

頭蓋底の動脈解剖

Anatomy of cranial base arteries

当麻直樹

Naoki Toma

三重大学 脳神経外科

Department of Neurosurgery, Mie University Graduate School of Medicine

Keywords: cranial base, cranial nerve, arterial supply

はじめに

頭蓋底には血管と脳神経が通過するいくつものforamenがあり、頭蓋底を覆う硬膜には豊富な動脈ネットワークが存在する。血管と脳神経は頭蓋骨や硬膜に先行して発達し、foramenは血管と神経を取り囲むように形成される。併走する動脈と神経の発生には単に血液を供給するだけではない密接な関係がありそうである。脊髄神経においては、metameric arteryが同レベルの神経根を脊髄から椎間孔まで栄養する。脳神経においても、脊髄レベルほど明らかでないものの、体節構造が血流支配の理解に役立つ。

脳神経を栄養する動脈は100-300 μ mと小径であり、通常の血管造影で確認することは困難であるが、硬膜動静脈瘻や腫瘍が存在するときに、選択造影で硬膜動脈とともに脳神経栄養枝が確認されることがある。硬膜動静脈瘻や腫瘍の血管内治療を行う際には、頭蓋底における脳神経や中枢神経の血流支配の解剖学的知識、合併症を避けるために非常に重要である。

今回、脳神経との関係から頭蓋底の動脈解剖をまとめてみた。頭頸部の動脈と脳神経の発生、頭蓋内から頭蓋外までの脳神経の血液供給、頭蓋底における動脈吻合について概説する。

頭頸部動脈の発生

頭頸部の動脈は、ventral aortaとdorsal aortaとそれらの間に一時的に発達して退縮する第1-4大動脈弓の遺残により形成される¹⁾。胎生4週頃の動脈はplexiformで、primitive internal carotid artery (ICA)とlongitudinal neural arteryを結ぶprimitive trigeminal arteryなどのprimitive carotid-basilar anastomosisが存在する。第1大動脈弓であるmandibular arteryはすぐに消退し、第2大動脈弓であるhyoid arteryが出現する (Fig.1A)。胎生4-5週頃に咽頭弓が発達する。咽頭弓のそれぞれの動脈と神経は、第1咽頭弓はmandibular arteryと三叉神経、第2咽頭弓はhyoid arteryと顔面神経、第3咽頭弓はICAと舌咽神経、第4咽頭弓は大動脈弓と迷走神経である (Fig.1B)。第3大動脈弓と遠位のdorsal aortaがICAとなり、第3大動脈弓と第4大動脈弓の間のdorsal aortaは退縮し腹側にcommon carotid artery (CCA)が形成される。mandibular arteryとhyoid arteryが退縮して腹側に遺残したventral pharyngeal arteryは、将来のexternal carotid artery (ECA)の近位部となる。ventral pharyngeal arteryの遠位部は鼓索神経と併走している (Fig.1C)。

胎生5週頃、hyoid arteryから分岐してあぶみ骨の原基を通るstapedial arteryが出現する (Fig.1D)。stapedial arteryはsupraorbital divisionとmaxillomandibular divisionに分岐し、下顎神経と鼓索神経の内側を走行するventral pharyngeal arteryと吻合する (Fig.1E)。supraorbital divisionは眼神経とともに眼窩内に分布し、maxillomandibular divisionは上顎神経、下顎神経とともに分布する。mandibular arteryの遺残はVidian nerveと併走する。maxillomandibular divisionのcommon trunkはauriculotemporal nerveに囲まれて、internal maxillary artery (IMA)と完全に吻合し、middle meningeal artery (MMA)のstemとなる。supraorbital divisionは三叉神経節の外側を走行しMMAの硬膜枝を出す。supraorbital divisionの眼窩枝は眼動脈と吻合して視神経周囲でarterial ringを形成し、遠位

は外側と内側に分岐しそれぞれfrontal branchとnasociliary branchとなる (Fig.1F) . MMA側のstapedial arteryの遺残であるpetrosal branchとICA側のhyoid arteryの遺残であるcaroticotympanic arteryは鼓室内に入る.

脳神経の発生

神経板の境界領域から形成されるneural crestとcranial placodeは、顔面の構造や頭頸部の神経節の形成に寄与する多能性の前駆体である. placode cellはもっぱら感覚神経を, neural crest cell (NCC) は感覚的神経と自律神経を形成する²⁾. NCCは末梢神経系のグリア細胞に沿って体性感覚神経あるいは自律神経の神経節を形成する. したがって、頭部においてNCCは, ciliary ganglion, pterygopalatine ganglion, submandibular ganglion, otic parasympathetic ganglionと、三叉神経、顔面神経、舌咽神経、迷走神経の近位の感覚ニューロンに分化する. 頭部NCCは高度な遊走能をもつ多能性の細胞であり、ニューロンとグリアだけでなく、軟骨、骨などさまざまな組織を形成する. そのアウトカムはNCCが咽頭弓に遊走するタイミングによって異なり、初期に遊走した細胞は咽頭弓由来の構造となるが、遅れて遊走したNCCは咽頭弓に入らずニューロンとグリアになる. 咽頭弓にはそれぞれに由来する構造を神経支配する脳神経が深く関わっている. たとえば、三叉神経は第1咽頭弓のコンポーネントであり、咀嚼筋、顎舌骨筋、顎二腹筋前腹、口蓋帆張筋、鼓膜張筋、歯、これらはすべて、三叉神経の分枝に支配される. 顔面神経は、第2咽頭弓由来の筋、顔面表情筋、あぶみ骨筋、茎突舌骨筋、広頸筋、顎二腹筋後腹を神経支配する. これらの神経と発達する組織との密接な関係がそのパターン化と形態学的アウトカムに必要なかどうかは明らかではないものの、しばしば器官形成に先行して神経が出現することが知られている. 下顎の原基に最初に発達するのは三叉神経のmandibular branchで、neurovascular bundleの近傍に下顎の骨化中心ができ、inferior alveolar nerve周囲に骨化が進み、mandibular canalが残るのはその1例である.

cranial placodeは頭部外胚葉の局所的な肥厚で、感覚器官、感覚神経節や、水晶体などの特殊な細胞を形成する. cranial placodeには、adenohypophyseal, olfactory, lens, otic, lateral line, profundal/trigeminal, epibranchial placodeがある. 神経節における大部分の感覚ニューロンはcranial placode由来である. すなわちophthalmicとmaxillomandibularはtrigeminal placode由来で、geniculate, petrosal, nodoseはepibranchial placode由来である.

脳神経とその栄養動脈の解剖

末梢神経に血液を供給するvasa nervorumに関する記述は18世紀からあり、1897年にBartholdyは、脳神経の血液供給について、脳神経近傍の動脈から起始した分枝がepineuriumを横切りperineurium内で分岐して神経を栄養すると記述している³⁾.

脳神経はさまざまな機能をもち、純粋な感覚神経、運動神経と、感覚および運動の混合神経がある. 求心性線維には、皮膚、粘膜、筋、靭帯、関節のsomatic sensory nerve、内臓のvisceral sensory nerve、視覚、嗅覚、味覚、聴覚、平衡感覚のspecial sensory nerveが、遠心性線維には、咽頭弓由来の骨格筋を支配するbranchiomotor nerveと体節由来の骨格筋のsomatic motor nerveがある. 自律神経系では、脳神経からはparasympathetic nerveのみで、sympathetic nerveはない. sympathetic nerveは上頸交感神経節から出て一部は脳神経と併走する²⁾.

Table 1に脳神経のタイプと機能²⁾、Table2に脳神経の主な栄養動脈⁴⁻⁷⁾を示す. 脳の突出あるいは一部である第I、第II脳神経を除いて、第III-XII脳神経は末梢神経であり、頭蓋外に出ない第VII脳神経以外は、脳幹の神経核から出て頭蓋底のforamenを通過して頭蓋外に出る. 頭蓋底のforamenでは硬膜動脈のネットワークによりECA系とICAおよびvertebral artery (VA) 系との吻合がある. 頭蓋外においては、第III,IV,VI脳神経は眼窩内の組織、第V,VII,IX,X脳神経は咽頭弓由来の組織を神経支配し、Ophthalmic artery (OphA) やECAの分枝から血液供給される.

第I脳神経

嗅神経の双極性ニューロンは鼻腔の嗅上皮からcribriform plateを通過してolfactory sulcusに位置するolfactory bulbにおいてシナプス結合する. 鼻腔粘膜で嗅神経は、IMAのpterygopalatine segmentから分

岐するsphenopalatine artery, OphAから分岐するanterior and posterior ethmoidal arteryによる動脈ネットワークにより栄養される。olfactory bulbの軸索はolfactory tractに沿ってolfactory trigoneへと走行し、最終的にはpiriform cortex, amygdala, olfactory tubercleに到達する。頭蓋内で嗅神経は、anterior cerebral artery (ACA) のA2 segmentの外側から分岐するolfactory arteryに供血される。

第II脳神経

OphAは視神経管を通過する視神経の下外側を走行する。OphAはICAからの分岐から眼球までのほぼ中間地点で視神経を横切って内側に向かい、眼窩内側のsupratrochlear nerveとdorsal nasal arteryに終わる。central retinal arteryは視神経の下を走行し、眼球の近くで上方にターンして視神経を貫き、神経内を進んで網膜を栄養する。OphAからはcentral retinal arteryの近傍で1-5本のposterior ciliary arteryが分岐する。視神経の前部はcentral retinal arteryとposterior ciliary arteryに供血される。central retinal arteryの神経貫通部より後方と視神経管内では、OphAの小さい側枝に供血される。頭蓋内では、optic chiasmは豊富な動脈ネットワークにより供血される。主にACAとanterior communicating arteryがoptic chiasmの上面のネットワーク、superior hypophyseal arteryが下面のネットワークを形成する。optic tractはanterior choroidal arteryとposterior communicating artery (PCoA) によるネットワークにより供血される。

第III脳神経

動眼神経は体性運動機能と副交感機能をもつ。体性運動線維は上丘レベルの中脳の中脳水道の腹側の動眼神経核から、副交感線維は動眼神経核の背側に位置するEdinger-Westphal核から始まり、interpeduncular cisternから出て、perimesencephalic cisternでsuperior cerebellar artery (SCA) と posterior cerebral artery (PCA) との間を通り、海綿静脈洞の上壁を貫いて外側壁を通過して上眼窩裂から眼窩内に入る。動眼神経の近位部は、PCAから分岐するthalamoperforating arteryから栄養される。さらに、PCA, PCoA, SCA, basilar artery (BA) から直接出る分枝もあり得る。cisternal segmentでは、PCAのP1 segmentから分岐するcollicular artery, mesencephalic perforator, diencephalic perforatorに供血される。海綿静脈洞の上壁ではICAのinferolateral trunk (ILT) のsuperior branchから出るmarginal tentorial artery (MTA) に供血される。MTAは眼窩動脈とICAの分枝との間の吻合により多様であり、MMA, OphA, lacrimal artery, ICAのmeningohypophyseal trunk (MHT) などから分岐する可能性もある。上眼窩裂ではILTのanteromedial branchに、眼窩内ではOphAの分枝に供血される。

第IV脳神経

滑車神経は上斜筋のみを神経支配する。橋の背側から出て上小脳脚の上をまわってSCAとPCAの間を通り、小脳テントの自由縁に沿って走行し、海綿静脈洞に入り、動眼神経の下、三叉神経の第1枝の上を走行し、上眼窩裂を通過して眼窩内に入る。滑車神経の近位部は、SCAから分岐するvermian branchなどから栄養される。海綿静脈洞の上壁ではILTのsuperior branchやMTAに、上眼窩裂ではILTのanteromedial branchに、眼窩内ではOphAの分枝に供血される。

Inferolateral trunk (Fig.2)

ILTは、anteromedial branch, anterolateral branch, posterior branch, superior branchに分岐し、それぞれOphAやIMAやMMAの分枝と吻合する⁸⁾。anteromedial branchはOphAのdeep recurrent ophthalmic arteryやIMAの遠位から分岐するartery of superior orbital fissure (ASOF) と吻合する⁹⁾。anterolateral branch anastomosesはartery of foramen rotundum (AFR), posterior branchはaccessory meningeal artery (AMA), superior branchはMTAおよびMHTとそれぞれ吻合する。

第V脳神経

三叉神経は感覚および運動の混合神経であり、橋の前外側から出てsuperior petrosal sinusの下方のくも膜下腔を横切り、錐体骨の上縁のMeckel腔に到達し、三叉神経節 (Gasserian ganglion) で3つの

divisionに分かれる。近位の脳槽内の三叉神経はBAから分岐する痕跡的なtrigeminal arteryから栄養される。Meckel腔の三叉神経節は、ICAの海綿静脈洞内の垂直部から分岐するlateral artery of the trigeminal ganglionや、MMAのcavernous branchに供血される。

眼神経（V1）は海綿静脈洞外側壁の滑車神経の下を通り、上眼窩裂から眼窩内に入る。V1は上眼窩裂でILTのanteromedial branch, ASOF, deep recurrent ophthalmic arteryに供血され、眼窩内のlacrimal nerve, frontal nerve, nasociliary nerveはOphAの小さい分枝やlacrimal artery, supraorbital artery, ethmoidal arteryに供血される。

上顎神経（V2）は海綿静脈洞外側壁から正円孔を通して、翼口蓋窩pterygopalatine fossaに入り、下眼窩裂からinfraorbital foramenを通して顔面に到達する。V2はartery of foramen rotundumとILTのanterolateral branchから血液供給を受ける。pterygopalatine fossaではinfraorbital arteryなどIMAの分枝に供血される。

下顎神経（V3）は卵円孔を通り、側頭下窩infratemporal fossaに入り、lingual nerve, inferior alveolar nerve, auriculotemporal nerveやbuccal nerveなどに分岐する。V3はAMAとILTのposterior branchに供血され、lingual nerveとsubmandibular ganglionは、lingual arteryの終末枝であるsublingual arteryやdeep lingual arteryに供血される。

第VI脳神経

外転神経は、橋背側の外転神経核から出る運動神経で、背側から腹側へと走行しpontomedullary junctionからprepontine cisternに出て斜台の後面でDorello's canalを通して海綿静脈洞に入る。海綿静脈洞の中央部を通して上眼窩裂から眼窩内に入り外直筋を神経支配する。外転神経はascending pharyngeal artery (APA) のneuromeningeal trunkのhypoglossal branchとjugular branchから、それぞれmedial clival artery, lateral clival arteryに供血される。頭側ではICAから分岐するmedial clival artery, lateral clival arteryに供血される。上眼窩裂ではILTのanteromedial branchに、眼窩内ではOphAの分枝から栄養される。

第VII脳神経

顔面神経は混合神経で、運動機能をもつ顔面神経と、感覚および副交感機能をもつ中間神経からなる。顔面神経はpontomedullary junctionから出て、cerebellopontine cisternを横切り、内耳道を通して側頭骨内に入り、錐体骨内では顔面神経管（Fallopian canal）を通る。錐体骨内では膝神経節（geniculate ganglion）までのlabyrinthine segment, 膝神経節から向きを変えて鼓室を走行するtympanic segment, さらに下方へターンしてからstylomastoid foramenまでのmastoid segmentの3つのsegmentに分かれる。膝神経節では涙腺への副交感神経線維をもつ大錐体神経が、mastoid segmentでは鼓索神経が出る。cisternal segment, meatal segment, labyrinthine segmentでは、anterior inferior cerebellar artery (AICA) から分岐するlabyrinthine arteryあるいはinternal auditory arteryに供血される。tympanic segmentとmastoid segmentでは、MMAのpetrosal branchとposterior auricular arteryやoccipital arteryから出るstylomastoid branchはfacial nerve arcadeを形成し、顔面神経を栄養する（Fig.3）。

顔面神経は、stylomastoid foramenから出て、耳下腺に到達し、temporal-zygomatic branchとcervico-facial branchに分岐する。さらに、temporal-zygomatic branchはtemporal branchとzygomatic branchに分岐し、cervico-facial branchは、buccal branch, mandibular branch, cervical branchに分岐する。頭蓋外の顔面神経は、posterior auricular artery (PAA), occipital artery (OA), superficial temporal artery (STA) とその分枝であるtransverse facial arteryなどから供血される。

第VIII脳神経

前庭蝸牛神経は、蝸牛神経と上および下前庭神経からなり、顔面神経とともに内耳道から、cerebellopontine cisternを通して脳幹に入る。前庭蝸牛神経は、顔面神経と同様に、AICAから分岐するlabyrinthine arteryあるいはinternal auditory arteryに供血される。

鼓室内の動脈吻合 (Fig.3)

顔面神経に沿って、顔面神経管を囲む骨髄や鼓室内の粘膜に、血管のネットワークが存在する。このネットワークは、ICAから分岐するcaroticotympanic artery, IMAのanterior tympanic artery, MMAのsuperior tympanic artery, PAAのposterior tympanic artery, APAのinferior tympanic arteryと交通している。

第IX脳神経

舌咽神経は、延髄外側からlateral cerebellomedullary cisternを横切り、頸静脈孔のpars nervosaを通過して頭蓋外に出る。椎骨動脈あるいは脳底動脈から分岐するartery of the glossopharyngeal nerveは、artery of the lateral fossula of the medulla oblongataとも呼ばれ、脳幹近傍で舌咽神経に供血する。頭蓋内の舌咽神経は外頸動脈系からもAPAを介して供血される。APAは前方のpharyngeal trunkと後方のneuromeningeal trunkに分岐する。neuromeningeal trunkはOAあるいはPAAから分岐することもある。neuromeningeal trunkは通常迷走神経と副神経の間を走行するjugular branchとhypoglossal branchを出す。jugular branchはsigmoid sinusとinternal jugular vein (IJV) の前内側を走行し頸静脈孔のpars nervosaから出るまで舌咽神経を栄養する。

retrostyloid spaceでは、舌咽神経はAPAの側枝により供血される。頸動脈小体は、pericarotid plexusの他、OAやその他のECAの分枝にも供血される。扁桃では、IMAの分枝であるdescending palatine arteryやsphenopalatine artery、顔面動脈の分枝であるascending palatine arteryに供血される。舌咽神経の終末枝は、lingual arteryの分枝であるdorsal lingual arteryに供血される。

第X脳神経

迷走神経は、延髄錐体と下小脳脚の間で延髄からlateral cerebellomedullary cisternに出て、頸静脈孔のpars venosaを通過して頭蓋底を出る。jugular ganglionでは迷走神経はAPAのjugular branchに供血される。頸静脈孔の下方のnodose ganglionでは、ICAの側枝と、通常VAから分岐するposterior meningeal arteryに供血される。さらに遠位は、inferior thyroid arteryの分枝であるvagal arteryに供血される。vagal arteryはascending cervical branchとdescending thoracic branchに分岐する。頸部ICAやCCAもvagal arteryに血流を送っている。胸部では、迷走神経は、VA, internal thoracic artery, aorta, bronchial artery, esophageal artery, superior phrenic artery, thymical arteryに供血される。superior laryngeal arteryはsuperior thyroid arteryに、recurrent laryngeal nerveはinferior thyroid arteryの側枝に供血される。

第XI脳神経

副神経はcranial divisionとspinal divisionからなる。cranial divisionは延髄からlateral cerebellomedullary cisternに出る。spinal divisionは上位頸髄から出て大後頭孔を通過してcisterna magnaに入る。cranial divisionとspinal divisionは合流して、頸静脈孔を通過して頭蓋外に出る。cranial rootはposterior inferior cerebellar artery (PICA) の分枝に、spinal rootはAPAのmusculospinal arteryとanterior spinal arteryの側枝に供血される。cranial divisionとspinal divisionが合流してからは、PICAの分枝と、APAのneuromeningeal trunkに供血される。cranial divisionは上迷走神経節superior vagal ganglionで迷走神経と合流し、spinal divisionはICAとIJVの外側を下行して胸鎖乳突筋と僧帽筋に到達する。胸鎖乳突筋に沿って走行する副神経は、OAのsternocleidomastoid branchに供血される。

第XII脳神経

舌下神経は、延髄のpreolivary sulcusからlateral cerebellomedullary cisternを横切り舌下神経管から頭蓋外に出る。舌下神経の神経根はanterior spinal artery, PICA, あるいはVAからの直接の分枝に供血される。これらの動脈はposterior meningeal arteryの側枝と吻合して動脈ネットワークを形成している。舌下神経管ではAPAのhypoglossal branchが舌下神経と併走し栄養している。舌下神経は頭蓋外ではAPA

とarterial pericarotid plexusに供血される。舌下神経はICAとIJVの間を走行しOAの周囲を回って水平に舌の方向に走行する。ECAからの側枝、後頭動脈、顔面動脈、舌動脈が、舌下神経を栄養し、舌では顔面動脈の分枝であるsubmental arteryと舌動脈に供血される。

血管と神経の発生

体のあらゆる器官において血管と神経は併走しており、そのネットワーク形成のために血管と神経が密接に相互作用することが知られている^{10,11)}。胚子の肢の皮膚による研究では、原始毛細血管叢に感覚および運動神経が侵入し、軸索のパターンが動脈の分岐パターンのテンプレートになって血管構造を制御することが示された¹²⁾。近年では、Schwann細胞がCxcl12を分泌しCxcr4を発現する毛細血管叢の血管内皮細胞が軸索とともに配列し、軸索が分泌するVegfAによって動脈に分化することが確認され、Schwann細胞がこのパターン化のメディエータであると考えられた¹³⁾。しかし、すべての神経と血管が類似した走行ではなく、Schwann細胞由来のCxcl12によるメカニズムは末梢の小さい終末枝の発生には関与しているが、大きな血管ではCxcl12が必要ではないようである。咽頭弓から始まる頭蓋顔面の発生においても、血管と神経の密接な関係がある。大動脈弓が大きく変化する咽頭弓の時期においても、第1、第2、第3咽頭弓の神経が背側大動脈の外側に維持され、それらに対応する三叉神経、顔面神経、舌咽神経が第3大動脈弓由来の内頸動脈の外側に認められることでも分かる。しかし、血管によって神経が形成されるのか、その逆なのかは不明である²⁾。中枢神経はperineural vascular plexusから発達する新生血管により血管形成される。脳血管は、酸素、栄養の供給だけでなく、神経形成における中心的役割をもつことが分かってきている。成人の脳の脳室下帯subventricular zoneにおいて、神経幹細胞や神経芽細胞が接する血管は、これらの細胞の遊走や増殖を制御している。同様に、頭部の末梢神経の神経節も、血管の存在下に発達することが分かってきている¹⁴⁾。

最後に

頭蓋底動脈の解剖を学ぶには、脳神経との関係をよく理解することが重要である。脳神経の近位はICA系あるいはVA系の軟膜動脈から、海綿静脈洞や頭蓋底のforamenに近づくともECA系の硬膜動脈から栄養されている。頭蓋底の硬膜動脈には豊富なネットワークが存在し、頭蓋底のforamenを介して頭蓋外動脈と頭蓋内動脈は吻合している。頭蓋外、眼窩内では、末梢神経と併走する分枝から血液供給を受けている。とくに第1咽頭弓の三叉神経や第2咽頭弓の顔面神経の末梢は、stapedial artery由来の動脈の分枝と深く関係している。第3咽頭弓の舌咽神経と第4咽頭弓の迷走神経も、CCA、ICAの近位部や、APAやthyroid arteryなどECAの近位部の分枝に供血されており、やはり咽頭弓の構造の密接な関連性が示唆される。

参考文献

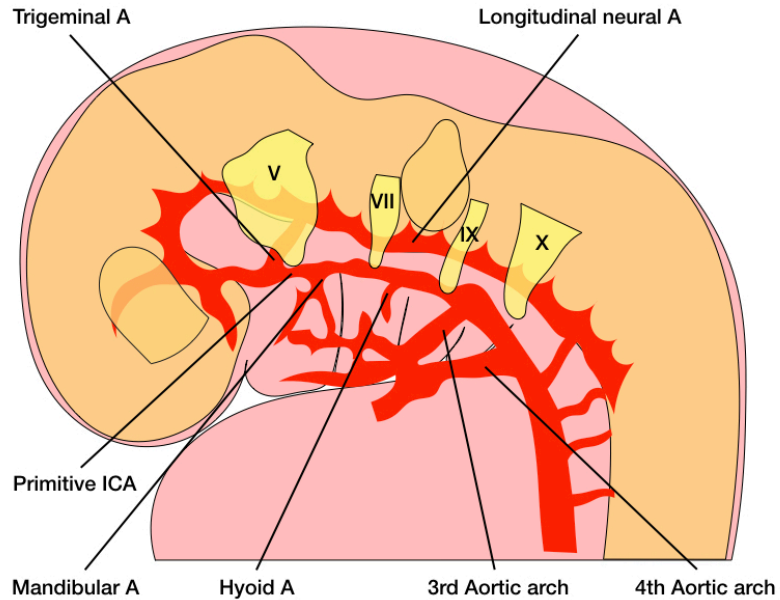
1. Padgett DH: The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contrib Embryol* 32:205-262, 1948.
2. Sudiwala S, Knox SM: The emerging role of cranial nerves in shaping craniofacial development. *Genesis* 57:e23282, 2019.
3. Adams WE. The blood supply of nerves: I. Historical review. *J Anat* 76: 323-341, 1942.
4. Lasjaunias P, Berenstein A, ter Brugge KG: The skull base and extradural arteries, *Clinical vascular anatomy and variations. Surgical Neuroangiography* 1. Springer-Verlag, 2001, 467-475.
5. Ozanne A, Pereira V, Krings T, et al: Arterial vascularization of the cranial nerves. *Neuroimag Clin N Am* 18:431-439, 2008.
6. Hendrix P, Griessenauer CJ, Foreman P, et al: Arterial supply of the lower cranial nerves: A comprehensive review. *Clinical Anatomy* 27:108-117, 2014.
7. Tubbs RS, Rizk E, Shoja MM, et al: Blood supply of the cranial nerves. *Nerves and nerve injury. Vol 1: History, Embryology, Anatomy, Imaging, and Diagnostics. Elsevier, 2015, 427-438.*

- 8.Lasjaunias P, Moret J, Mink J: The anatomy of the inferolateral trunk (ILT) of the internal carotid artery. *Neuroradiology* 13:215-220, 1977.
- 9.Kiyosue H, Tanoue S, Hongo N, et al: Artery of the superior orbital fissure: An undescribed branch from the pterygopalatine segment of the maxillary artery to the orbital apex connecting with the anteromedial branch of the inferolateral trunk. *AJNR Am J Neuroradiol* 36:1741-1747, 2015.
- 10.Carmeliet P, Tessier-Lavigne M: Common mechanisms of nerve and blood vessel wiring. *Nature* 436:193-200, 2005.
- 11.Walchli T, Wacker A, Frei K, et al: Wiring the vascular network with neural cues: a CNS perspective. *Neuron* 87:271-296, 2015.
- 12.Mukoyama Y, Shin D, Britsch S, et al: Sensory nerves determine the pattern of arterial differentiation and blood vessel branching in the skin. *Cell* 109:693-705, 2002.
- 13.Li W, Kohara H, Uchida Y, et al: Peripheral nerve-derived CXCL12 and VEGF-A regulate the patterning of arterial vessel branching in developing limb skin. *Developmental Cell* 24:359-371, 2013.
- 14.Taberner L, Banon A, Alsina B: Anatomical map of the cranial vasculature and sensory ganglia. *J Anat* 232:431-439, 2018.

図の説明

Fig.1 : 頭頸部動脈の発生

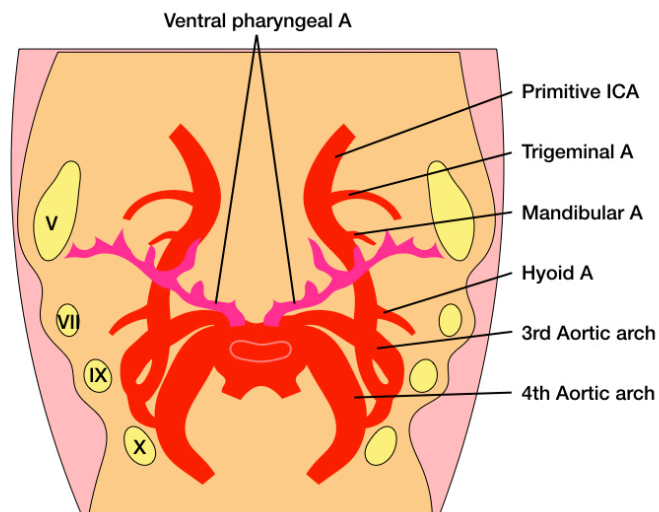
Fig.1A



1A : Padgett Stage1 (胎生4週・頭殿長4-5mm)

primitive ICAとlongitudinal neural arteryを結ぶprimitive trigeminal artery, 第1咽頭弓のmandibular arteryと第2咽頭弓のhyoid arteryが認められる。

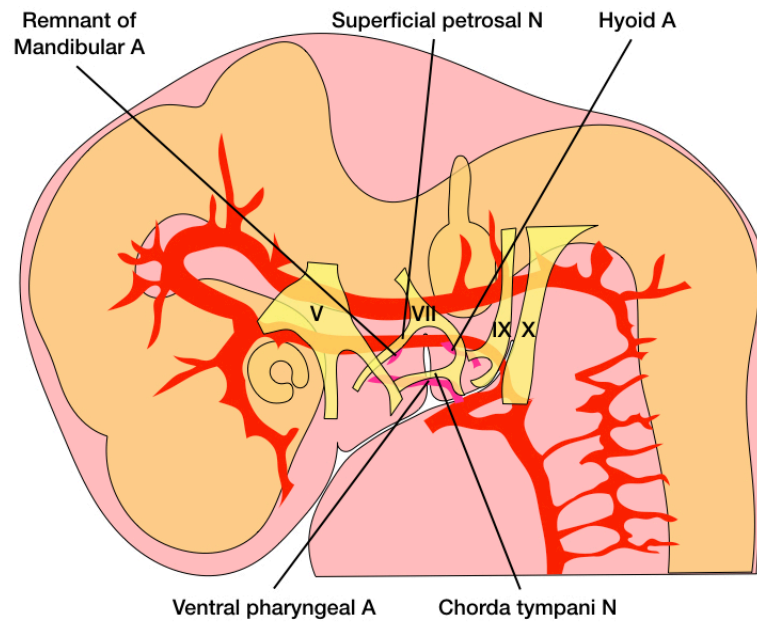
Fig.1B



1B : Padgett Stage2 (胎生4-5週・頭殿長5-6mm)

咽頭弓のそれぞれの動脈と神経は, 第1咽頭弓はmandibular arteryと三叉神経, 第2咽頭弓はhyoid arteryと顔面神経, 第3咽頭弓はICAと舌咽神経, 第4咽頭弓は大動脈弓と迷走神経である。

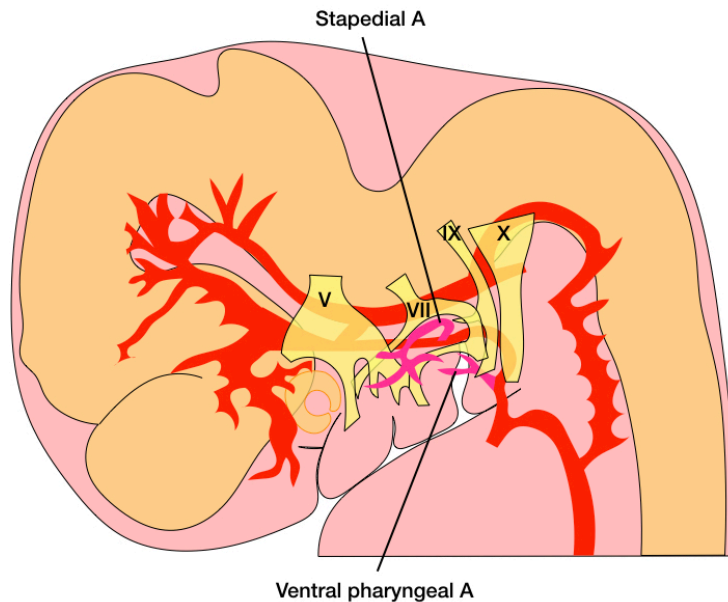
Fig.1C



1C : Padget Stage3 (胎生5週・頭殿長7-12mm)

ICAとCCAが形成されている. mandibular arteryとhyoid arteryが退縮して腹側に遺残したventral pharyngeal arteryは将来のECAの近位部となる.

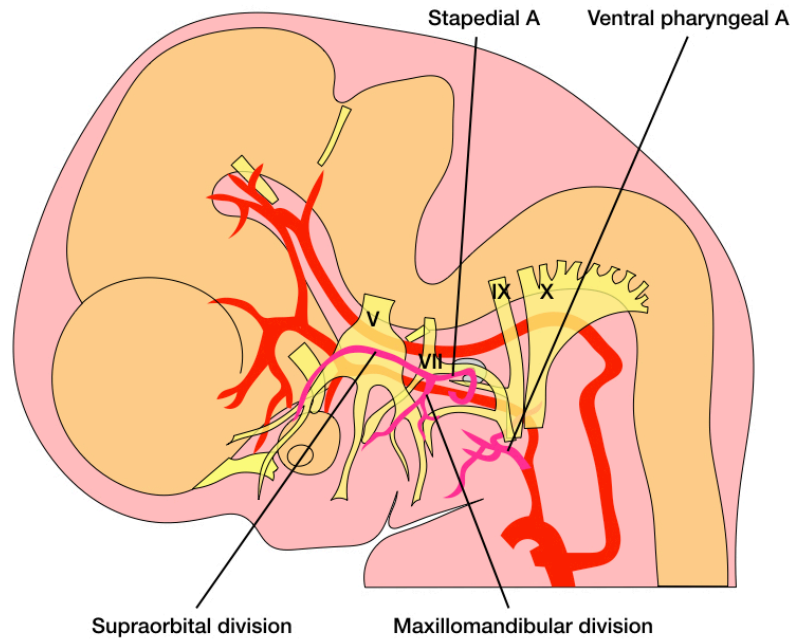
Fig.1D



1D : Padget Stage4 (胎生6週・頭殿長12-14mm)

hyoid arteryから分岐してあぶみ骨の原基を通るstapedial arteryが出現している.

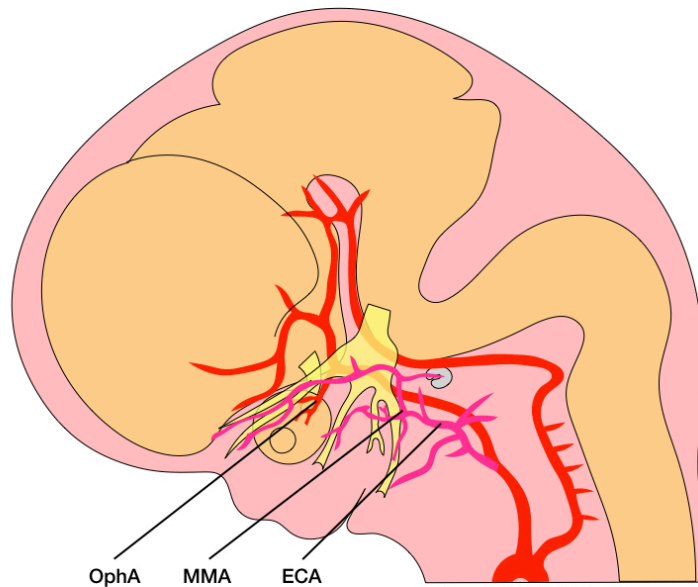
Fig.1E



1E : Padget Stage5 (胎生7週・頭殿長16-18mm)

stapedial arteryはsupraorbital divisionとmaxillomandibular divisionに分岐し, ventral pharyngeal arteryと吻合しつつある.

Fig.1F



1F : Padget Stage6 (胎生8週・頭殿長20-24mm)

stapedial arteryのsupraorbital divisionは眼神経とともに眼窩内に分布し, maxillomandibular divisionは上顎神経, 下顎神経とともに分布する.

Fig.2

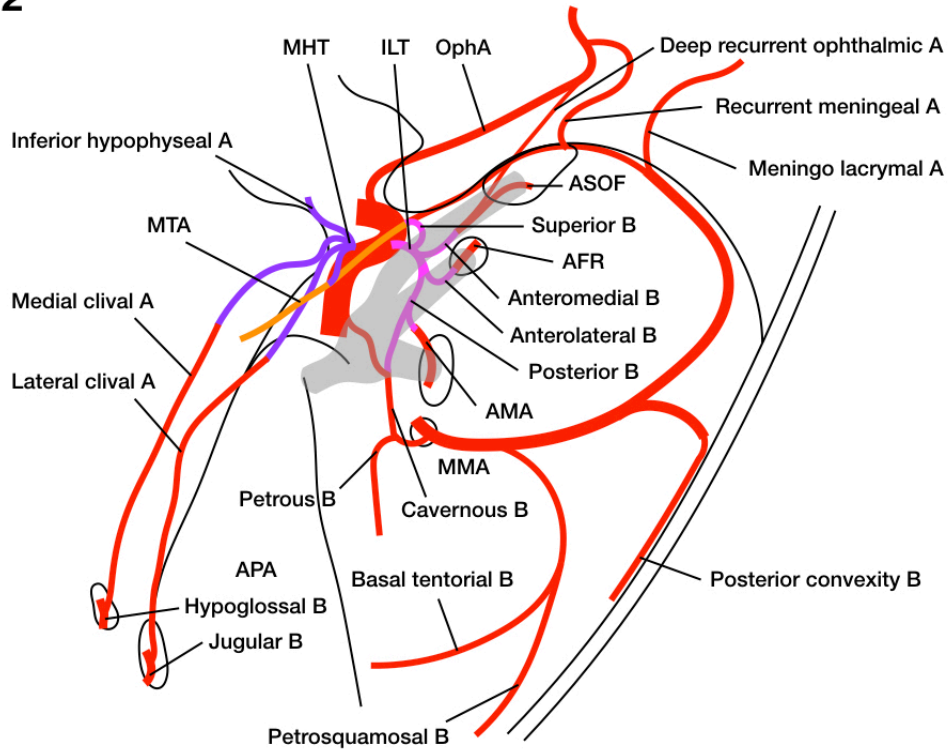


Fig.2 : 海綿静脈洞部近傍の動脈吻合
ICAから分岐するILTとMHTは、頭蓋底の硬膜動脈との豊富なネットワークを形成している。

Fig.3

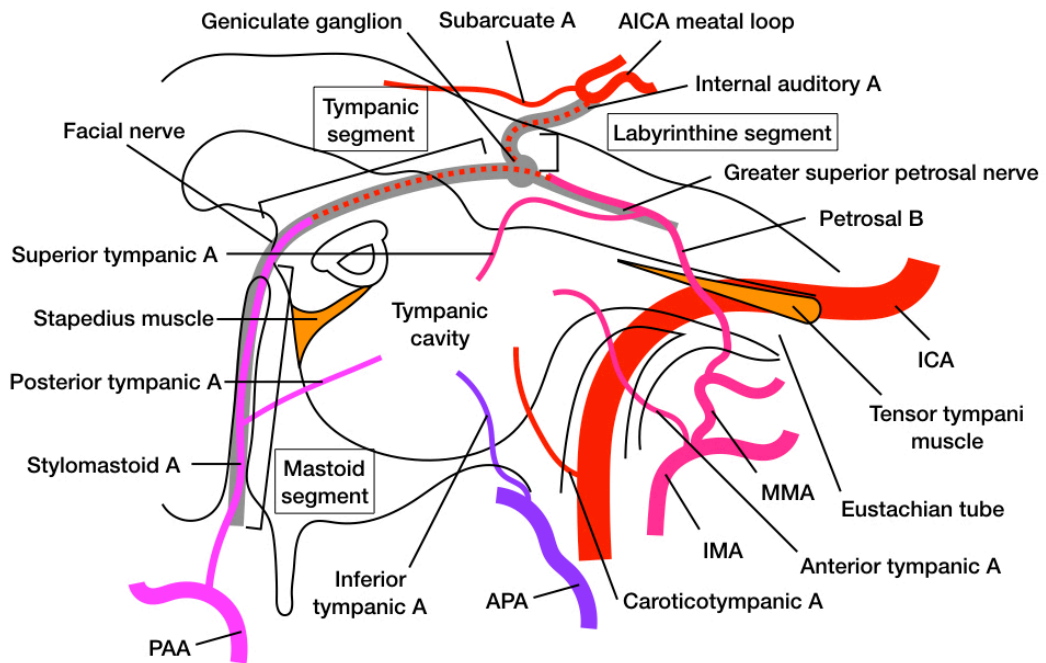


Fig.3 : 鼓室における動脈吻合
MMAのpetrosal branchとPAAのstylomastoid branchはarcadeを形成し、顔面神経を栄養している。

TABLE 1.

Table 1 脳神経のタイプと機能 (文献2より引用改変)

Cranial nerve	Branch	Type	Ganglion	Function
I. Olfactory		Sensory (SpS)		Sense of smell
II. Optic		Sensory (SpS)		Sense of sight
III. Oculomotor		Motor (SSM) Parasympathetic (PVM)	Ciliary	Eye movement Pupil constriction
IV. Trochlear		Motor (SSM)		Eye movement
V. Trigeminal	Ophthalmic (V1) Maxillary (V2) Mandibular (V3)	Sensory (SS) Sensory (SS) Sensory (SS) Motor (BM)	Trigeminal (Gasserian) Trigeminal (Gasserian) Trigeminal (Gasserian)	Sensation of upper face Sensation of mid face Sensation of lower face Mastication
VI. Abducens		Motor (SSM)		Eye movement
VII. Facial	Temporal Zygomatic Buccal Mandibular Cervical Posterior auricular Chorda tympani Greater petrosal	Motor (BM) Motor (BM) Motor (BM) Motor (BM) Motor (BM) Sensory (SS) Sensory (SpS) Parasympathetic (PVM) Parasympathetic (PVM)	Geniculate Geniculate Submandibular Pterygopalatine	Facial expression Sensation of external ear canal Sensation of taste in anterior 2/3 of tongue Sublingual, submandibular & oral gland secretion Lacrimal and nasal gland secretion
VIII. Vestibulocochlear	Vestibular Choclear	Sensory (SpS) Motor (SS) Sensory (SpS) Motor (SS)	Vestibular Spiral	Sense of balance Vesibular plasticity and compensation Sense of hearing Olivocochlear system: Adaptation
IX. Glossopharyngeal	Tympanic Tonsilar Lingual Carotid Pharyngeal Muscular	Sensory (SS) Parasympathetic (PVM) Sensory (SS) Sensory (SS) Sensory (SpS) Sensory (VS) Sensory (SS) Motor (BM)	Superior Otic Superior Superior Petrosal Petrosal Superior	Sensation of middle ear Parotid gland secretion Sensation of tonsil Sensation in posterior 1/3 of tongue Sensation of taste in posterior 1/3 of tongue Carotid body/sinus: Monitor blood pressure Sensation in upper pharynx Stylopharyngeus muscle
X. Vagus	Auricular Meningeal Pharyngeal Superior laryngeal Recurrent laryngeal Rest of the body	Sensory (SS) Sensory (SS) Sensory (SS) Sensory (VS) Motor (BM) Parasympathetic (PVM) Sensory (SS) Sensory (VS) Motor (BM) Parasympathetic (PVM) Sensory (SS) Sensory (VS) Parasympathetic (PVM) Motor (BM)	Jugular Jugular Jugular Nodose Jugular Nodose Jugular Nodose	Sensation from skin of ear canal, tragus, & auricle Sensation to dura mater Sensation of pharynx Mucus membrane of pharynx Skeletal muscle of pharynx, soft palate, & tongue Smooth muscle and glands of pharynx Sensation of larynx Mucus membrane of larynx Cricothyroid muscle of larynx Smooth muscle and glands of larynx Sensation from esophagus and trachea Mucus membrane of lower larynx Intrinsic muscle of of larynx Smooth muscle and glands of trachea
XI. Accessory		Motor (BM)		Motor innervation of larynx and pharynx
XII. Hypoglossal		Motor (BM)		Tongue movement

SpS:special sensory, SSM:special somatic motor, PVM:parasympathetic visceral motor, SS: somatic motor, BM:branchiomotor, VS:visceral sensory

TABLE 2.

Table 2 脳神経の主な栄養動脈

Cranial nerve	Intracranial (cisternal) arterial supply	Cavernous sinus arterial supply	Foramen	Extracranial arterial supply
I. Olfactory	ACA		Cribriform plate	Sphenopalatine artery Anterior & posterior ethmoidal A
II. Optic	OphA, ACA Superior hypophyseal artery		Optic canal	OphA
III. Oculomotor	PCA	MTA, ILT (Anteromedial B)	Superior orbital fissure	OphA, MMA
IV. Trochlear	SCA	MTA, ILT (Anteromedial B)	Superior orbital fissure	OphA, MMA
V.Trigeminal Ophthalmic (V1)	BA Remnant of trigeminal A	ICA (Lateral A of trigeminal ganglion) MMA (Cavernous B) APA (Cavernous B)	Superior orbital fissure	ILT (Anteromedial B), ASOF, OphA, MMA
V.Trigeminal Maxillary (V2)			Foramen rotundum	ILT (Anterolateral B), AFR
V.Trigeminal Mandibular (V3 & Vm)			Foramen ovale	ILT (Posterior B), AMA, MMA (Cavernous B)
VI. Abducens	BA	Medial/Lateral clival ILT (Anteromedial B)	Superior orbital fissure	OphA, MMA
VII. Facial	AICA		Facial canal Stylomastoid foramen	MMA (Petrosal B) PAA or OA (Stylomastoid B)
VIII. Vestibulocochlear	AICA			
IX. Glossopharyngeal	VA		Jugular foramen	APA (Jugular B)
X. Vagus	VA		Jugular foramen	APA (Jugular B)
XI. Accessory	PICA		Jugular foramen	APA (Jugular B)
XII. Hypoglossal	PICA		Hypoglossal canal	APA (Hypoglossal B)

A:artery, B:branch, ACA:anterior cerebral artery, OphA:ophthalmic artery, PCA:posterior cerebral artery, SCA:superior cerebellar artery, BA:basilar artery, AICA:anterior inferior cerebellar artery, VA:vertebral artery, MMA:middle meningeal artery, ILT:inferolateral trunk, ASOF:artery of superior orbital fissure, AFR:artery of foramen rotundum, AMA:accessory meningeal artery, PAA:posterior auricular artery, OA:occipital artery, APA:ascending pharyngeal artery