

内頸動脈

Internal Carotid Artery

島田 隆一 清末 一路

Ryuichi Shimada, Hiro Kiyosue

大分大学 放射線科

Department of Radiology, Faculty of Medicine, Oita University

Keywords: internal carotid artery, segmental identity, embryology

はじめに

内頸動脈は通常は第4頸椎の高さで総頸動脈から分岐した後、外頸動脈に対して後方外側を上行し、側頭骨錐体部の頸動脈管内に入り、内側上方に走行した後、破裂孔を通り、petrolingual ligament (頸動脈管の骨膜) より海綿静脈洞部に入る。その後、海綿状脈洞内を前方に走行し、後上方に反転して前床突起の内側で硬膜を貫通してくも膜下腔に到達する。その後は眼動脈、後交通動脈、前脈絡叢動脈の順に分岐して前大脳動脈と中大脳動脈に分岐する。今回の発表では内頸動脈の発生とsegmental concept, 変異例について考察を加える。

内頸動脈の発生

大動脈弓部とその分枝は胎生期における大動脈嚢と背側大動脈を結ぶ6対の鰓弓動脈及び背側大動脈より分岐する分節動脈が系統的に形成・退縮することで形成される¹⁾が、このうち、頸部内・外頸動脈、総頸動脈の発生には第1-3鰓弓動脈と背側大動脈が関与する (Fig.1) 6対の鰓弓動脈が同時期に存在することはなく、第1から第6鰓弓動脈まで順次形成され、退縮していく。胎生6週までに第1-2鰓弓動脈は退縮する。第1鰓弓動脈の背側動脈側はprimitive mandibular arteryとなり、この遺残がVidian arteryとなる。第2鰓弓動脈も退縮するが、その背側大動脈側よりhyoid artery (近位部がcarotico tympanic arteryとして遺残) が形成され、第2-3鰓弓動脈間の腹側大動脈側よりventral pharyngeal arteryが形成される (Fig.2) . Hyoid arteryからはstapedial arteryが発達し、supraorbital division (将来の中硬膜動脈) とmaxillomandibular division (将来の顎動脈) が派生する。Ventral pharyngeal arteryがmaxillomandibular divisionと吻合し、stapedial arteryの近位部が退縮することでventral pharyngeal arteryから外頸動脈本幹が形成される。Ventral pharyngeal arteryの起始部は第3鰓弓動脈となるが、その起始部が背側動脈側にmigrationする。第3-4鰓弓動脈間の背側大動脈 (ductus caroticus) が消退することで第3鰓弓動脈のventral pharyngeal arteryの近位部は総頸動脈となり、遠位部は背側大動脈とともに内頸動脈の近位部を形成する。第4鰓弓動脈は左は大動脈弓の一部となり、右は右鎖骨下動脈の近位部となる。第5鰓弓動脈は約50%の症例で痕跡的な血管構造であり、血管構造を形成しない。残りの50%では発生自体がみられない。第6鰓弓動脈は両側とも近位部はそれぞれ左右の肺動脈の近位部として存続する。右側の遠位部は退縮し、左側の遠位部は動脈管となる。

鰓弓動脈の形成、退縮と同時期に神経管の腹側にlongitudinal neural arteryが形成され、背側大動脈との間にprimitive carotid-basilar anastomosisが形成される。頭側からtrigeminal artery, otic artery, hypoglossal artery, proatlantal arteryの順であり、後交通動脈の発達とともに退縮していく。trigeminal arteryは海綿状脈洞部の内頸動脈近位部より分岐し、後方へ走行し、上小脳動脈と前下小脳動脈の間の脳底動脈と吻合する。体長4mmの頃にlongitudinal neural arteryとつながり、頭側のnerural artery

はtrigeminal arteryより、尾側は1st cervical segmental arteryより血流を受けるようになる。また、primitive otic arteryはhyoid arteryより近位部のcarotid-basilar anastomosisであり、聴神経のレベルで内頸動脈と後方循環を連結する。primitive hypoglossal arteryは第12脳神経のレベルで内頸動脈と後方循環を接続する。primitive hypoglossal arteryの遺残が上行咽頭動脈のhypoglossal branchであり、上行咽頭動脈の形成に関与している。その尾側のレベルでのcarotid-basilar anastomosisがprimitive proatlantal arteryであり、1st及び2nd cervical segmental arteryに対応する。椎骨・脳底動脈は背側大動脈から分岐するintersegmental arteryが体軸方向に連結することで形成される。

上記の発生の過程で退縮異常や欠損が生じると動脈の走行異常や無形成の原因となる。

内頸動脈のsegmental concept

臨床的な内頸動脈の分類にはFischerの分類が最も多く使用されているが、内頸動脈を発生学的に分類するsegmental conceptがPierre Lasjauniasらによって提唱されている^{2),3)} (Fig.3)。Segmental conceptによると内頸動脈のそれぞれのsegmentは胎生期の動脈やその遺残の間に存在しており、segmentのいずれかが何らかの原因で形成されない場合や閉塞した場合にそれらの遺残動脈が側副路として機能する。Lasjauniasによる内頸動脈の7つのsegmentとその境界を形成する血管は以下の通りとなる。

segment 1; Cervical (起始部からductus caroticusまで)

segment 2; ascending intrapetrous (ductus caroticusからhyoid arteryの分岐部まで)

segment 3; horizontal intrapetrous (hyoid arteryからprimitive mandibular arteryの分岐部まで)

segment 4; ascending foramen lacerum (primitive mandibular arteryからprimitive trigeminal arteryの分岐部まで)

segment 5; horizontal intra-cavernous (primitive trigeminal arteryから – dorsal ophthalmic artery/inferolateral trunkの分岐部まで)

segment 6; clinoid (dorsal ophthalmic artery/inferolateral trunkからophthalmic arteryの分岐部まで)

segment 7; termination (ophthalmic arteryからposterior communicating arteryの分岐部まで)

症例を呈示する (Fig.4)。Fig.4はAberrant ICAのintratympanic typeとして知られており、内頸動脈が鼓室内を走行する破格である。頸動脈管内を走行する錐体部が後外側に偏位し、中耳腔内を走行する。頸動脈管の骨壁は欠損しており、内頸動脈は中耳腔内に露出する。通常の発生過程は内頸動脈近位部は第3鯁弓動脈から形成され、第2鯁弓動脈は退縮の過程で腹側大動脈側がventral pharyngeal artery、背側大動脈側がhyoid arteryとなり、hyoid arteryからstapedial arteryとinferior tympanic arteryが分岐する。この過程で第3鯁弓動脈遠位部と背側大動脈の接合部の形成不全（または退縮）が起きると、内頸動脈近位部が正常に形成されず、代わりにventral pharyngeal arteryから第2鯁弓動脈 (hyoid artery) への側副路が発達することで内頸動脈が形成されるためにこの破格が生じると考えられている⁴⁾。この場合、内頸動脈はhyoid arteryの分枝であるinferior tympanic arteryを介して形成されるため、鼓室内を走行するルートとなる。また、本来であれば退縮して中硬膜動脈となるstapedial arteryの遺残が見られることがある⁵⁾。このagenesisはductus caroticusより近位部のagenesisであるため、segment 1のagenesisと考えられる。

Lasjauniasは発生学的な内頸動脈の定義を後交通動脈の分岐部までとしており、それよりも末梢の内頸動脈はrostral divisionとcaudal divisionに分岐し、rostral divisionには前大脳動脈、中大脳動脈、前脈絡叢動脈が含まれ、caudal divisionには後大脳動脈や脳底動脈の一部が含まれるとしている。Gailloudらは後交通動脈より末梢の内頸動脈のagenesisの例を報告し、後交通動脈から前及び中大脳動脈の分岐までをsegment 8とする概念を提唱した⁶⁾。Gailloudらの考えでは彼らの症例は内頸動脈のrostral divisionの近位部のagenesisであり、後交通動脈が最も頭側にあるcarotid-basilar anastomosisとしている。LasjauniasとGailloudでは発生学的な内頸動脈の定義が異なっており、Lasjauniasはletterで強く

Gailloudらに反論している⁷⁾。Rostral divisionから形成される前大脳動脈、中大脳動脈は発生学的に時期が異なっており、中大脳動脈は前大脳動脈の分枝として発達するため、発生学的に同時期に存在する、すなわち内頸動脈から前大脳動脈と中大脳動脈に分岐するという考えにはならないとLasjauniasは考えている。つまり、後交通動脈より末梢の成人型の内頸動脈は発生学的に異なる構造であり、同一に扱うことができないというのが理由である。

また、Lasjauniasの説ではdorsal ophthalmic artery (DOA) がinferolateral trunk (ILT) の起源とされているが、この眼動脈が関わる発生過程には小宮山が異を唱えている⁸⁾。LasjauniasによるとILTは胎生期に原始眼動脈が形成される過程でDOAが退縮して形成されるとされている。すなわち、体長12mmの頃に前大脳動脈由来で視神経管を通るventral ophthalmic artery (VOA) と内頸動脈サイフォン部から分岐し、上眼窩裂を通るDOAが形成され、両者は眼窩内で吻合する。その後、VOAの近位部が退縮し、内頸動脈のsupracavernous portionから分岐するようになる。また、DOAの近位部も退縮し、内頸動脈C3 segment (Fischerの分類) から分岐する成人型の眼動脈が完成する。このDOAの近位部の遺残がILTとなり、潜在的に眼動脈との吻合を有するとされている⁹⁾。この説は一般に広く受け入れられているが、PadgetらによるとDOAは原始内頸動脈の後交通動脈起始部近傍より分岐し、hyaloid arteryやcommon temporal ciliary arteryを分岐し、発達過程のoptic vesicleの背外側を栄養している。その後DOAの起始部はcaudal migrationと呼ばれる尾側(成人の眼動脈の分岐部)への移動を行う。またVOAは原始内頸動脈の前脈絡動脈分岐部近傍から起始し、optic vesicleの腹内側を栄養している。VOAの近位部が退縮すると同時期にstapedial arteryがsupraorbital artery(将来のmiddle meningeal artery)とmaxillo-mandibular artery(将来のinfraorbital arteryとinferior alveolar artery)を分岐し、supraorbital arteryは上眼窩裂を通過して眼窩内に入り、DOAやVOAと吻合し、視神経周囲でarterial ringを形成する。Arterial ringの腹側が退縮した後成人の眼動脈が完成するとしている¹⁾。このようにPadgetの報告ではDOAはILTのprecursorとは述べられていない。小宮山の解釈では発生学的に三叉神経第2,3枝は第1咽頭弓(mandibular arch)由来であるが、第1枝は第1咽頭弓由来ではなく、この意味で顎前弓(premandibular arch)由来の可能性があり、内頸動脈からの分岐の順番を考慮するとmaxillary artery(将来のinferior hypophyseal artery)が三叉神経第2枝、mandibular artery(将来のvidian artery)が第3枝由来で、ILTが第1枝、すなわちpremandibular arch由来の可能性があるとし、DOAとILTは独立した血管であることを示している。

秋山らは内頸動脈近位部のcervical segmental agenesisの1例を報告しているが¹⁰⁾、その中で内頸動脈近位部がagenesisを起こした場合、proatlantal arteryが側副路として機能することを考察しており、agenesisがproatlantal arteryの分岐より遠位に及んだ場合は、intratympanic typeのaberrant ICAとなると考察している。内頸動脈近位部からはproatlantal arteryの他にhypoglossal arteryが分岐する可能性があり、内頸動脈のsegmental conceptに基づく、segment 1はproatlantal arteryやhypoglossal arteryによってさらに3つに分けられることになる。さらに小宮山はsegment 7からsuperior hypophyseal arteryが分岐する可能性を挙げ、10 segmentとなる可能性を示唆している (Fig.5)。

Lasjauniasの分類におけるsegment 7には多数の分枝が存在しており、視交叉や下垂体を栄養してarterial anastomosisを形成している。Superior hypophyseal arteryは内頸動脈の眼動脈分岐部より末梢の内側部より分岐し、下垂体柄、下垂体前葉、視神経及び視交叉に分布している。また、下垂体にはmeningohypophyseal trunkからのinferior hypophyseal artery(主に下垂体後葉と被膜を栄養)、海綿状脈洞部内頸動脈からのcapsular artery(下垂体前葉とトルコ鞍底部の硬膜へ分布)、inferolateral trunkの硬膜枝(下垂体前葉と後葉へ分布)、後交通動脈からのinfundibular artery(下垂体後葉を栄養)、眼動脈からのprechiasmatic artery(視交叉と下垂体前葉に分布)などが分布しており、視交叉や下垂体周囲でcircumfundibular anastomosisを形成している¹²⁾ (Fig.6)。また前大脳動脈A1部より視交叉への穿通枝も存在している。内頸動脈のsegment 7の一部にagenesisが起きた場合、豊富な血管吻合が側副路として機能することが予想される。

Kimらが報告したinfraoptic ACAの1例を呈示する¹³⁾ (Fig.7) . 彼らの報告ではA1は眼動脈分岐部レベルの内頸動脈より分岐しており, A1は視交叉の前方を通り, 上行してA2に移行する. このanomalyの発生学的な要因はcontroversialであり, 1.primitive maxillary arteryとprimitive olfactory arteryの胎生期の吻合, 2.prechiasmatal arterial anastomosisの発達3.primitive DOAとVOAの吻合の遺残の3つが考察されているが, いまだ結論は出ていない. しかし, segmental conceptの考え方を適応するとsegment 7 にagenesisが起こり, superior hypophyseal arteryが下垂体, 視交叉周囲の豊富な血管吻合を介して側副路として機能したのかもしれない.

結語

Lasjauniasの内頸動脈のsegmental conceptは系統発生学的に内頸動脈を分類し, 内頸動脈の変異例の理解に役立つ優れたconceptである. しかし, agenesisが起きた場合の側副路をsegmentの分岐部と定義するならば, 7 segment以外にもsegmentがあることが示唆される.

参考文献

- 1). Padget DH. The development of the cranial arterites in the human embryo. Contrib Emryol 32: 205-261, 1948
- 2). Lasjaunias P :Segmental indenty and vulnerability in cerebral arteries. Interventional Neuroradiology 6:113-124, 2000
- 3). Mahadevan J, Batista L, Alvarez H, et al. Bilateral segmental regression of the carotid and vertebral arteries with rete compensation in a Western patient. Neuroradiology 46:444-449, 2004
- 4). Sauvaget E, Paris J, Kici S, et al. Aberrant Internal Carotid Artery in the Temporal Bone. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 132: 86-91, 2006
- 5). Lasjaunias P, Moret J, Manelfe C, et al. Arterial anomalies of the base of the skull. Neuroradilogy. 13: 267-272, 1977
- 6). Gailloud P, Clatterbuck R, Fasel J et al. Segmental Agenesis of the Internal Carotid Artery Distal to the Posterior Communicating Artery Leading to the Definition of a New Embryologic Segment. AJNR 25:1189-1193, 2004
- 7). Krings T, Lasjaunias P: Segmental agenesis of the internal carotid artery distal to the posterior communicating artery leading to the definition of a new embryologic segment. AJNR 27: 246-247, 2006 ; author reply 247.
- 8). Komiya M. Embryology of the ophthalmic artery. Revived concept.(letter) interventinal Neuroradiology 15: 363-368, 2009
- 6). Lasjaunias P, Moret J, Mink J. The anatomy of the inferolateral trunk (ILT) of the internal carotid artery. Neuroradiology 13: 215-220, 1977
- 10). Akiyama Y, Hayashi N, Isaka F. Segmental agenesis of the cervical portion of the internal carotid artery - case report-. JNET. 3: 24-29, 2009
- 11). 小宮山雅樹. 詳細版 脳脊髄血管の機能解剖. 4.1 内頸動脈. MC メディカ出版 2011
- 12). Dawson BH. The blood vessels of the human optic chiasma and their relation to those of the hypophysis and hypothalamus. Brain 81: 207-217, 1958
- 13). Kim MS, Sim SY. Infraoptic anterior cerebral artery: case series report and literature review. Surg Radiol Anat. 38: 887-891, 2016

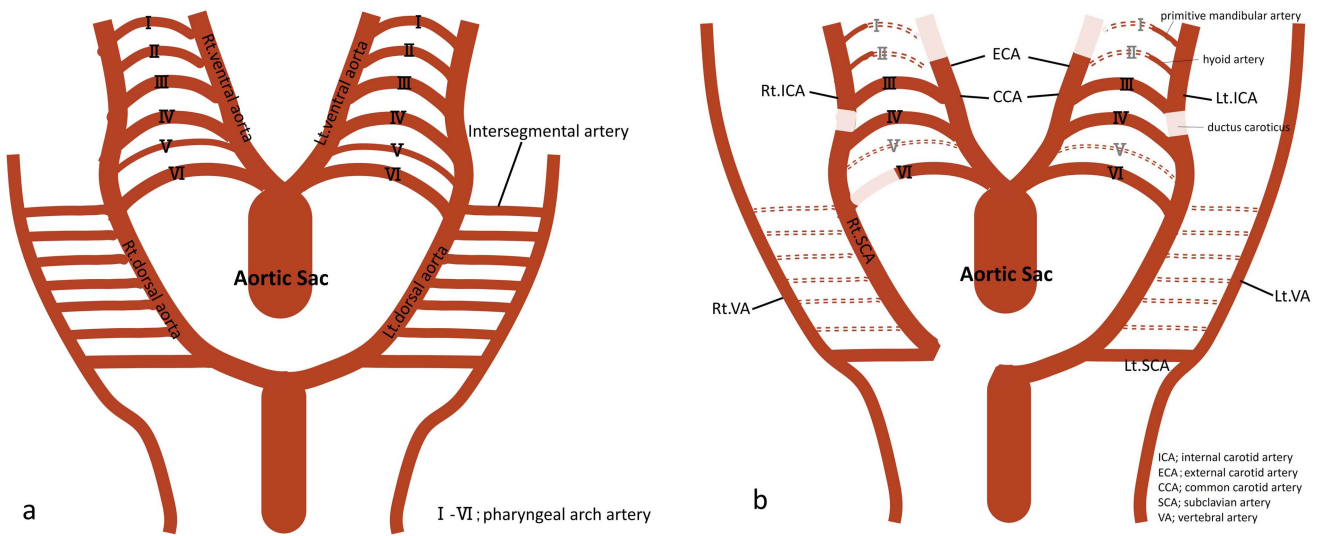


Fig.1. 胎生期の頸動脈発生の模式図

頸部頸動脈は大動脈嚢と背側大動脈を連結する6対の鰓弓動脈から形成される。総頸動脈から内頸動脈近位部までは両側の第3鰓弓動脈及び背側大動脈に由来する。6対の鰓弓動脈は同時期に存在することはなく、順次退縮していく。

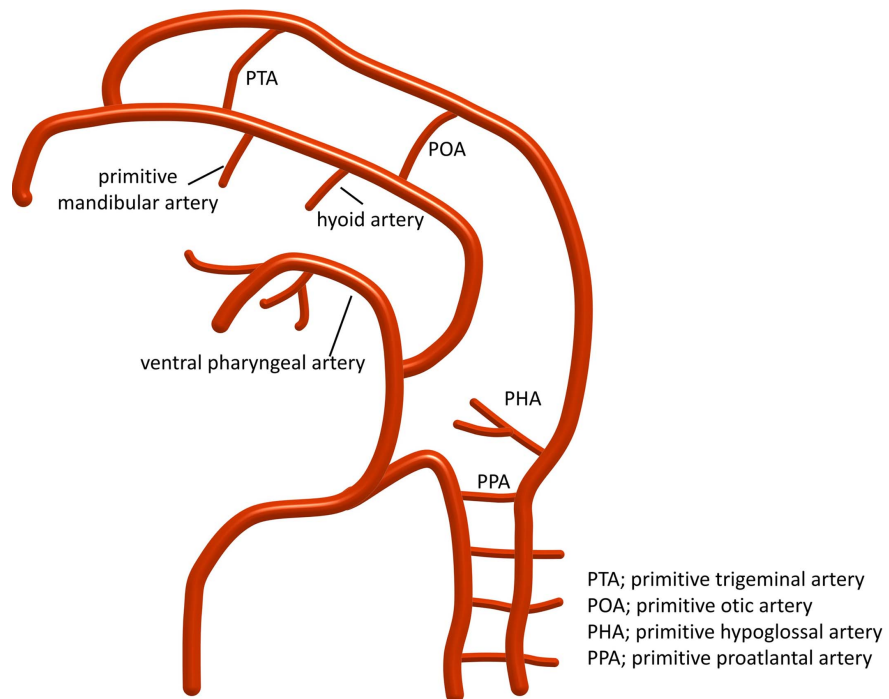


Fig.2 内頸動脈と外頸動脈の形成

内頸動脈はductus caroticus（第3-4鰓弓動脈間の背側大動脈）が退縮し、第3鰓弓動脈から内頸動脈近位部が形成される。外頸動脈本幹はventral pharyngeal arteryより形成される。

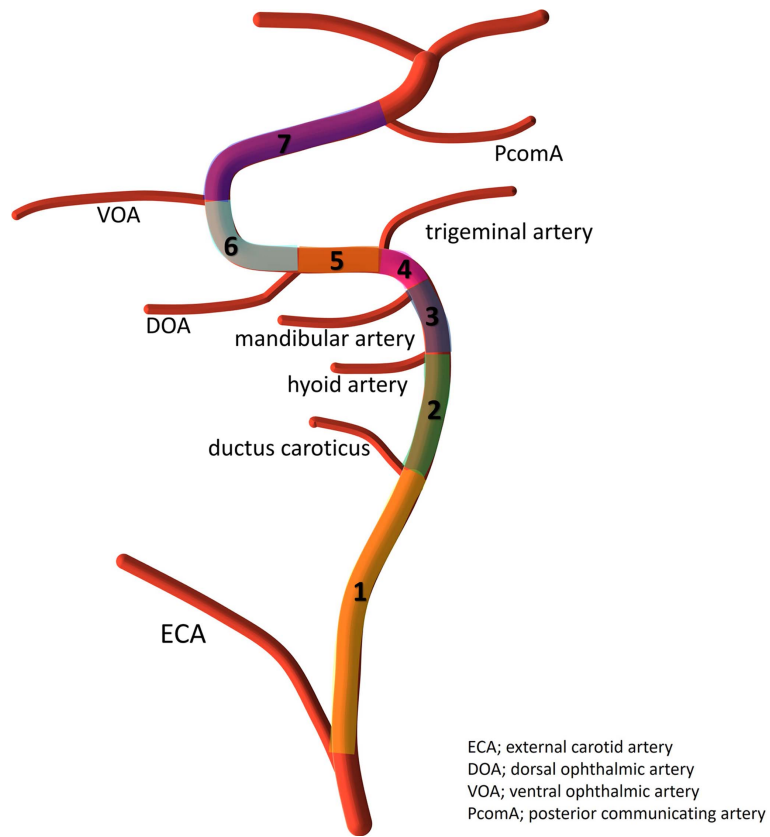


Fig.3 内頸動脈のsegmental concept

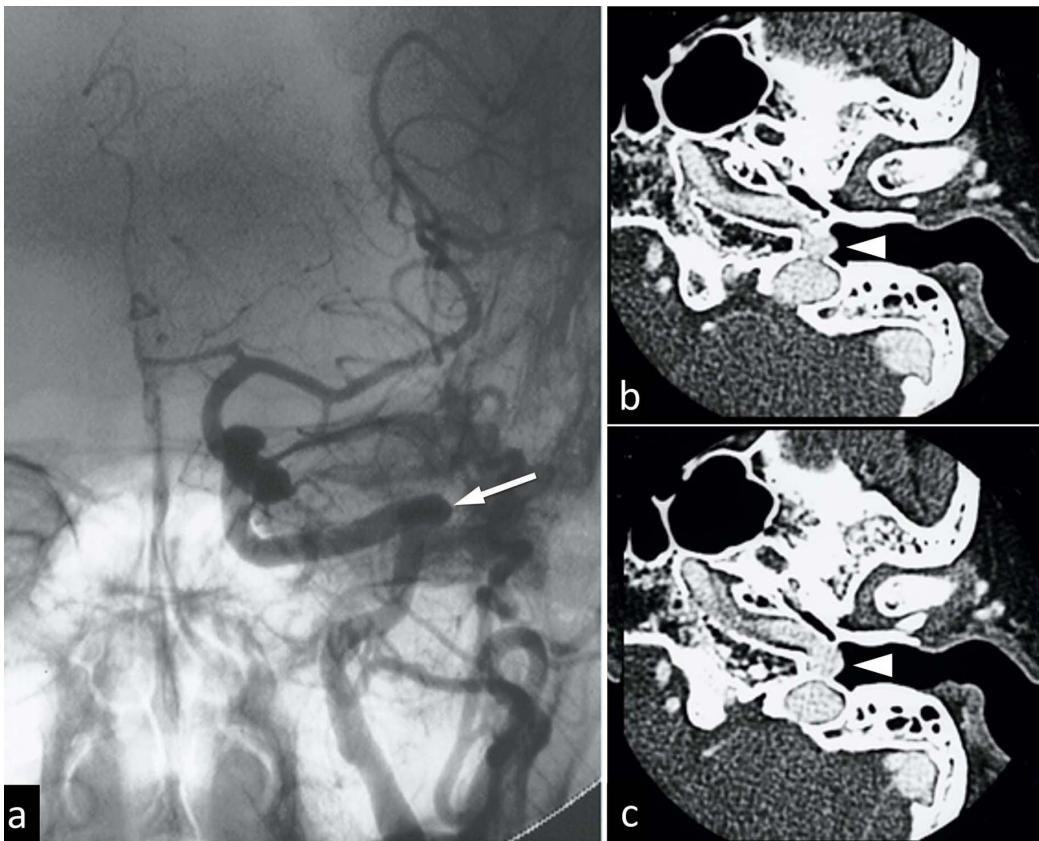


Fig.4 Aberrant ICA (intratympanic ICA)
左総頸動脈造影正面像 (a) にて左内頸動脈錐体部が外側に偏位して走行している (矢印) . 頸部造影 CT (b,c) では錐体部の内頸動脈は鼓室内を走行しており, 頸動脈管の骨は欠損している (矢頭) .

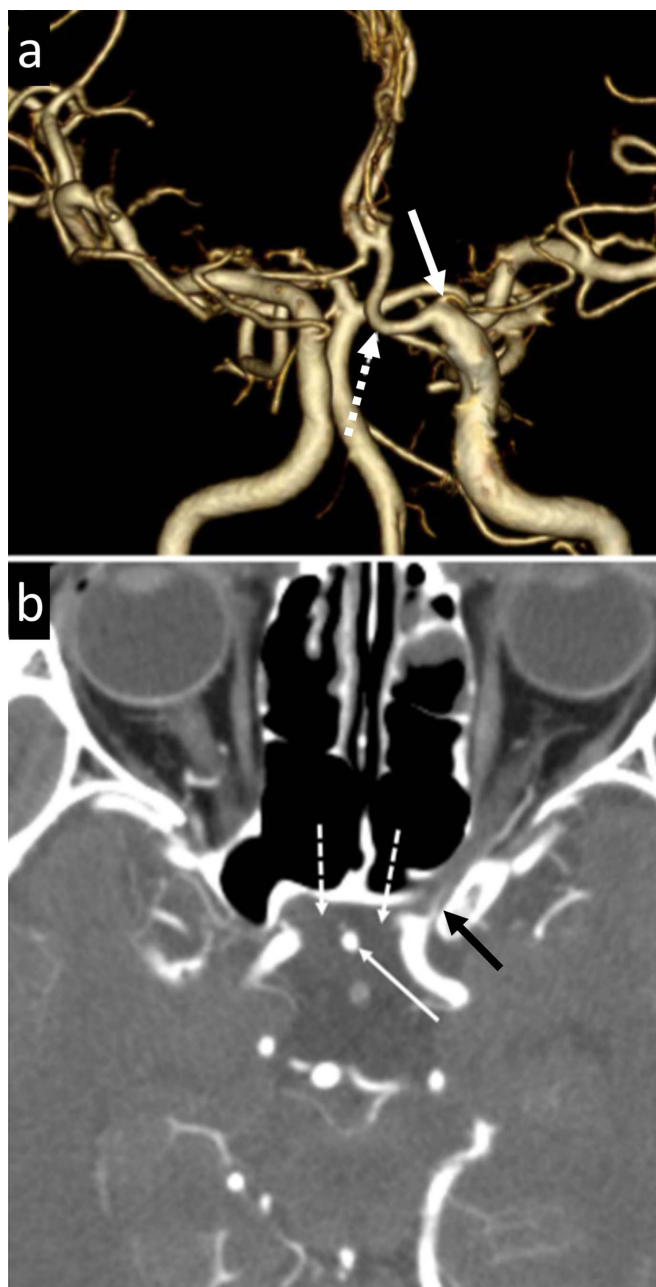


Fig.7 Infraoptic ACA (文献13より抜粋)

CTAのvolume rendering像 (a) では左前大脳動脈は左眼動脈 (矢印) と同じ位置の内側の内頸動脈から分岐している (点線矢印) . CTAのaxial像 (b) ではinfraoptic ACAはprechiasmatic spaceに位置している (白矢印) . 左眼動脈は正常に認められる (黒矢印) .