

原始血管吻合：再訪

Primitive carotid-basilar anastomoses: revisited

自治医科大学 血管内治療センター 脳血管内治療部

Center for Endovascular Therapy, Division of Neuroendovascular Surgery

Jichi Medical University

難波 克成

Katsunari Namba

Key words: Persistent trigeminal artery, Persistent otic artery, Persistent hypoglossal artery, Persistent proatlantal intersegmental artery, Anastomosis

2016年には第10回ニッチ脳神経脈管カンファレンスが開催され、時の蓄積と内容の深化に一廻りした感がありました。今回、小宮山先生のご発案で2009年、第3回カンファレンスで発表したのと同じタイトルで発表させて頂くことになりました。本会の進歩に相応しい内容に改良され、温故知新となることを願いつつ、本稿を作成しました。前回と同様、原始血管吻合の分節血管的性格に焦点を当てつつ、歴史的背景を探り、発生学的、解剖学的知見を纏めてみました。

はじめに

胎生早期に原始内頸動脈およびdorsal aortaと将来の椎骨脳底動脈との間に4つの原始血管吻合が存在する。頭側から順に、trigeminal、otic、hypoglossal、proatlantalで、それぞれ対応する神経に併走する。胎生早期の椎骨脳底動脈はhindbrain腹側に一对のvascular plexusとして存在し、longitudinal neural arteryと呼ばれる。原始血管吻合は後交通動脈、椎骨脳底動脈の形成に伴い1週間以内に退縮するが、成人において遺残が認められることがある。本稿では原始血管吻合の発生学と遺残原始血管吻合の臨床的意義を中心にレビューする。

The primitive carotid-basilar anastomoses

Padgetは1948年にprimitive carotid-basilar anastomosesについて初めての詳細な報告を行った¹。この歴史的報告以来、胎児検体を用いたヒト脳血管発生の研究は精度においてこれを超えるものはなく、本稿においてもPadgetの研究を参考にする。しかし、現代においても、ヒト脳血管発生の形態学的知見に限られた検体を観察した1つの研究に依存せざるを得ない、という問題は認識する必要がある。

発生

胎児長3 mmの時期に第1大動脈弓より原始内頸動脈と原始三叉神経動脈の2つの分枝が認められる(図1)。原始三叉神経動脈の最初期の形態で、primordial hindbrain channelと吻合する。Primordial hindbrain channelとは後にlongitudinal hindbrain channelに発達するhindbrain上の血管叢で、この時期には静脈として機能する。同時期にprimordial hindbrain channelはotic vesicle付近に存在する2、3本の小血管と吻合する。

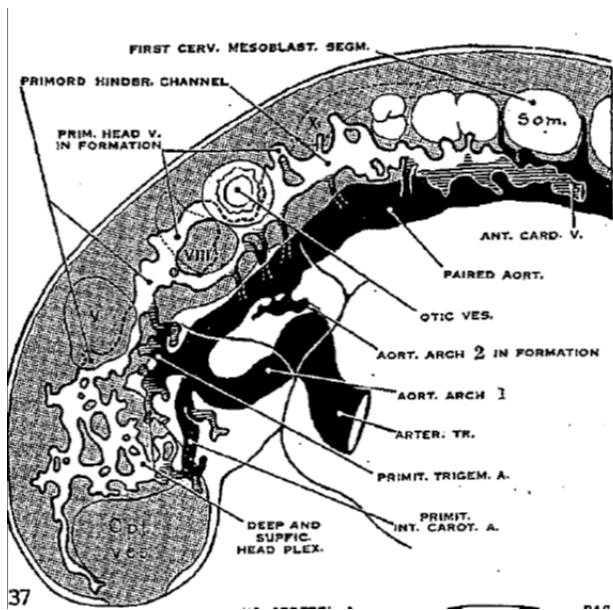


図1 胎児長3 mm

第1動脈弓より原始内頸動脈と原始三叉神経動脈の2つが分岐し、後者は primordial hindbrain channelと吻合する。Otic vesicle付近では数本の小血管と primordial hindbrain channelとの吻合が認められる。

胎児長4 mmの時期になると原始三叉神経動脈は原始内頸動脈より分岐するようになり、longitudinal neural arteryと吻合する(図2)。2、3本のotic arteryが第2大動脈弓の対側に認められ、原始内頸動脈とlongitudinal neural arteryとを吻合する。Otic arteryは第2大動脈弓が形成される胎児3、4 mm長の時期のみに存在し、これより後期に認められることはない。わずかに発達が進んだ4 mm期には、原始内頸動脈は同等の径を有する2つの血管に分岐する。この2本は内頸動脈の延長と原始三叉神経動脈である。内頸動脈遠位ではcranialとcaudal portionの形成が認められるが、この時期にlongitudinal neural arteryとの交通は認められない。このため、longitudinal neural arteryは主に原始三叉神経動脈より血流を受ける。尾側ではproatlantal intersegmental arteryより主要な血流が供給される。

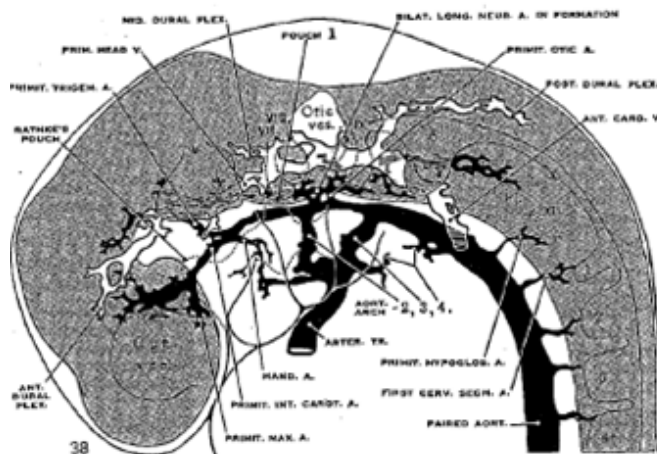


図2 胎児長4 mm

原始三叉神経動脈は原始内頸動脈より分岐するようになり、longitudinal neural arteryと吻合する。Otic arteryは第2動脈弓の反対側より2、3本起始し、原始内頸動脈とlongitudinal neural arteryとを吻合する。

胎児長5-6 mmの時期に内頸動脈のcaudal divisionが発達し、longitudinal neural arteryと吻合を形成し、原始三叉神経動脈の役割を置換する。Longitudinal neural artery尾側はまだ proatlantal intersegmental arteryより主要な血流を受ける。

胎児長7-12 mmの時期にhindbrain腹側に存在する1対のlongitudinal neural arteryは正中で吻合し、脳底動脈を形成する。また、C1からC6のsegmental arteryは縦側に吻合し、それぞれ dorsal aorta側との交通が退縮することで頸部椎骨動脈が形成される(図3)。この新たに形成さ

れたdorsal aortaとlongitudinal neural arteryとの吻合（椎骨動脈）はhypoglossal arteryと proatlantal intersegmental arteryの役割を置換する。この時、C1 proatlantal intersegmental artery遠位部は後頭下椎骨動脈水平部として残存するとされる²。

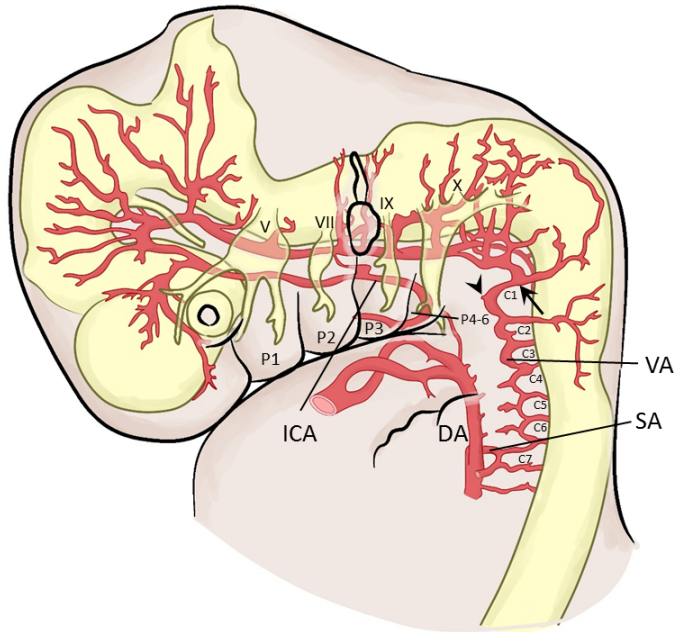


図3 胎児長7-12 mm

Hindbrain腹側に存在する1対の longitudinal neural arteryは正中で吻合し、脳底動脈を形成する。C1-C6の segmental arteryは縦方向に吻合し、dorsal aorta側が退縮し、椎骨動脈を形成する。椎骨動脈形成にともない、原始舌下神経動脈、primitive proatlantal intersegmental arteryは退縮する。Proatlantal intersegmental artery遠位側は後頭下椎骨動脈水平部（矢印）として残存する。本来のproatlantal intersegmental arteryはdorsal arteryとC1 segmental artery近位側間の部分で、この段階では痕跡として認める（矢頭）。

DA: dorsal aorta, ICA: internal carotid artery, P: pharyngeal arch, SA: subclavian artery, VA: vertebral artery

要約すると、胎生初期のhindbrainは、trigeminal、otic、hypoglossal、proatlantal intersegmental arteryの4つの動脈により血流の供給を受ける。頭側ではtrigeminal artery、尾側ではproatlantal intersegmental arteryが主要な血管である。後交通動脈、椎骨動脈の発達に伴い、原始血管吻合は1週間程度で急速に退縮する。Otic arteryが始めに退縮し、hypoglossal arteryが続き、trigeminal arteryとproatlantal intersegmental arteryはやや後期まで残存する。

原始血管吻合の分節血管的側面：歴史的考察

「Segmental」という用語はEvansが縦側吻合によりdorsal aortaのC1-C6 segmental branchが椎骨動脈を形成することを報告してから認知されるようになった³。Segmental arteryと呼ばれるための条件として、segmentの構成単位であるsomiteが存在する必要があると考えられる。また、segmental arteryの特徴として、対応する神経が併走することが挙げられる。

原始血管吻合はdorsal aorta (proatlantal intersegmental) と内頸動脈 (hypoglossal、otic、trigeminal) から起始する。一方、内頸動脈は第3動脈弓とdorsal aortaから形成される。これらのことを考え合わせると、原始血管吻合は広くdorsal aorta-longitudinal neural artery吻合と解釈することが可能である。Carotid-vertebrobasilar anastomosesのこのような捉え方は古くから研究者の興味を刺激し、例えばEvansはこれを「presegmental branches of the dorsal aorta」と呼び、De Vriesは「V、VIII、XII神経に関連したcephalic segmental artery」の可能性について言及した⁴。最近ではLasjauniasらが原始血管吻合はpharyngeal archに関連したsegmental arteryであるという仮説を提唱した⁵。

しかしながら、比較的単純な構造のcervical spineの分節構造に比較し、occipitocervical regionのそれは複雑である。これはOccipitocervical領域の分節構造に関わる要素として、occipital somite、pharyngeal arch、aortic archおよびrhombomere (hindbrainの分節構造)

が存在するからである⁶。次の段落ではoccipitocervical領域の分節構造と脳神経、動脈発生との関連、およびoccipitocervical領域分節構造と脊髄分節構造との相同性について考察する。

Occipitocervical領域の分節構造に関する考察

Occipitocervical領域の分節構造に関係する要素は先に述べたように、occipital somite、pharyngeal arch（咽頭弓）、aortic arch、およびrhombomereである。

Occipital somite

Somite（体節）とは、神経管、脊索の両脇に発生する中胚葉性の分節性組織で、segmentationに参与する。胎生期のsomite形成は第3週までに頭部領域で始まり、順次尾側に進展する。頭部領域には4つのsomiteの存在が知られ、occipital somiteと呼ばれる^{2,6}。Occipital somiteはrhombomere形成に伴い形成され、頭部領域の間葉系組織に分化する⁷。

Pharyngeal arch（咽頭弓）

咽頭弓は胎生4-5週の頭部体表に順に出現する5つの突出構造で、頭頸部形成に参与する。咽頭弓の特徴はhindbrainより将来骨組織に分化するneural crest cellの遊走を受けることである。咽頭弓固有の中胚葉組織は筋組織に分化する。このため、咽頭弓は筋組織によって特徴づけられる。咽頭弓筋組織は固有の脳神経によって支配を受ける。各咽頭弓と支配神経の関係は以下の通りである。

- 第1咽頭弓－三叉神経下顎枝
- 第2咽頭弓－顔面神経
- 第3咽頭弓－舌咽神経
- 第4、6咽頭弓－迷走神経上枝、反回枝

また、各咽頭弓は対応する大動脈弓の血流を受ける（第1咽頭弓は第1大動脈弓というように）（図4）。

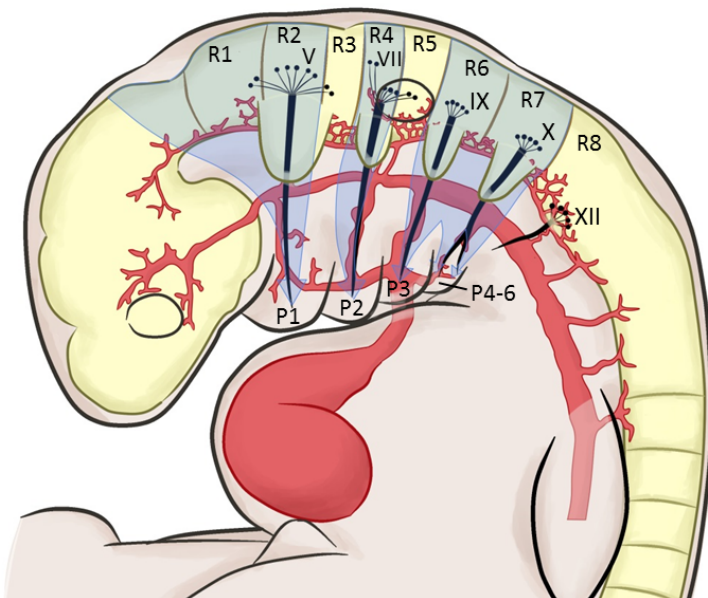


図4 胎児occipitocervical areaの分節構造

Hindbrainには8つの分節構造 rhombomere (R) が存在する。R2 に三叉神経、R4に顔面神経、R6 に舌咽神経、R8に舌下神経の運動核が形成され、それぞれ対応する咽頭弓 (P) に分布する。Rhombomereより咽頭弓にneural crest cellが灰矢印のように分節的に遊走する。また、各咽頭弓は対応する大動脈弓より血流を受ける。

Rhombomere

咽頭弓、大動脈弓の形成と時を同じくして、胎生第4週の終わりまでに脳神経の神経核が形成される。同時にhindbrainに8つのrhombomere (R1-R8) が形成され、第IV、V、VI、VII、IX、X、XI、XII神経運動核が形成される。R2に三叉神経、R4に顔面神経、R6に舌咽神経、R7に迷走神経、R8に舌下神経運動核が形成され、それぞれ対応する咽頭弓に分布する(図4)。

また、Rhombomereからは咽頭弓に分布するneural crest cellが遊走する。中脳、R1、R2からは第1咽頭弓に、R4からは第2咽頭弓に、R6、R7からは第3-6咽頭弓にneural crest cellが遊走する(図4)。R3とR5はneural crest cellの遊走に関与しない。Neural crest cellは求心性感覚神経のガイダンスとなり、三叉神経節はR2に、膝神経節、前庭聴神経節はR4に、錐体神経節、下神経節はR6、R7に誘導される。このsegmental patternは神経上皮下に存在するoccipital somiteの影響を受けることが示唆されている。脳神経運動核は脳幹内に存在し、脳神経感覚神経節は外胚葉性placodeやneural crest cell由来であるという点は、脊髄神経と相同である。

Occipital somite、Pharyngeal arch、Rhombomereの関係

MullerとO'Rahillyはoccipitocervical regionの発生を研究し、以下の結論を得た⁶。

1. Occipital somite 1-4はrhombomere 8に関連し、第4咽頭弓尾側に位置する。
2. 三叉神経neural crestはrhombomere 2に関連する。
3. Otic vesicleはrhombomere 5全体とrhombomere 4の一部、および咽頭弓2、3に関連する。
4. 舌下神経neural crestはrhombomere 8、咽頭弓4に関連し、occipital somite 2-4レベルに存在する。

以上をまとめるとTable 1のようになる。

また、MullerとO'Rahillyはhypoglossal nerveは発生初期にrhombomere 8より発生し、occipital somite 2-4を支配し、spinal nerveと明らかな相同性を有することに言及している。Hypoglossal arteryはhypoglossal nerveに併走し、これら動脈と神経はoccipital somite 3と4との明らかな境界を形成する。このため、hypoglossal arteryは第1 cervical space上(occipital somite 4、somite 1間)のoccipitocervical junction (somite 3、4間)に位置する。

	Occipital somite	Pharyngeal arch	<u>Rhombomere</u>
Trigeminal	NA	1	2
Otic	NA	2, 3	4, 5
Hypoglossal	2-4	4	8

Table 1 Association of trigeminal, otic, and hypoglossal neural crest to segmental structures in the early embryonic period

原始血管吻合の分節血管的側面：考察

以上の考察より、以下の推測が可能と考えられる。

1. Rhombomere 8は明らかな分節的性格を有する最も頭側の神経組織である。
2. Hypoglossal arteryとnerveはrhombomere 8とoccipital somite 2-4に関連したsegmentalな組織である。
3. Occipital somiteより頭側の神経組織については、rhombomereの構造、rhombomereよりのneural crest cell migration様式、脳神経が特定のrhombomereと関連すること、脳神経が脊髄神経と一部相同性を有すること、などから分節的性格を有する可能性は高い。

4. 原始三叉神経動脈、聴神経動脈はそれぞれrhombomere 2および4に関連することが証明されれば、segmental arteryといえるであろう。

The persistent primitive carotid-basilar anastomoses

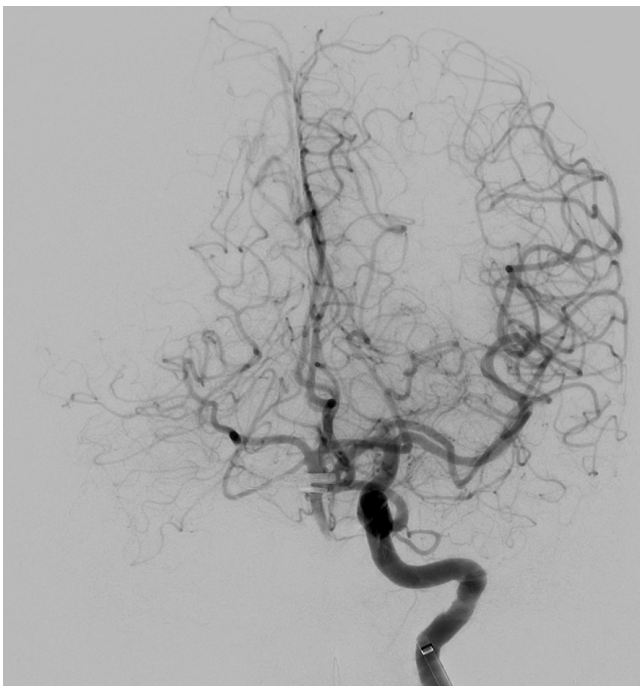
原始動脈吻合はしばしば成人において遺残することがあり、遺残原始三叉神経動脈、遺残原始聴神経動脈、遺残原始舌下神経動脈、persistent primitive proatlantal arteryと呼ばれる。今回はその臨床的意義に重点を置き、解説する。

遺残原始三叉神経動脈、Persistent primitive trigeminal artery (PTA)

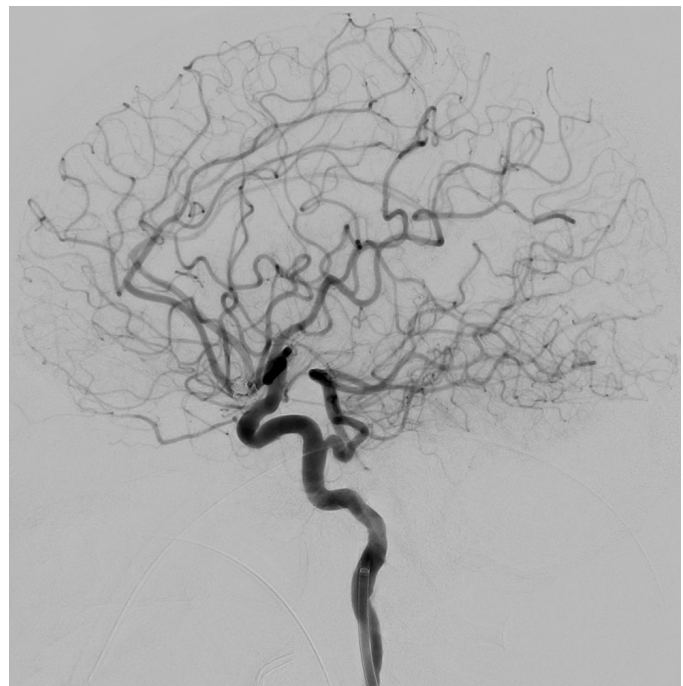
遺残原始動脈吻合の中で最も頻度が高い(0.5-0.7%)^{8,9}。

海綿静脈洞部内頸動脈後外側あるいは後内側壁より起始し、まれに海綿静脈洞貫通前の錐体部内頸動脈より起始する。海綿静脈洞内をlateral/petrosal courseあるいはmedial/sphenoidal courseを取る。Lateral typeは内頸動脈C4部、後外側壁より起始し、外転神経の外側を走行し、三叉神経節の内側で硬膜を貫通する¹⁰(図5)。Medial typeは内頸動脈C4部、後内側壁より起始し、外転神経の内側を走行し、dorsum sellaeの硬膜を貫通する¹⁰。硬膜貫通後は脳底動脈遠位1/3に吻合する。Lateral typeとmedial typeの発生頻度は同じであるとされていたが、最近の研究ではlateral typeがmedial typeより11倍多いことが明らかとなった^{8,9}。

PTAは時に脳底動脈と吻合せず、小脳動脈(上、前下、後下小脳動脈)と直接吻合する。このタイプはPTA variantと呼ばれる。



5A



5B



図5 遺残原始三叉神経動脈lateral type

左内頸動脈撮影。A：正面像、B：側面像、C：3次元回転撮影CT-like image、D：3次元回転撮影CT-like image錐体部拡大。海綿静脈洞内頸動脈後方外側より起始した遺残原始三叉神経動脈（PTA）は海綿静脈洞内の外側を走行し、錐体骨先端部で硬膜内に貫通する。DではPTAより橋への小血管が認められる（矢印）。

PTAの解剖学的研究は9例の報告がある¹⁰⁻¹⁷ (Table 2)。興味深いことにlateral typeのみが三叉神経節と神経組織に関与した（図5D）。Medial typeはmeningohypophyseal trunk (MHT)に関連したが、神経組織への関与はなかった。Suttnerらはlateral typeとmedial typeとは発生原基が異なり、MHTはmedial type PTAのレムナントであるとの仮説を提唱した¹⁵。Lateral artery of the clivusがPTAのレムナントである、というLasjauniasらの主張もこの線に沿ったものと考えられる¹⁸。胎生期の原始三叉神経動脈は三叉神経節とhindbrainに血流を供給する事実を考えると、lateral type PTAは真のPTAといえるかもしれないが、議論の残るところである。

Series	Course	Branches
Yamada, et al. ¹¹	Lateral	Trigeminal root, <u>pontine perforating branches</u> , AICA
Inoue, et al. ¹²	Medial	Inferior hypophyseal, tentorial, <u>clival</u>
Kida, et al. ¹³	Lateral	Trigeminal root, <u>pontine perforating branches</u> , AICA
<u>Ohshiro et al.</u> ¹⁴	Lateral	At the origin: MHT, AICS Intradural: trigeminal root, <u>pontine perforating branches</u>
Salas, et al. ¹⁰	Lateral	Pontine perforating branches
Suttner, et al. ¹⁵	Medial	Inferior hypophyseal, <u>clival</u>
Arakawa, et al. ¹⁶	Lateral	Trigeminal root, <u>pontine perforating branches</u> , AICA
	Lateral	Trigeminal root, <u>pontine perforating branches</u> , AICA
Tubbs, et al. ¹⁷	Lateral	At the origin: inferior hypophyseal

Table 2 遺残原始三叉神経動脈の走行と分枝

AICA: anterior inferior cerebellar artery; AICS: artery of the inferior cavernous sinus; MHT: meningohypophyseal trunk

PTAとPTA variantの病理的意義は大きくない。MRAを使用した大規模な研究では、脳動脈瘤、脳動静脈奇形、もやもや病、Sturge-Weber症候群、精神発達遅滞との関連は同定されなかった^{8,9}。まれに三叉神経痛、動眼神経麻痺との関連が報告される¹⁹⁻²²。注目に値するのはPTAとPHACE症候群（P = posterior fossa; H = hemangioma; A = arterial; C = cardiac; E = eye. PHACES: S = sternal cleft）との関連である。PHACE症候群患者には高頻度に（12-16%）PTAが合併し、心血管、脳異常とあわせ、vasculogenesisのエラーと考えられている^{23,24}。本稿主旨からは脱線するが、筆者の印象としては、rhombomere由来のneural crest cellは頭部顔面の形成に関与するとともに、咽頭弓3、4、6を通過して大動脈、心形成に関与するため、neural crest cellの異常とも考えられた。

遺残原始聴神経動脈、Persistent primitive otic artery (POA)

POAは現在までに8例の報告しかなく²⁵⁻³⁰、存在そのものが疑問視されている。三叉神経動脈、舌下神経動脈、proatlantal intersegmental arteryはrhombencephalonやspinal cordと強く関連するが、聴神経動脈はotic placodeと関連する³¹。LasjauniasらPOAが併走すべき聴神経は頭蓋内の蝸牛、前庭に終わり、他のprimitive arteryに併走する三叉神経、舌下神経のように頭蓋外に出ることはない点、系統的にPOAに相当する血管は認められない点から、その存在に否定的である⁵。

Lieによって提唱された合理的な診断基準は以下の通りである。1) 内頸動脈錐体外側部、medial turn付近から分岐（図6、図5A、Bと比較されたい）、2) 内耳道内を走行、3) 脳底動脈近位部に吻合する。

過去の報告の多くはPOAとlow-lying PTAあるいはstapedial artery remnant³²とを混同していると考えられる。画像診断技術の進歩により、POAに関する疑問が解決されることに期待したい。

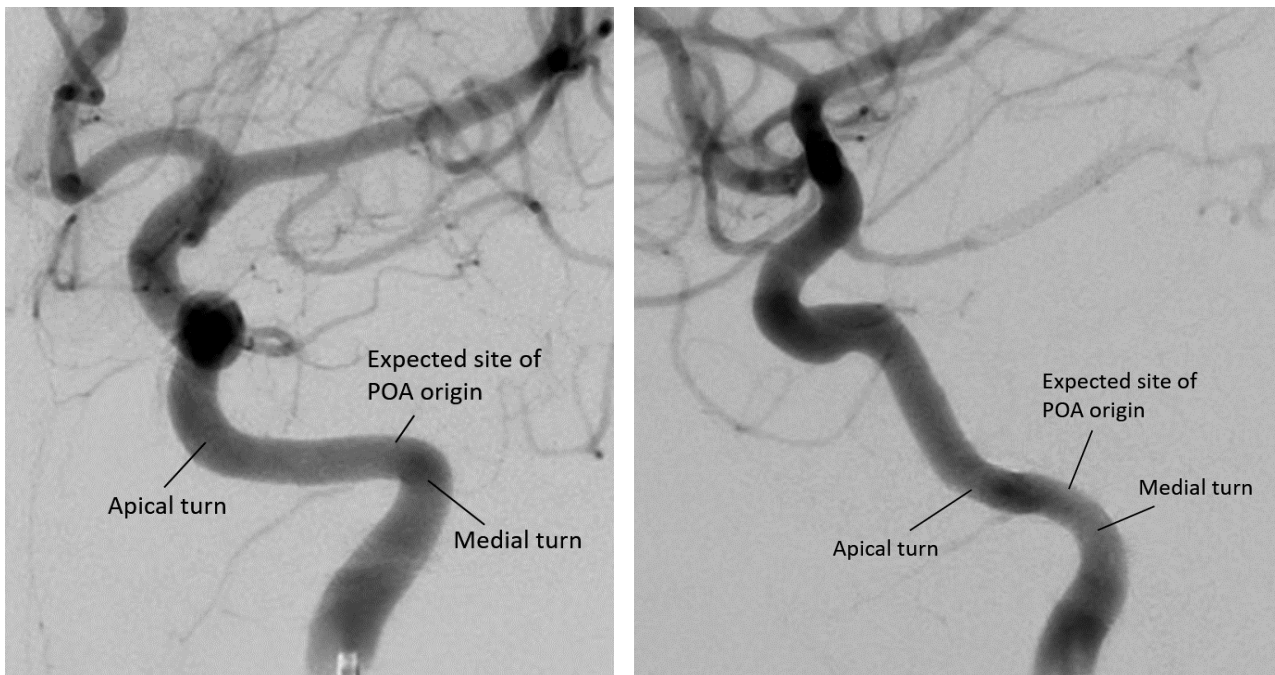


図6 遺残原始聴神経動脈の起始部

左内頸動脈撮影正面像 (A)、側面像 (B)。遺残原始聴神経動脈は内頸動脈錐体部外側部medial turn付近からの起始が予想される。遺残原始三叉神経動脈起始部 (図5A、B) と比較されたい。

遺残原始舌下神経動脈、Persistent primitive hypoglossal artery (PHA)

遺残動脈吻合の中では2番目に頻度が高い (0.027-0.29%)^{33,34}。

C1-C3レベル頸部内頸動脈背側より起始し、舌下神経管を通過し、椎骨脳底動脈に吻合する。Brismarによる診断基準は以下の通りである。1) 内頸動脈の主要枝として分岐。2) 舌下神経管を通過。3) 脳底動脈本幹を形成。このうち、最も重要なのは舌下神経管を通過することである (図7)。

まれに外頸動脈より起始するPHAが報告される³⁵⁻⁴¹。Lasjauniasらは、原始舌下神経動脈の成人でのレムナントは上行咽頭動脈であると提唱し⁵、この仮定に従えば外頸動脈起始のPHAはあり得る。極めてまれなPHA variantの報告があり、内頸動脈あるいは外頸動脈より起始し、椎骨動脈を介することなく後下小脳動脈と直接吻合する⁴²⁻⁴⁵。

PHA対側の椎骨動脈は1/3の症例で低形成である^{34,46}。

臨床的にはPHAは後方循環の主要な血管であるという認識が必要である⁴⁷⁻⁵⁰。また、上行咽頭動脈は原始舌下神経動脈のレムナントであると提唱されることから分かるように、上行咽頭動脈からの塞栓術を考慮する際には、椎骨脳底動脈や内頸動脈との潜在的吻合に注意が必要である。

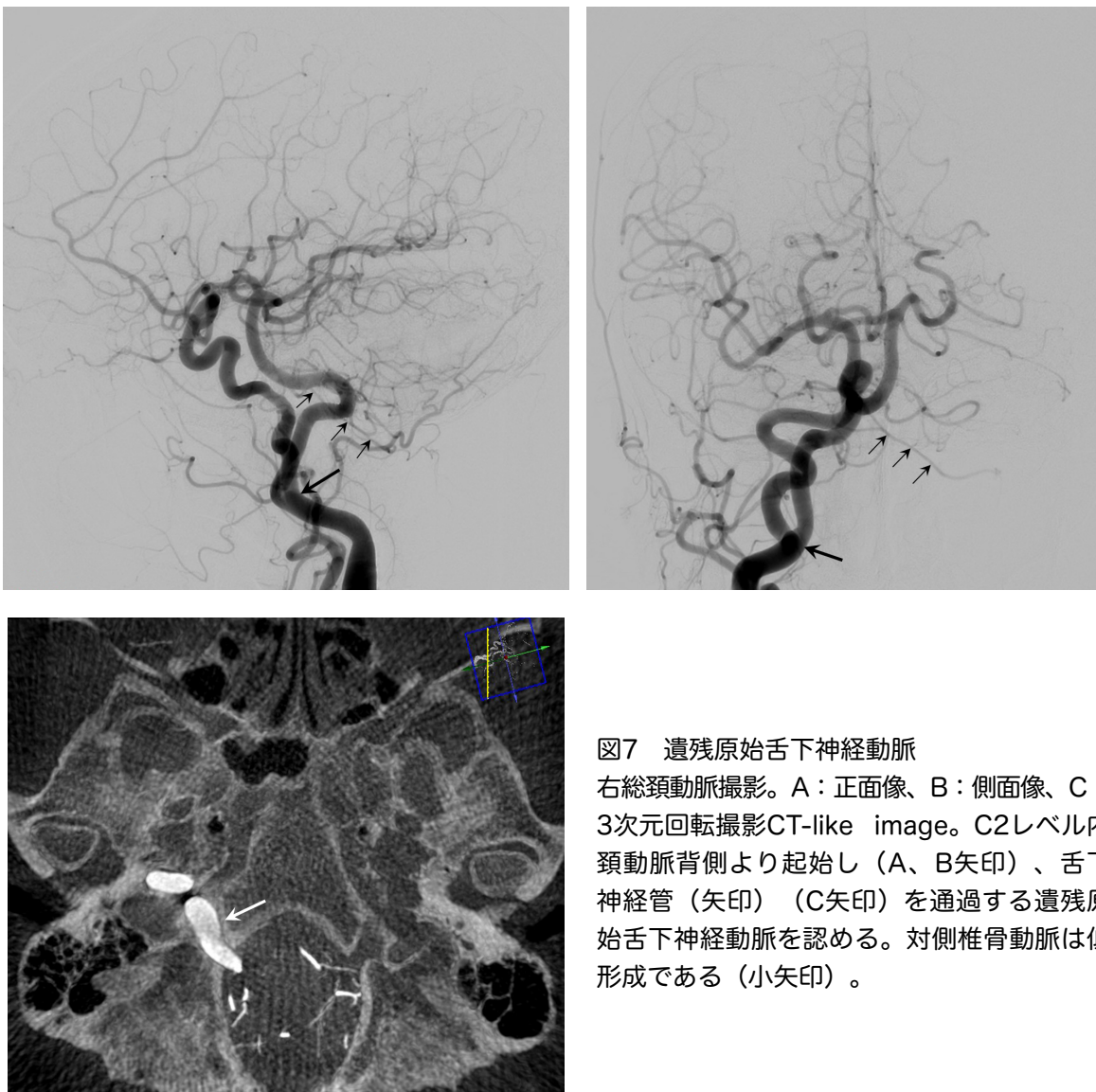


図7 遺残原始舌下神経動脈

右総頸動脈撮影。A: 正面像、B: 側面像、C: 3次元回転撮影CT-like image。C2レベル内頸動脈背側より起始し (A、B矢印)、舌下神経管 (矢印) (C矢印) を通過する遺残原始舌下神経動脈を認める。対側椎骨動脈は低形成である (小矢印)。

Persistent primitive proatlantal intersegmental artery (PPIA)

PPIAはC2-C4レベルの総頸動脈、内頸動脈、外頸動脈から起始し、後頭下で椎骨動脈に吻合した後、大後頭孔を通過する。これらの特徴のうち、最も重要なのは大後頭孔を通過することである⁵¹。Type 1とType 2の存在が知られ、type 1は椎骨動脈吻合前に後頭骨とC1椎体の間を走行し、type 2はC1、C2椎体間を走行する⁵²。このため、PPIA type 1はC1 segmental artery、PPIA type 2はC2 segmental arteryのレムナントと解釈される⁵。

脳血管撮影上、PPIAはPHAと混同される。鑑別は、PPIAは側面像において後頭下で正常な椎骨動脈の走行を取るのに対し、PHAは舌下神経管を通過するため背側への湾曲が少ない点である(図8)⁵³。

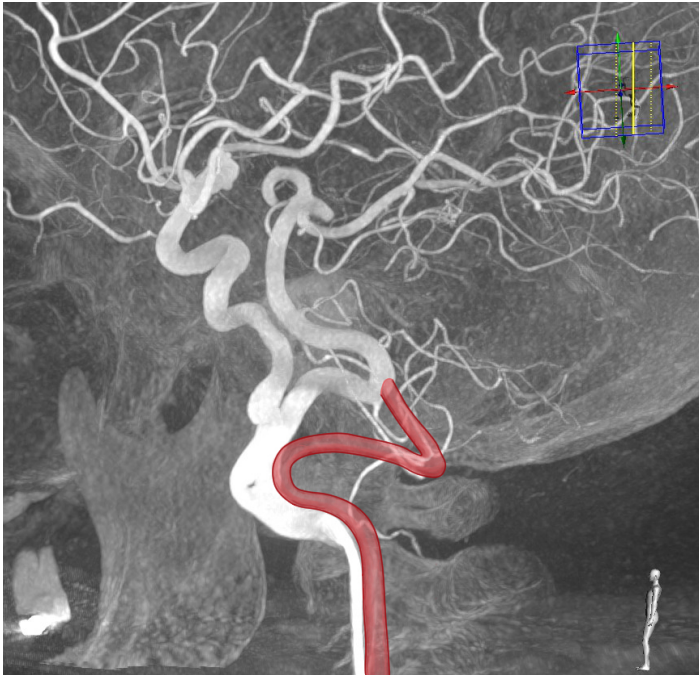


図8 Persistent primitive proatlantal intersegmental arteryの走行遺残舌下神経動脈(PTA)3次元回転撮影側面像にpersistent primitive proatlantal intersegmental artery(PPIA)の走行を描画。PPIAは大後頭孔を通過するため、PTAに比較して背側に大きく湾曲する。

前述のように、primitive proatlantal intersegmental arteryは胎生期の尾側longitudinal neural arteryの主要な栄養血管である。しかしながら、臨床的にPPIAがまれなのは不思議なことである。これは正常固体ではprimitive proatlantal intersegmental arteryが椎骨動脈水平部(V3)に分化することが理由である可能性がある²。また、primitive proatlantal intersegmental arteryは後頭動脈水平部に分化すると解釈する研究者もある⁵。その根拠として、primitive proatlantal intersegmental arteryと後頭動脈の走行の近似性、椎骨動脈と後頭動脈の吻合、後頭動脈から常に分岐するC1、2 segmental arteryの存在を挙げている(図9)。しかしながら、真のPPIAは、椎骨動脈V3部や後頭動脈水平部と異なり、dorsal aortaからatlanto-occipital portion水平部に吻合する血管であることを認識しておかなければならない(図3矢頭)³⁰。

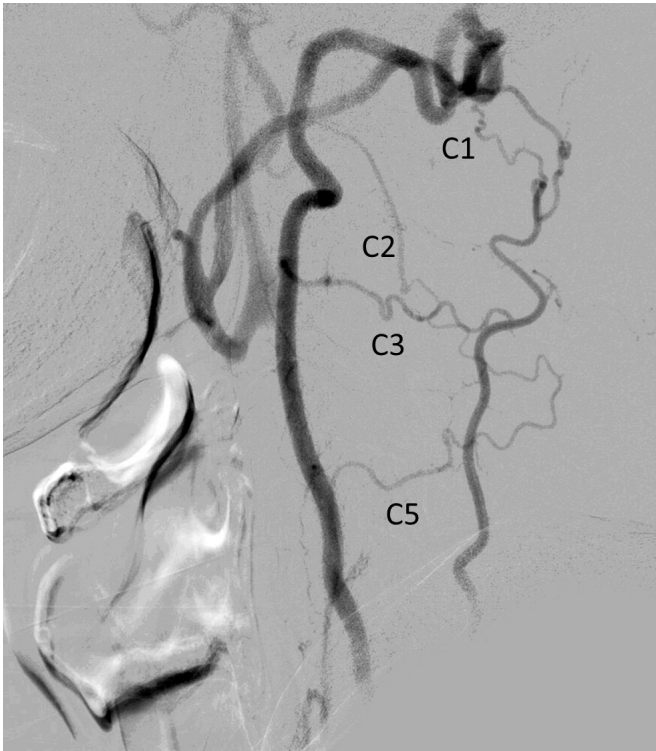


図9 頸部segmental arteries

左鎖骨下動脈撮影側面像。左総頸動脈終末部および左椎骨動脈起始部に高度狭窄症例。左後頭動脈、椎骨動脈はC1、2、3、5 segmental arteryから再構築される。後頭動脈と椎骨動脈の吻合はC1レベルで著明であり、primitive proatlantal intersegmental arteryの関与が示唆される。C2 segmental arteryも後頭動脈の再構築に関与する点に注目されたい。

臨床的には、頸動脈、椎骨動脈閉塞性疾患では後頭動脈と椎骨動脈との吻合が顕在化する（図9）。健常人の血管撮影においては、この吻合は描出されないことがある。しかしながら、後頭動脈と椎骨動脈の吻合は必ず存在するため、後頭下の塞栓術には細心の注意が必要である。

まれな原始血管吻合

画像診断技術の進歩により、以前は認識されなかった原始血管吻合が発見されるようになった⁵⁴⁻⁵⁶。Ranchodら、Ryuらは頸静脈孔を通過する頸部内頸動脈と頭蓋内椎骨動脈の吻合を報告した（図10）。両者とも上行咽頭動脈jugular branchの関与を考察した。Kirklandらは内頸動脈より

起始し、舌下神経管内側を貫通し、椎骨脳底動脈となる血管吻合を報告し、transclival arteryと呼んだ（図11）。原始血管吻合は併走する神経によって名付けられるため、併走神経を同定できれば、発生学的に興味深い。

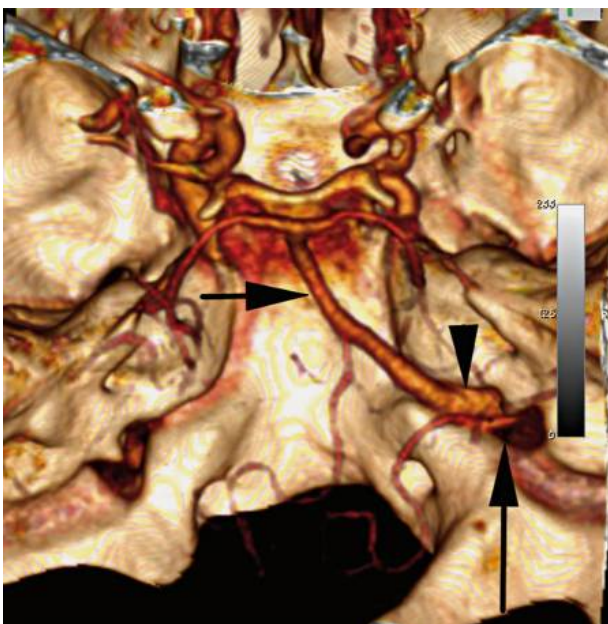


図10 頸静脈孔を通過する血管吻合

Figure 3 CT angiography (CTA) images demonstrating the transdival canal. (A) Axial and (B) reformatted sagittal CTA maximum intensity projection images showing the anomalous/persistent vessel coursing through the transdival canal/foramen (white arrows) to the left of midline and medial to the hypoglossal canal (black arrow).

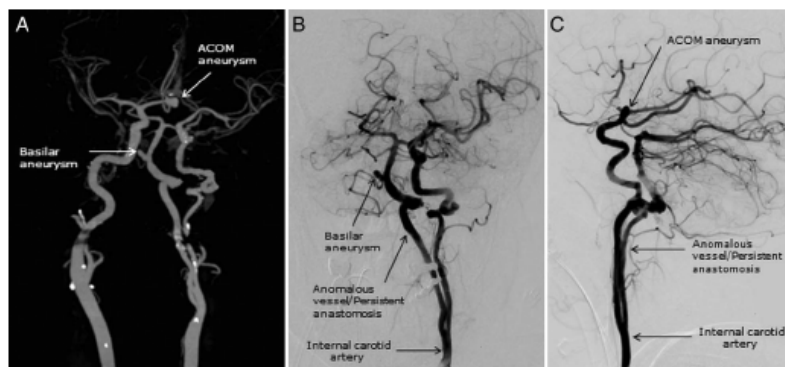
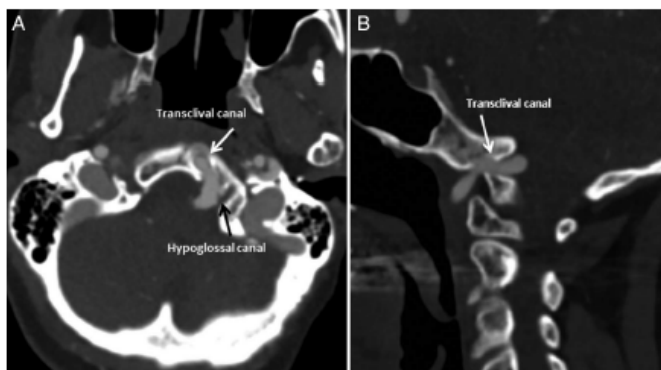


Figure 4 Labeled CT angiography (CTA) and digital subtraction angiography (DSA) images illustrating the vascular anatomy and highlighting multiple aneurysms. (A) Frontal projection CTA volume rendered image demonstrating aneurysms of the proximal vertebral and anterior communicating (ACOM) arteries (arrows). (B) Frontal and (C) lateral projection DSA images illustrating the carotid and anomalous/persistent arterial anatomy and confirming the proximal basilar and ACOM artery saccular aneurysms.

図11 舌下神経管内側を通過する血管吻合

References:

1. Padget DH: The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contrib Embryol* 32: 205-261, 1948
2. Padget DH: Designation of the embryonic intersegmental arteries in reference to the vertebral artery and subclavian stem. *Anat Rec* 119: 349-356, 1954
3. Evans HM: The development of the vascular system, in Keibel F, Mall FP (eds): *Manual of Human Embryology*. Philadelphia & London, J.B. Lippincott, 1910, vol 2 pp 570-709
4. De Vriese B: Sur la signification morphologique des arteres cerebrales. *Arch de Biol* 21: 357-457, 1905
5. Lasjaunias P, Berenstein A, Ter Brugge KG: The pharyngo-occipital system. in Lasjaunias P, Berenstein A and Ter Brugge KG (eds): *Surgical Neuroangiography, Volume 1, Clinical Vascular Anatomy and Variations*, ed 2. Berlin, Springer-Verlag, 2001, pp 165-224
6. Muller F, O'Rahilly R: Segmentation in staged human embryos: The occipitocervical region revisited. *J Anat* 203: 297-315, 2003
7. Sadler TW: *Langman's medical embryology*, ed 11. Baltimore, Lippincott Williams & Wilkins, 2010
8. O'uchi E, O'uchi T: Persistent primitive trigeminal arteries (PTA) and its variant (PTAV): analysis of 103 cases detected in 16,415 cases of MRA over 3years. *Neuroradiology* 52: 1111-1119, 2010

9. Uchino A, Saito N, Okada Y, Kozawa E, Mizukoshi W, Inoue K, Takahashi M: Persistent trigeminal artery and its variants on MR angiography. *Surg Radiol Anat* 34: 271-276, 2012
10. Salas E, Ziyal IM, Sekhar LN, Wright DC: Persistent trigeminal artery: an anatomic study. *Neurosurgery* 43: 557-561, 1998
11. Yamada M, Kodama K, Kawai K, Okamoto K: [The anterior inferior cerebellar artery as a branch of the internal carotid artery – its relation to the trigeminal artery]. *Kaibogaku Zasshi* 58: 112, 1983 (Japanese)
12. Inoue T, Rhoton AL Jr, Theele D, Barry ME: Surgical approaches to the cavernous sinus: a microsurgical study. *Neurosurgery* 26: 903-932, 1990
13. Kida MY, Ishida H, Dodo Y, Ikeda K, Kobayashi D, Nonaka M: [A case of the persistent trigeminal artery]. *Sapporo Med J* 59: 429-633, 1990 (Japanese)
14. Ooshiro S, Inoue T, Hamada Y, Matsuno H: Branches of the persistent primitive trigeminal artery – an autopsy case. *Neurosurgery* 32: 144-148, 1993
15. Suttner N, Mura J, Tedeschi H, Ferreira MA, Wen HT, de Oliveira E, Rhoton AL Jr: Persistent trigeminal artery: a unique anatomic specimen – analysis and therapeutic implications. *Neurosurgery* 47: 428-434, 2000
16. Arakawa T, Koizumi M, Terashima T, Honma S, Kawai K, Kodama K, Miki A: Two anatomical autopsy cases of direct communication between a persistent primitive trigeminal artery and an anterior inferior cerebellar artery. *Ann Anat* 189: 489-498, 2007
17. Tubbs RS, Shoja MM, Salter EG, Oakes WJ: Cadaveric findings of persistent fetal trigeminal arteries. *Clinical Anatomy* 20: 367-370, 2007
18. Lasjaunias P, Berenstein A, Ter Brugge KG: The cavernous sinus region. in Lasjaunias P, Berenstein A and Ter Brugge KG (eds): *Surgical Neuroangiography, Volume 1, Clinical Vascular Anatomy and Variations*, ed 2. Berlin, Springer-Verlag, 2001, pp 387-425
19. Morita A, Fukushima T, Miyazaki S, Shimizu T, Atsuchi M: Tic douloureux caused by primitive trigeminal artery or its variant. *J Neurosurg* 70: 415-419, 1989
20. Tamura Y, Shimano H, Kuroiwa T, Miki Y: Trigeminal neuralgia associated with a primitive trigeminal artery variant: case report. *Neurosurgery* 52: 1217-1219, 2003
21. Yamada Y, Kondo A, Tanabe H: Trigeminal neuralgia associated with an anomalous artery originating from the persistent primitive trigeminal artery. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 46: 194-197, 2006
22. Bosco D, Consoli D, Lanza PL, Plastino M, Nicoletti F, Ceccotti C: Complete oculomotor palsy caused by persistent trigeminal artery. *Neurol Sci* 31: 657-659, 2010
23. Meckel S, Spittau B, McAuliffe W: The persistent trigeminal artery: development, imaging anatomy, variants, and associated vascular pathologies. *Neuroradiology* 55: 5-16, 2013
24. Metry D, Heyer G, Hess C, Garzon M, Haggstrom A, Frommelt P, Adams D, Siegel D, Hall K, Powell J, Frieden I, Drolet B: Consensus statement on diagnostic criteria for PHACE syndrome. *Pediatrics* 124: 1447-1456, 2009
25. Tomsick TA, Lukin RR, Chambers AA: Persistent trigeminal artery: unusual associated abnormalities. *Neuroradiology* 17:253-257, 1979
26. Reynolds AF, Jorgen S, Turner PT: Persistent otic artery. *Surg Neurol* 13: 115-117, 1980
27. Luh GY, Dean BL, Tomsick TA, Wallace RC: The persistent fetal carotid-vertebrobasilar anastomoses. *AJR Am J Roentgenol* 172: 1427-1432, 1999
28. Patel AB, Gandhi CD, Bederson JB: Angiographic documentation of a persistent otic artery. *AJNR Am J Neuroradiol* 25: 160-162, 2003
29. Zhang CW, Xie XD, Yang ZG, Wang CH, You C, Mao BY, He M, Sun H: Giant cavernous aneurysm associated with a persistent trigeminal artery and persistent otic artery. *Korean J Radiol* 10: 519-522, 2009
30. Raybaud C: Normal and abnormal embryology and development of the intracranial vascular system. *Neurosurg Clin N Am* 21:399-426, 2010

31. Bhattacharya JJ, Lamin S: Otic or Mythic? *AJNR Am J Neuroradiol* 25: 160-161, 2003
32. Osbourne A: *Diagnostic Cerebral Angiography*, ed 2. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 1999
33. Brimar J: Persistent hypoglossal artery, diagnostic criteria. Report of a case. *Acta Radiol Diagn (Stockh)* 17: 160-166, 1976
34. Uchino A, Saito N, Okada Y, Kozawa E, Nishi N, Mizukoshi W, Inoue K, Nakajima R, Takahashi M: Persistent hypoglossal artery and its variants diagnosed by CT and MR angiography. *Neuroradiology* 55: 17-23, 2013
35. Welten RJ, Eikelboom BC, Ackerstaff RG, Ludwig JW: A persistent hypoglossal artery arising from the external carotid artery. *Eur J Vasc Surg* 2: 269-272, 1988
36. Nakamura M, Kobayashi S, Yoshida T, Kamagata M, Sasaki T: Persistent external carotid-vertebrobasilar anastomosis via the hypoglossal canal. *Neuroradiology* 42: 821-823, 2000
37. Meguro T, Terada K, Hirotsune N, Nishino S, Asano T: Unusual variant of persistent primitive hypoglossal artery. *Br J Radiol* 80: e314-e316, 2007
38. Lee EJ, Chang HW, Cho CH, Kim E, Lee SK, Kwon JH: Rare variant of persistent primitive hypoglossal artery in magnetic resonance angiography. *Surg Radiol Anat* 32: 801-804, 2010
39. Uchino A, Saito N: Persistent hypoglossal artery arising from the external carotid artery diagnosed by MR angiography. *Surg Radiol Anat* 33: 543-545, 2011
40. Nanto M, Takado M, Ohbuchi H, Mandai A, Osaka Y, Nakahara Y: Rare variant of persistent primitive hypoglossal artery, arising from the external carotid artery. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 52: 513-515, 2012
41. Sabouri S, Ebrahimzadeh, Rahimian N: Unusual variant of persistent primitive hypoglossal artery diagnosed by CT angiography: a case report and literature review. *Clin Neuroradiol* 24: 59-63, 2014
42. Murayama Y, Fujimoto N, Matsumoto K: Bilateral persistent primitive hypoglossal arteries associated with a large ruptured aneurysm on one side. *Surg Neurol* 24: 498-502, 1985
43. Andoh K, Tanohata K, Moriya N, Hagiwara H, Lee J, Sato M, Yoshida T, Nagashima T: The posterior inferior cerebellar artery arising from the extracranial segment of the internal carotid artery via the hypoglossal canal without an interposed segment of the basilar artery: a persistent primitive hypoglossal artery variant. *Clin Imaging* 25: 86-89, 2001
44. Lasjaunias P, Guibert-Tranier F, Braun JP: The pharyngo-cerebellar or ascending pharyngeal artery origin of the posterior inferior cerebellar artery. *J Neuroradiol* 8: 317-325, 1981
45. Kim JT, Heo SH, Lee SH, Choi SM, Park MS, Kim BC, Yoon W, Kim MK, Cho KH: An uncommon anastomosis of the posterior inferior cerebellar artery and the external carotid artery with the patent vertebrobasilar system. *Br J Radiol* 82: e171-e174, 2009
46. Resche F, Resche-Perrin I, Roert R, De Kersaint-Gilly A, Duveau D, Lajat Y. The hypoglossal artery. A new case report – review of the literature. *J Neuroradiol* 7: 27-43, 1980
47. Ouriel K, Green RM, DeWeese JA: Anomalous carotid-basilar anastomoses in cerebrovascular surgery. *J Vasc Surg* 7: 774-777, 1988
48. Pyun HW, Lee DH, Kwon SU, Lee JH, Choi CG, Kim SJ, Suh DC: Internal carotid artery stenosis with ipsilateral persistent hypoglossal artery presenting as a multiterritorial embolic infarction: a case report. *Acta Radiol* 48: 116-118, 2007
49. Kanazawa R, Ishihara S, Okawara M, Ishihara H, Kohyama S, Yamane F: A successful treatment with carotid arterial stenting for symptomatic internal carotid artery severe stenosis with ipsilateral persistent primitive hypoglossal artery: case report and review of the literature. *Minim Invasive Neurosurg* 51: 298-302, 2008
50. Elhammady MS, Baskaya MK, Sonmez OF, Morcos JJ: Persistent primitive hypoglossal artery with retrograde flow from the vertebrobasilar system: a case report. *Neurosurg Rev* 30: 345-349, 2007

Niche Neuro-Angiology Conference 2017

51. Pasco A, Papon X, Bracard S, Tanguy JY, Ter Minassian A, Mercier P: Persistent carotid-vertebrobasilar anastomoses. How and why differentiating them? *J Neuroradiol* 31: 391-396, 2004
52. Lasjaunias P, Theron J, Moret J: The occipital artery. *Neuroradiology* 15: 31-37, 1978
53. Hutchinson NA, Miller DR: Persistent proatlantal artery. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 33: 524-527, 1970
54. Ranchod AI, Gora S, Swartz RN, Andronikou S, Mngomezulu V: A rare carotid-basilar anastomosis traversing the jugular foramen: origin and clinical implications. *Interv Neuroradiol* 17: 347-350, 2011
55. Ryu B, Anami H, Ishikawa T, Inoue T, Sugiura M, Kawamata T: Extremely rare persistent primitive artery passing through the jugular foramen with symptomatic ipsilateral carotid artery stenosis. *Acta Neurochir* 158: 1925-1929, 2016
56. Kirkland JD, Dahlin BC, O'Brien WT: The transclival artery: a variant persistent carotid-basilar arterial anastomosis not previously reported. *J NeuroIntervent Surg* Published Online First: [accessed 22 December 2016] doi: 10.1136/neurintsurg-2016-012464.rep