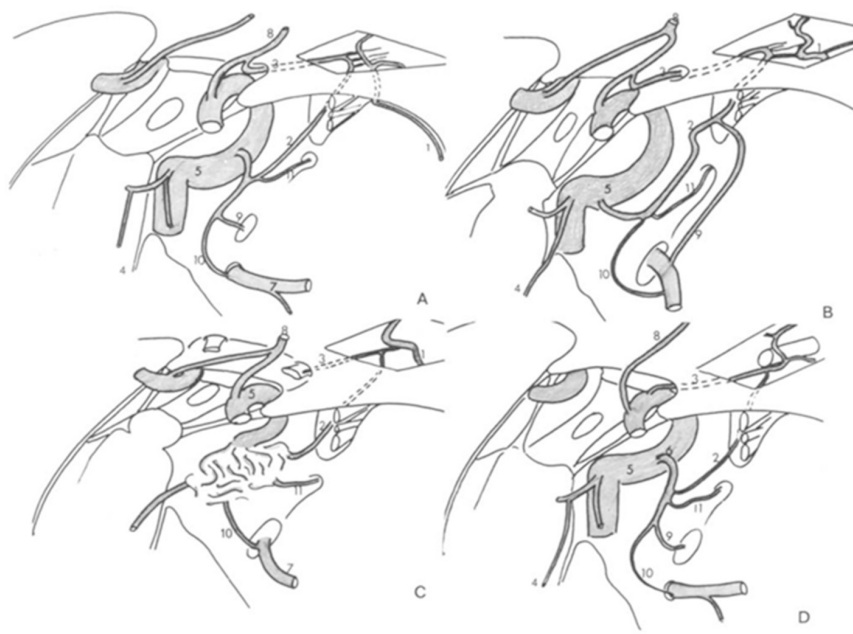


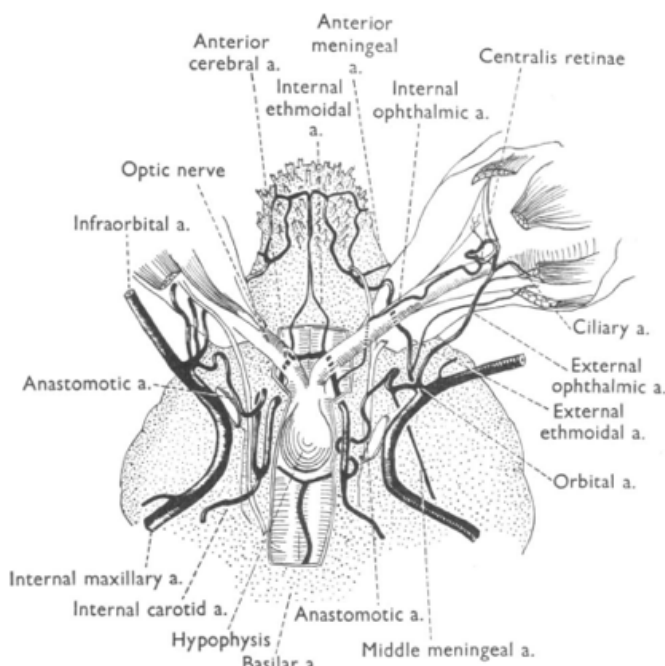
図2 Lasjanias説による眼動脈の発生の模式図

Lasjaniasの仮説は眼動脈の起始異常症例やヒト以外の種における眼動脈との比較解剖をもとにした仮説であり、Padgetの説と最も異なる点はDOAの定義 (起始部) と退縮血管である。Lasjaniasの説の論拠となっている眼動脈起始異常は内頸動脈海綿静脈洞部から起始し上眼窩裂を通り眼窩内に入り眼窩内組織及び眼球・視神経に供血するような変異であり。また、他の論拠として他の種 (特にイヌ) において同様の血管構造が見られるという点があげられている (図3)。



文献2より抜粋
 図3 Lasjaniasによる胎生期の眼動脈と各種動物の眼動脈の模式図
 A) ヒトの胎生期 1 stapedial arteryの眼窩枝(supraorbital artery)、2 DOA, 3 VOA
 B) イヌの正常血管解剖 2 anastomotic artery, 3 medial ophthalmic artery
 C) ヒツジの正常血管解剖
 D) ヒト成人の正常血管解剖

すなわちイヌにおけるanastomotic arteryがヒト胎生期のDOAのhomologueであり、内頸動脈サイフォンから起始し眼窩内でmedial ophthalmic artery (ヒトにおけるVOA)と吻合すると述べている。しかし、イヌにおける眼球を含む眼窩内組織への供血路は、internal maxillary arteryから起始するexternal ophthalmic arteryが主であり、anastomotic arteryは内頸動脈から眼動脈への血流を担うのではなく、その逆で外頸動脈 (internal maxillary artery) から内頸動脈への側副血行路として働いているとされている (図4) (3)。またLasjaniasがDOAの遺残から形成されるとするILTは三叉神経に沿って分枝し、その主な神経への供血は視神経ではなく三叉神経の栄養を担う。これらのことからイヌにおけるanastomotic arteryがILTのhomologueであることには異論はないが、これを眼動脈のhomologueと考えるのには少し無理があると思われる。



文献3より抜粋
 図4 イヌの眼窩に関する動脈系の吻合 イヌのanastomotic arteryは内頸動脈とinternal maxillary arteryから起始するorbital arteryと吻合する血管であり、直接眼窩に入るものではなく、血流方向も外頸動脈から内頸動脈へ向かう。

一方、Padgetの記述ではILTの発生に関しては全く述べられていない。ILTから眼動脈につながる分枝を有する変異が存在することからILTの発生についても考察する必要がある。Komiyamaは前述のPadgetとLasjaniasの記述の違いを指摘したうえで、ILTの形成はpremandibular archの遺残が関与しているのではないかと推察している(4)。他の仮説としてTorreらはヒト胎児とイヌの頭蓋底血管の解剖例の検討から、ヒトにおけるprimitive maxillary arteryの外側枝の遺残がイヌのanastomotic arteryをはじめとする中頭蓋底における内外頸動脈の吻合動脈（ヒトでのILT）ではないかと推測している(5)。すなわち、Padgetの記述では完全に退縮し内側枝（inferior hypophyseal artery）のみとなるprimitive maxillary arteryの外側枝が実際には遺残し、ILTを形成するのではないかとということである（図5）。実際イヌの血管解剖ではanastomotic arteryからposterior hypophyseal artery（人のinferior hypophyseal artery）が起始する例が観察されており、さらに同外側枝が本来眼胞への供血に関与していることから、彼の説に一考の余地はあるのではないと思われる。

以上のことから眼動脈の発生としては原則的にPadgetの説が支持しやすく、イヌなどのanastomotic arteryはILTのhomologueであるが、DOAとは異なるものであると考える。ILTの発生にはprimitive maxillary arteryの遺残が関与している可能性があり、その場合末梢側はstapedial artery system(のちの中硬膜動脈系)にannexationされ、中枢側はILTとなるのではないと思われる。よってILTから眼窩への動脈が分枝する場合にはprimitive maxillary arteryの末梢側への連続が遺残したものと考えることもできると思われる。

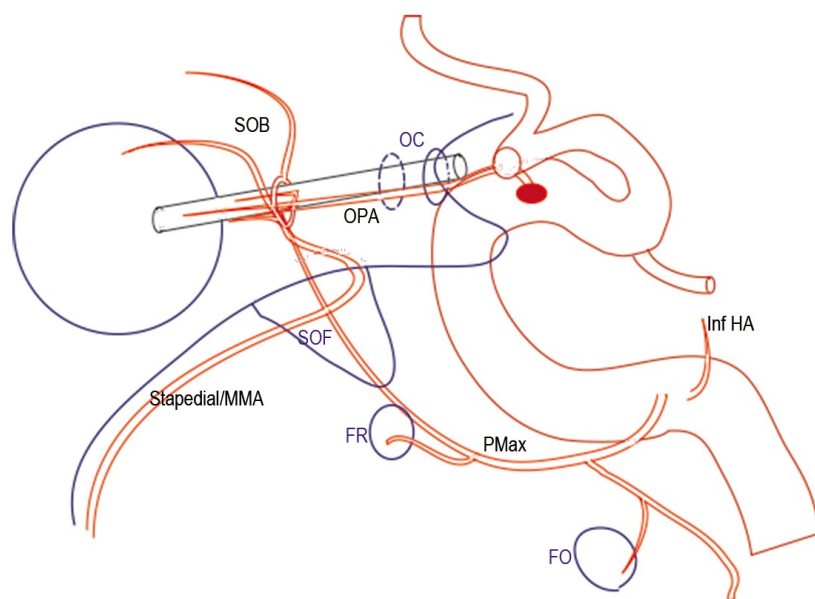


図5 primitive maxillary artery 遺残とILTの発生と眼動脈の関係の模式図

以上のように眼動脈の発生には複数の原始血管がかかわっており各々の遺残や位置異常などにより、眼動脈の起始部には様々な変異が存在する。VOAの近位側が遺残した場合anterior division（多くの場合前大脳動脈）から眼動脈が起始する変異となる（図6）。非常にまれではあるが脳底動脈や中大脳動脈からの起始の報告も見られる。

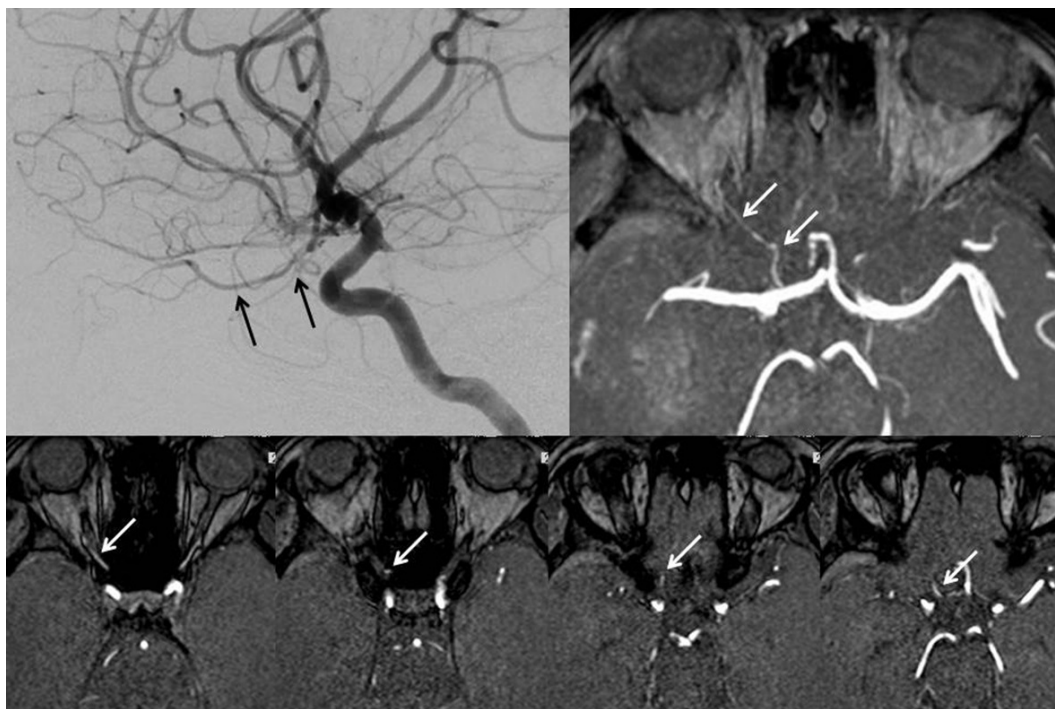


図6
眼動脈（矢印）が前大脳動脈A1より起始し視神経管を通り眼窩内に入る。

また、より頻度が高いものとして前述のごとく海綿静脈洞部の内頸動脈からILTを介して眼動脈が供血される変異（図7）や、stapedial systemの眼窩枝の遺残による中硬膜動脈由来の眼動脈などの変異（図8）があげられる。

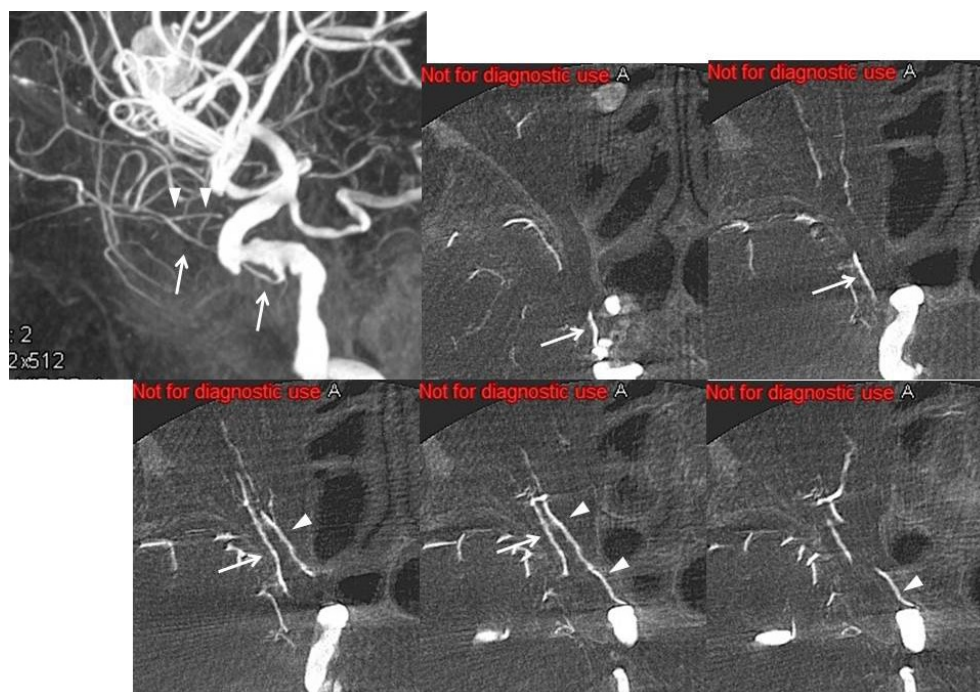


図7
本来の眼動脈（矢頭）に加えて海綿静脈洞部内頸動脈よりILTを介して上眼下裂を通り眼窩内に入る眼動脈を認める。

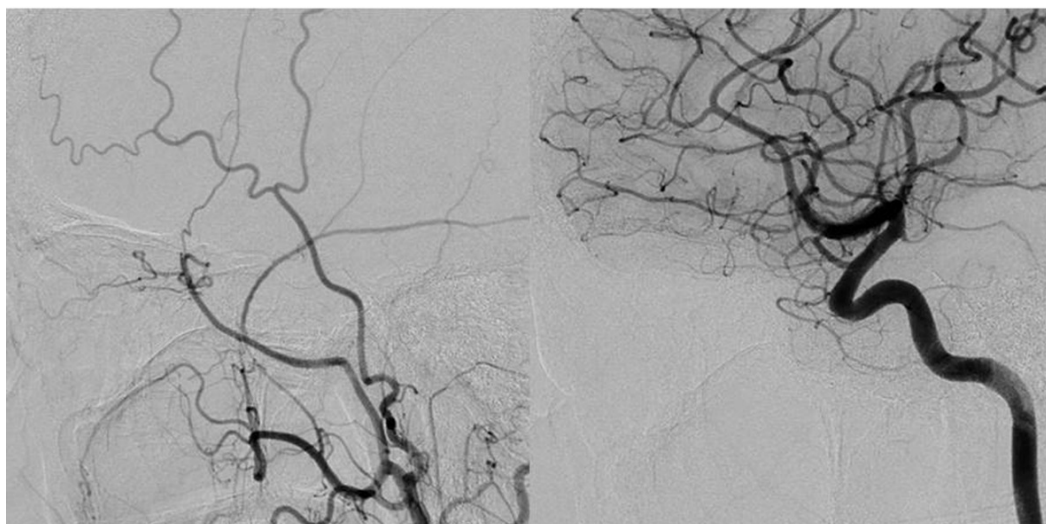


図8
中硬膜動脈よりrecurrent meningeal arteryを介して眼動脈が描出される。同側内頸動脈造影では眼動脈の描出は見られない。

さらに、眼動脈がやや低い位置で視神経管や上眼窩裂を通らずに眼窩内へ入る変異も報告されている（図9）。これは、ILTからの側副路というより、眼動脈本幹の形成時の位置異常（過度なcaudal migration）によるものと思われる。

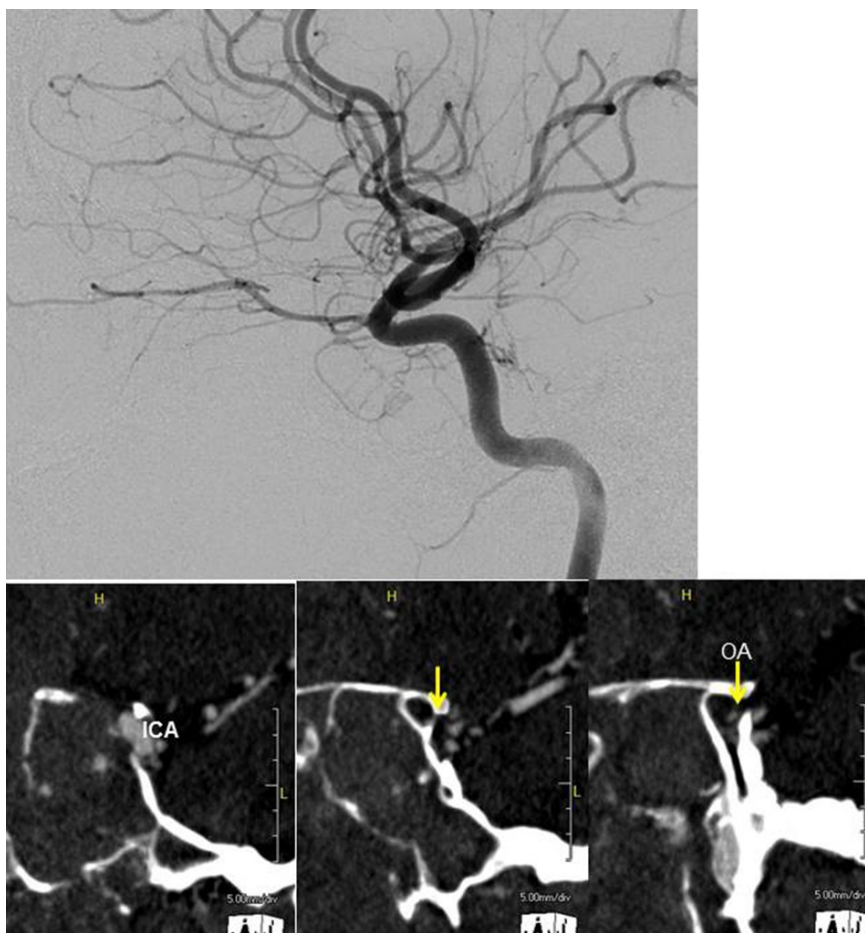


図9
眼動脈起始異常。眼動脈は通常よりやや低位より起始し、CT冠状断では視神経管外下壁の欠損部を通り眼窩内に入る（矢印）。

2. 眼窩内眼動脈の形成と分枝パターン

眼窩内の眼動脈の形成と分枝パターンに関してはHayrehがPadgetの眼動脈の発生をもとに、自らの眼動脈の詳細な解剖研究の結果を加えて考察し、非常に詳しく述べている(6)。初期には眼球は主にDOAから供血されているが、DOAからは将来のcentral retinal arteryとなるhyaloid arteryが分枝しその末梢側のDOAはlateral posterior ciliary arteryとなる。またDOAの起始部は近位側に変位し本来の眼動脈幹となる。一方VOAはDOAと視神経の腹側でcentral retinal arteryを介して吻合し、吻合より中枢側は退縮し消失する、吻合より遠位側のVOAはmedial posterior ciliary arteryとなる。よってこの時点では、central retinal arteryとmedial posterior ciliary arteryは共通幹として分枝し、眼動脈から眼球・視神経以外の眼窩組織への分枝(orbital branch)はみられない。続いて、stapedial arteryのsupraorbital branchが外側から眼窩に入り、眼動脈と吻合を形成する。orbital branchはこのsupraorbital branchより派生する。これらの吻合により、視神経を取り囲むarterial ringが形成される(図10)。

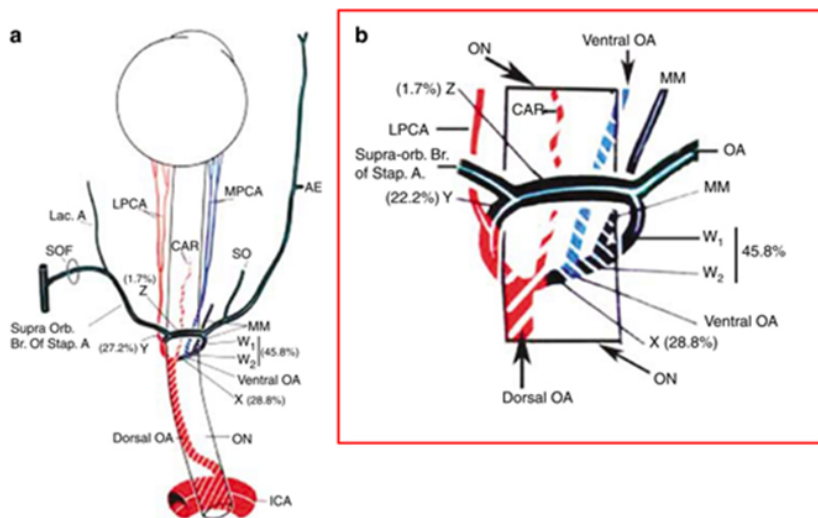
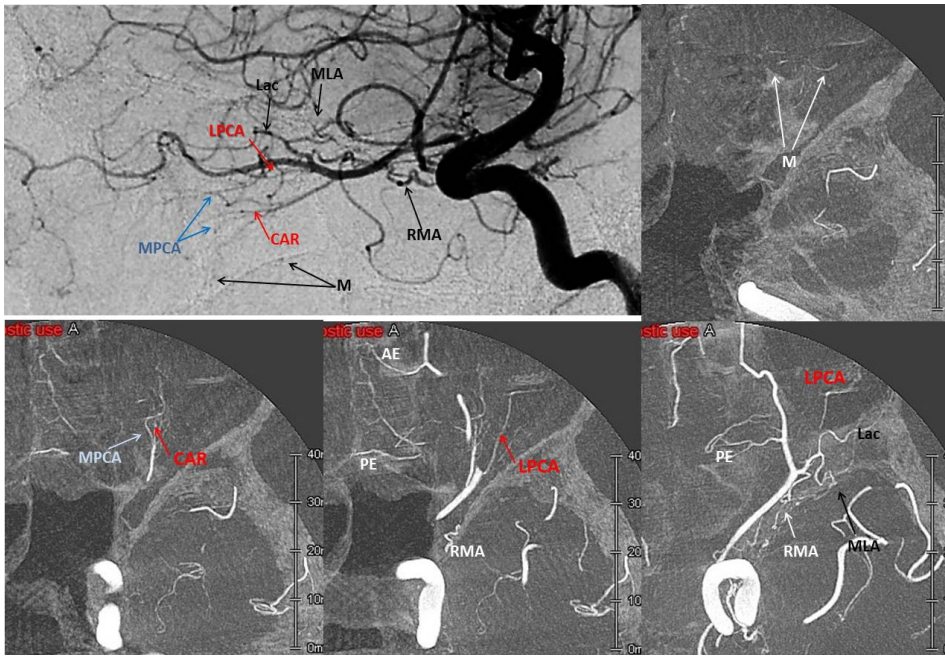


図10 視神経周囲に形成されるembryonic ringと眼動脈分枝 (文献6より抜粋)

embryonic arterial ringの腹側はDOAとVOAの吻合により形成され、背側部はsupraorbital branchにより構成される。その後このringは一部が消失(離断)し成人型の眼動脈と眼動脈分枝が形成されるが、消失する部位は様々でありその位置によって、将来の眼動脈の走行(視神経の上方を通るか下方を通るか)と分枝のパターンが決定される。眼動脈は視神経の下内側から起始するが、眼窩内に入った後には視神経の下外側を走行するが、arterial ringの腹側部が消褪した場合にはcentral retinal artery分枝後に視神経の上を通り内側に向かう。一方背側部が消褪した場合には視神経の腹側を通り内側に向かう(図11)(図12)。多くの症例では視神経の腹側部で離断し、眼動脈は視神経を上方から乗り越える。Hayrehは消褪部位をW1(muscular branchの内側), W2(muscular branchとmedial posterior ciliary arteryの間), X(medial posterior ciliary arteryとcentral retinal arteryの間)、X(lateral posterior ciliary arteryとsupraorbital branch近位部(lacrimal artery))の間、Z(WとYの間のsupraorbital branch)5か所に分類し各々の消失部位における、分枝のパターン(分枝順序)を詳しく述べている(図11-13)。この中で血管内治療の際に留意する必要があるのは、Xタイプであり、この場合medial posterior ciliary arteryがmuscular branchとともに眼動脈遠位より起始するため、眼動脈の上方への屈曲を超えた部位からも塞栓をすると視野障害をきたす危険性を有する。また一般的にlacrymal artery近位部またはlacrymal artery分岐部の眼動脈よりrecurrent meningeal artery(元のsupraorbital branch中枢側)が分枝するが、多くの症例ではすぐ中枢側よりlateral posterior ciliary arteryが起始する点も、中硬膜動脈の塞栓の際などに留意しておく必要がある(図14)。



Coronal MPR

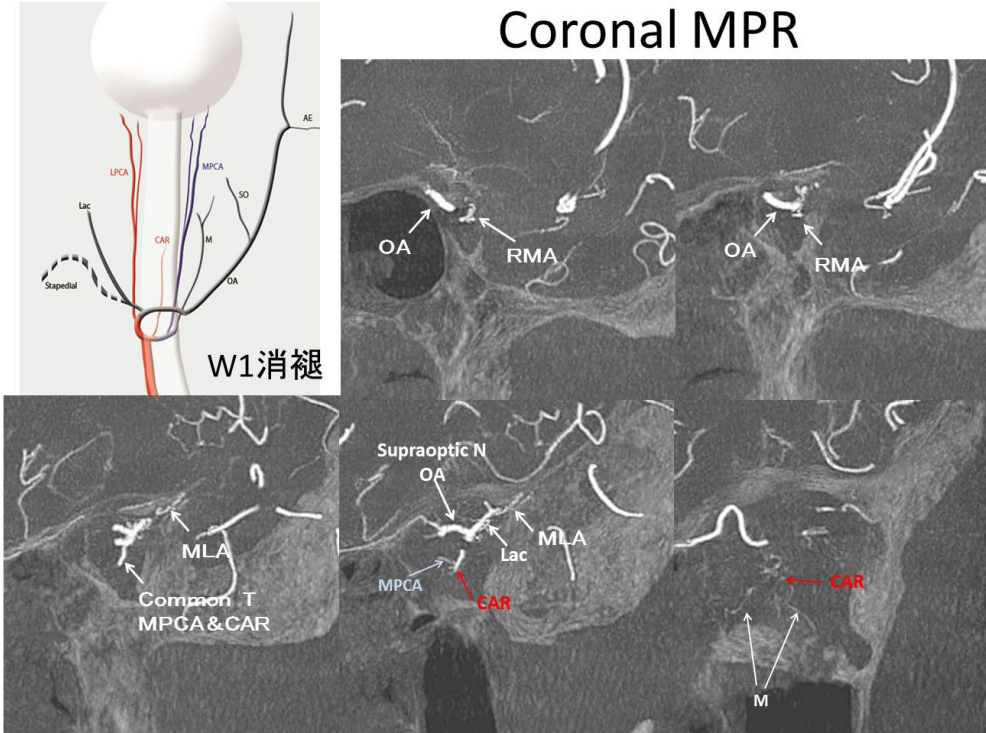
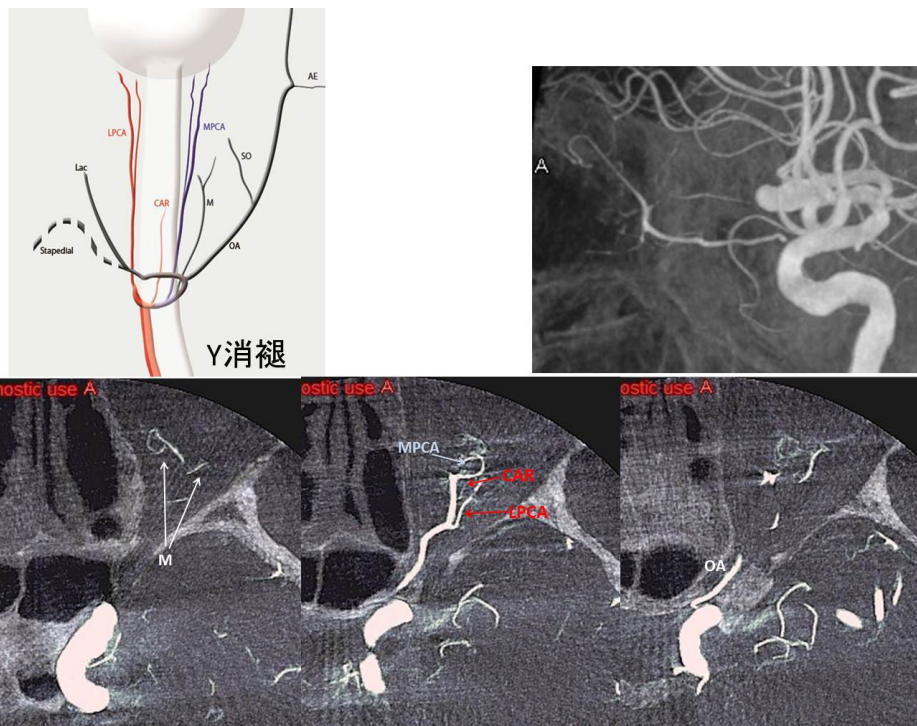


図11

視神経上方を走行し内側へ向かう眼動脈（W1部でのring消褪）（髄膜腫症例）
 眼動脈は視神経の下外側部でmedial posterior ciliary artery (MPCA)とcentral retinal artery (CAR), muscular branch (M)の共通幹で分枝した後に上行し、視神経上部を乗り越えて内側に向かう。眼動脈からの第一分枝は前述のMPCA-CAR-Mの共通幹で、次にlateral posterior ciliary artery、lacrymal artery (Lac)の順に分枝する。本例では髄膜腫の栄養血管としてlacrymal artery中枢側より起始するrecurrent meningeal artery(RMA)が拡張して上眼窩裂下裂を通り背側に向けて側行する。またlacrymal arteryより末梢側から眼窩外側のmeningolacrimal foramenを通るmeningolacrimal artery (MLA)も拡張している。



Coronal MPR

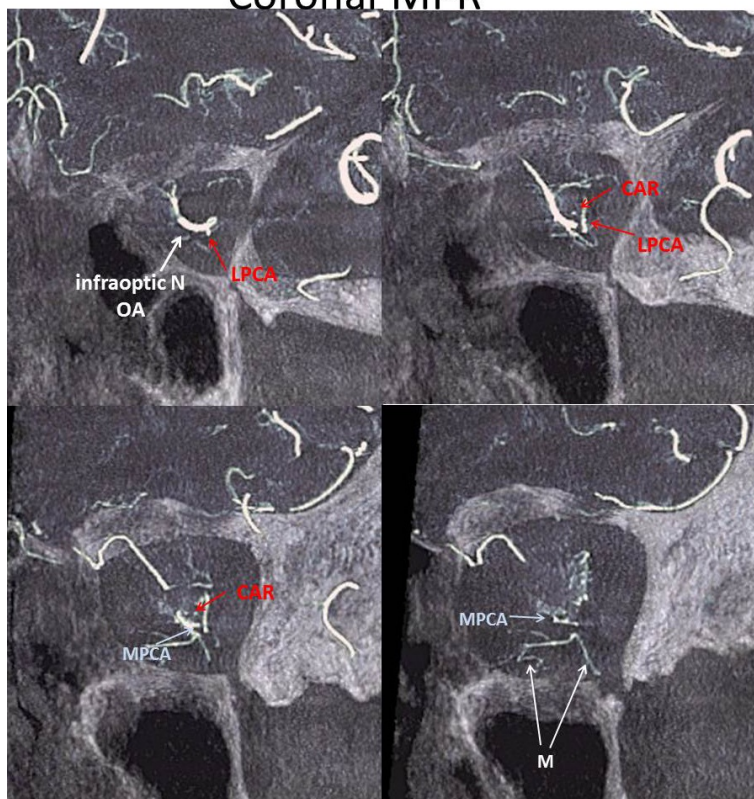


図12

視神経下方を走行する眼動脈（Y部消褪）

MIP側面像では眼動脈は眼窩内を比較的水平に走行している。

MPR像では眼動脈が視神経の下方を外側から内側に走行する。この際の眼動脈の第一分枝はLPCAであり、次いでCAR, MPCA, muscular branchの順に分枝する。

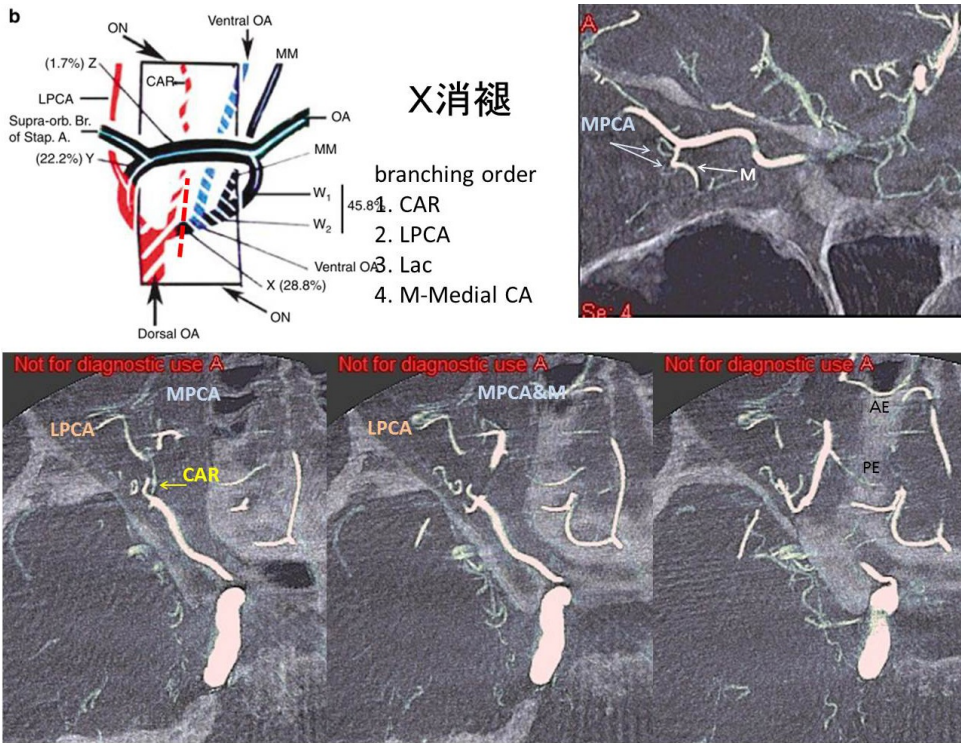


図13

X部でのarterial ring消褪例

この場合眼動脈の第一分枝はcentral retinal artery (CAR)で、第2分枝はLPCA、次いでlacrymal arteryが分枝する。MPCAはposterior ethmoidal artery(PE)分岐直後の眼動脈からmuscular branchと共通幹を形成して分枝する。

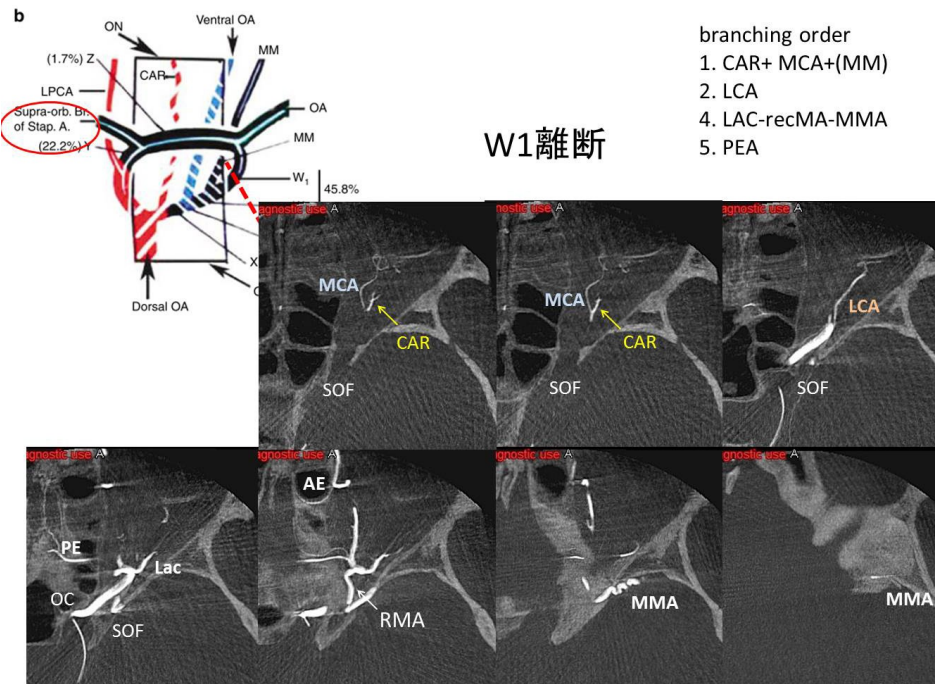


図14

本例では拡張したrecurrent meningeal artery(RMA)がLacrymal artery起始部より、起始して中硬膜動脈(MMA)に連続する。

眼窩枝とその潜在的な吻合に関して

眼動脈の眼窩枝としては前述の涙腺を栄養するlacrymal arteryや篩骨洞や、鼻腔、前頭蓋底硬膜を栄養する anterior/posterior ethmoid artery, 外眼筋を栄養する筋枝、上眼瞼から前頭部を栄養するsupraorbital artery, 終末枝として前頭洞や前頭部皮膚に分布するfrontal artery (supratrochlear artery)と鼻根外側を下降する dorsal nasal arteryなどが存在する。Lacrymal arteryは前述のように上眼下裂を通るrecurrent meningeal arteryを介して中硬膜動脈やILTと潜在的な吻合を有する（中硬膜動脈との吻合をrecurrent meningeal, ILTとの吻合をrecurrent ophtalmicと分けて記述されることもある）。上眼窩裂より外側上方で眼窩外側壁を貫きmeningolacrymal arteryを介して中硬膜動脈と吻合することもある。さらに zygomatico-temporal foramenを介してanterior deep temporal arteryとも潜在的な吻合を有する（図15）。

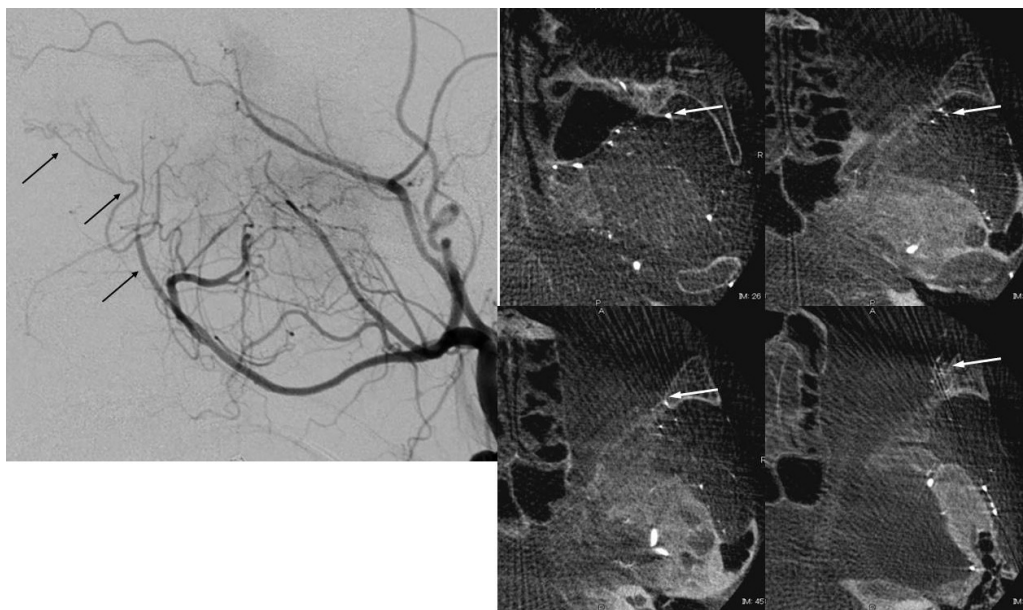


図15

外頸動脈造影にて顎動脈から起始するanterior deep temporal artery（矢印）が zygomatico-temporal foramenを通り眼窩内に入り lacrymal arteryと吻合する。

anterior ethmoid arteryは篩板を貫きanterior falcian arteryを介して中硬膜動脈と吻合する。また anterior/posterior ethmoid arteryry両者とも頭蓋底部で前大脳動脈皮質枝からの硬膜枝とも潜在的な吻合を有する。篩骨洞内または鼻中隔部では顎動脈の終末枝であるsphenopalatine arteryとしばしば吻合する。筋枝はその分布部位により異なるが、眼窩下部への筋枝は、翼口蓋窩から下眼窩裂を通り眼窩内に入り眼窩底を走行するinfraorbital arteryとの潜在的吻合を有する。Supraorbital arteryやfrontal arteryは浅側頭動脈の前頭枝と吻合し、lateral nasal arteryは顔面動脈からの同名の動脈と吻合を有する。これらの吻合は内頸動脈閉塞・狭窄の際の側副路として働くとともに、塞栓術の際の合併症の一因ともなりうるため重要である。

参考文献

1. Padget DH. The development of the cranial arteries in the human embryo. Contrib Embryol. 32:205-26, 1948
2. Lasjanias P, Moret J, Mink J. The anatomy of the inferolateral trunk (ILT) of the internal carotid artery. Neuroradiology 13, 215-220, 1977

Niche Neuro-Angiology Conference 2014

3. Jewell PA. The anastomoses between internal and external carotid circulations in the dog. *J Anat.* 86: 83–94, 1952
4. Komiyama M. Embryology of the ophthalmic artery: a revived concept. *Interv Neuroradiol.* 15: 363–368, 2009
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. *Am J Anatomy*106: 185-195, 1960
6. Hayreh SS. Orbital vascular anatomy. *Eye*20: 1130–1144, 2006