

椎骨脳底動脈系の発生、解剖、バリエーション

Embryology, anatomy and variation of vertebro-basilar artery system

川崎医科大学脳神経外科 松原俊二

Shunji Matsubara MD

Department of Neurosurgery, Kawasaki Medical School

Key words: vertebral artery, basilar artery, variation, embryology

I) 原始大動脈弓、頸部血管の発生

大動脈は原始心臓と同時期に発達し、前腸の腹側で原始心臓から連続する1本の腹側大動脈(ventral aorta: VA)と前腸の背側を下行する一対の背側大動脈(dorsal aorta: DA)からなる。VAとDA間には左右6対の原始大動脈弓(primitive aortic arch)通称鰓弓動脈(branchial arch)が形成される(1)。第1, 第2, 第5大動脈弓は消失し、第3大動脈弓は総頸動脈、内頸動脈起始部を形成する。第4大動脈弓は、左側が大動脈弓の一部、右側が右鎖骨下動脈起始部になり、第6大動脈弓からは肺動脈、動脈管が形成される(2)。

II) 椎骨動脈 (VA)

発生：頸部において第1-7頸部節間動脈の枝はそれぞれ吻合し、より複雑なパターンの血管になる(3, fig 1)。各体節間動脈はやがて体軸(extradural paramedian longitudinal axis)方向に連絡を持ち、椎骨動脈が形成されるようになる(4, fig 2)。これは脳底動脈へと発展するmedian longitudinal axis上のventral longitudinal arteryと、lateral longitudinal artery (primitive lateral basilar-vertebral anastomosis)でつながりVB systemが構成される(5, fig 3)。

走行とvariation：鎖骨下動脈から椎骨動脈の第6頸椎の横突孔に入るまでをV1 segment、横突起内の部分をV2 segment、第1頸椎の横突孔から出た後の硬膜外の部分をV3 segment、硬膜内をV4 segmentと呼ぶ。椎骨動脈の入る横突孔のレベルはC6が最も多く93%であり、C3, C4, C5, C7ではそれぞれ0.2%, 1.0%, 5.0%, 0.8%である(6)。これは第1~第6 segmental arteryが退縮し、第7 segmental arteryが鎖骨下動脈になるからである。上位頸椎レベルでfenestrationを形成することがしばしば見られるが、この場合、内1本が硬膜内走行をすることがある(4)。頭蓋内レベルのfenestrationはVAに限局するタイプ(VA duplication)、VA unionを跨ぐようにshort segmentで窓形成するタイプ(premedullary duplication of VA)、long segmentで窓形成するタイプ(persistent primitive lateral vertebrobasilar anastomosis: PPLVB)の報告がある(7, fig 4)。

起始部のvariation：また椎骨動脈には起始部に様々なvariationが存在している。通常両側とも鎖骨下動脈から分岐するが(83.12%)、thyrocervical trunkから2cm以上内側から分岐するタイプ(8.37%)、thyrocervical trunkと共通幹もしくは遠位から分岐するタイプ(3.03%)、大動脈から左VAが分岐するタイプ(2.46%)、総頸動脈から右VAが分岐するタイプ(0.28%)、そしてdual originのタイプ(0.72%)が知られている(5, fig 5)。

分枝：椎骨動脈からは根髄動脈、前硬膜動脈(odontoid artery)、後硬膜動脈、後下小脳動脈、前脊髄動脈が分岐する。前脊髄動脈はV4から起こり、延髄前面を内下方へ走行し左右が合流し延髄錐体、延髄被蓋内側部を栄養し、後脊髄動脈はPICAから起こり延髄後面を下行し、延髄被蓋背側を栄養する(8)。

吻合：様々な血管との潜在的な吻合があり、上行頸動脈とC3/4間で、深頸動脈はC2/3, 3/4間で、上行咽頭動脈はC3/4間で、後頭動脈とはC1/2間で吻合を持つことが多い(4)。これらは、椎骨動脈閉塞時の重要な側副血行路になる。

III) 後下小脳動脈 PICA

近位部からanterior medullary segment, lateral medullary segment, posterior medullary segment, supratonsillar segment(televelotonsillar segment), cortical segmentの5部位に分類されている。最終的にはvermis branchとtonsillohemispheric branchに分岐し終わる。PICAの走行は側面からみると下方に凸(caudal loop)、その後上方に凸(cranial loop)となっているのが特徴である。Cranial loopからは第四脳室脈絡叢に分岐し延髄背面小脳扁桃前縁を示す(choroidal point)。PICAの起始部は大孔より頭側(57%)、大孔部(4%)、大孔部より尾側(18%)とされる(4)とされる。4-26%でPICAは認められない場合があるが(9)、その場合にはAICAからの血流で小脳下面が還流される。また対側PICAからの血流がくる場合や、AICAとPICAが共通幹をとることもある。PICA末梢を治療で意図的に閉塞させても、小脳梗塞が発生しない場合があるのは、このような側副血行路が発達している背景がある。しかしWallenberg症候群の責任血管である穿通枝は、皮質枝と違って側副血行がなく、血管撮影でも把握しにくい場合しばしば臨床問題となる。延髄外側への穿通枝はVA(31%)、PICA(22%)、AICA(20%)、BA 16%、これら全て11%から分岐するとされている(10)。

(IV) 脳底動脈 (BA)

発生：脳底動脈の原器である1対のventral longitudinal arteryは、先に発達した前方循環系と吻合し(原始吻合:carotid-basilar anastomoses)血流を受けている。しかし発達するにつれこの吻合血管は消失していく。原始吻合が退縮していくに従って、1対のventral longitudinal arteryが正中で癒合し、1本のはっきりした脳底動脈として形成される。この時に癒合プロセスが不完全であった場合に脳底動脈窓形成となる。

走行とサイズ：橋延髄溝近傍で左右の椎骨動脈が合流し上行し、前下小脳動脈と上小脳動脈を分岐、後大脳動脈を出して終わる。脳底動脈の長さは日本人では25-30mm、caucasianでは25-39mm、径は2.7-4.3mmで性別や身長とは関係がない(5)。

窓形成：頻度は0.064-0.6%で(4)、動脈瘤を伴うこともあるが、ほとんどが近位部1/3に発生する(figure 6)。縦走神経動脈が全く癒合せず、脳底動脈が2本認められる重複脳底動脈の報告も稀ながら存在する。また亜型として脳底動脈自体は1本であるが、内腔が縦走する隔膜(septum)によって二分されている血管異常の報告もある(11)。小さな窓形成は見逃されることがあるため、特に治療の際には注意が必要である。頻度に関してMRAの検討では窓形成1.29%、二カ所の窓形成0.018%(12)、autopsyの検討では1.3-5.3%と少しそれよりも高い(5)。

Basilar bifurcationの分岐パターン

- ①Symmetrical cranial fusion
- ②Symmetrical caudal fusion
- ③Asymmetrical caudal fusion

大きく分けて3つに分類される。すなわちBAからP1の分岐角度が左右対称かどうか、またbifurcation pointが頭側か、尾側かである。頭側で分岐するものはT字、尾側で分岐するものはY字を呈する。SCAはBAから分岐するタイプとP1から分岐するタイプがある。(13, fig. 7)

(V) 前下小脳動脈AICA

脳底動脈から外側尾側へ向い小脳橋角部に至る。小脳橋角部で外側枝(lateral branch)と内側枝(medial branch)に分かれる。外側枝は内耳孔の背側でループを形成する(meatal loop)。内耳孔内の脳神経を栄養する内耳動脈(internal auditory artery)はこのmeatal loopまたはAICA本幹から分岐する(14)。またsubarcuate arteryを分岐し、subarcuate fossaから側頭骨内へ入り、三半規管周囲を栄養し、middle meningeal arteryのpetrosal branch、occipital Aのmastoid branch、stylomastoid Aと吻合する。Duplicationは17-36%で認められる(4)。

(VI) 上小脳動脈 SCA

走行部位から3つに分類される。すなわち①橋前部(anterior pontine segment):脚間槽を脳底動脈から分岐後、橋外側縁まで ②迂回槽部(ambient segment): 橋外側部から背側へ向きを変え、迂回槽内を走行する部分 ③四丘体部(quadrigeminal segment): 四丘体槽内を走行し、中脳視蓋後面に達するまでである。橋前部～迂回槽部から複数本の半球枝が分岐し、小脳前面から上面に分布する。この部分からは一部中脳への穿通枝も分岐する(14)。

Duplicationのように見える場合には、distal 側SCAはmedial division(rostral trunk)として下丘、上小脳脚、小脳虫部へ、proximal側のSCAはlateral division(hemispheric branch)として小脳皮質と歯状核へ分布する(15)。一側のduplicationが28%、両側duplicationが8%、trifurcationが2%で認められる(4)

参考文献

1. 田中美千裕 系統発生学から読み解く脈管学と血管障害 Jpn J Neurosurg (Tokyo) 2017, 26 supplement 2: 128-136
2. Sadler TW, 第13章心臓脈管系 脈管の発生 ラングマン人体発生学第11版(原著第13版) 2016, 209-218
3. Schoenwolf GC, Bleyl SB, Brauer PR, Francis-West PH, ラーセン人体発生学 第4版、2013、西村書店、東京、323-364
4. 小宮山雅樹 脳脊髄血管の機能解剖、2007、メディカ出版 大阪、180-227
5. Newton TH, Potts DG, Radiology of the skull and brain ANGIOGRAPHY Vol 2 arteries, 1974, C.V. Mosby Company, Saint Louis, 1659-1795
6. Bruneau M, Cornelius JF, Marneffe V, Triffaux M, Gerorge B: Anatomical variations of the V2 segment of the vertebral artery. Neurosurgery 59 (1 suppl 1):2006,ONS20-4
7. Yagi K, Satoh K, Satomi J, Naghiro S, Primitive vertebrobasilar system associated with a ruptured aneurysm, AJNR 2004, 25, 781-783
8. 宮坂和男 脳血管テント下 動脈系の解剖 脳・脊髄血管造影マニュアル 1997,南江堂、東京、120-129
9. Lasjaunias P, Berenstein A, TerBrugge K.G. The Posterior Inferior Cerebellar Artery, Surgical Neuroangiography Vol 1, Clinical vascular anatomy and variations, 2nd edition, 2001, Springer, 246-252,
10. Krayenbühl H, Yasargil MG Die vaskulären Erkrankungen im Gebiet der arteria vertebralis und arteria basilis: eine anatomische und pathologische. Klinische und Neuroradiologische Studie. 1957, Thieme, Stuttgart
11. 田之畑一則 脳・頭頸部血管のNormal Variations, 2000,メジカルビュー社、東京、88-90
12. Sogawa K, Kikuchi Y, Ouchi T, Tanaka M, Inoue T : Fenestrations of the Basilar Artery demonstrated on Magnetic Resonance Angiograms: an Analysis of 212 Cases Interventional neuroradiology. 2013, Dec 20;19(4):461-465
13. Lasjaunias P, Berenstein A, Functional vascular anatomy of brain, spinal cord, Surgical Neuroangiography vol 3, 1990, Springer, 206-207
14. 太田富雄 脳血管撮影法 脳神経外科第12版, 2016, 金芳堂、京都, 413-451
15. 田中美千裕 椎骨・脳底動脈・PCA・PICAからの穿通枝 穿通枝梗塞を回避するために 第30回NPO法人日本脳神経血管内治療学会学術総会CEPテキスト 2014, 107-112

Figure legend

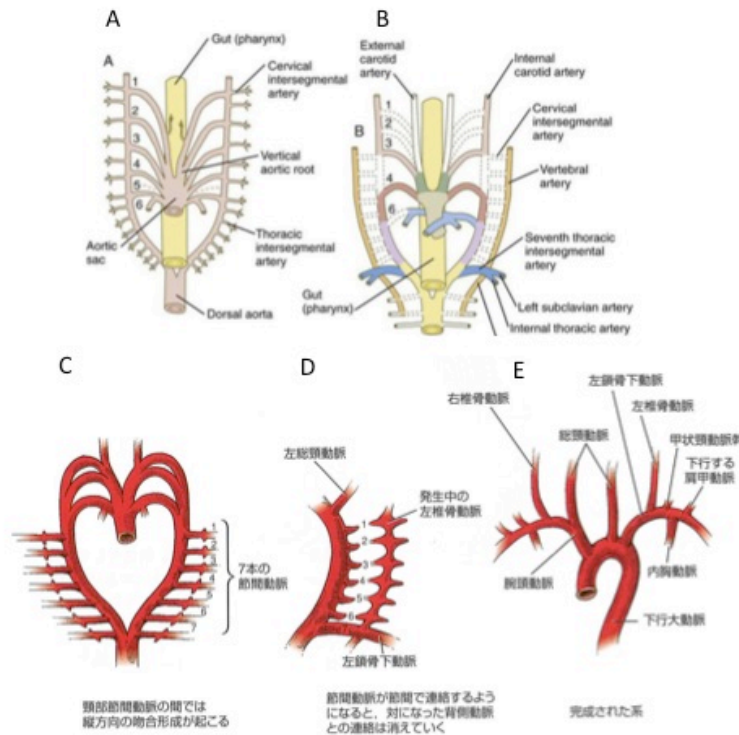


Figure 1 左右6対の原始大動脈弓が形成された後、第1, 2, 5大動脈弓は消失し、第3大動脈弓が総頸動脈、内頸動脈起始部を形成する(A,B). 一方頸部において、第1-第7節間動脈の枝は縦方向に連結し、背側大動脈との連絡は消失していく。これが脳底動脈とつながって後方循環系が構築される。文献3より

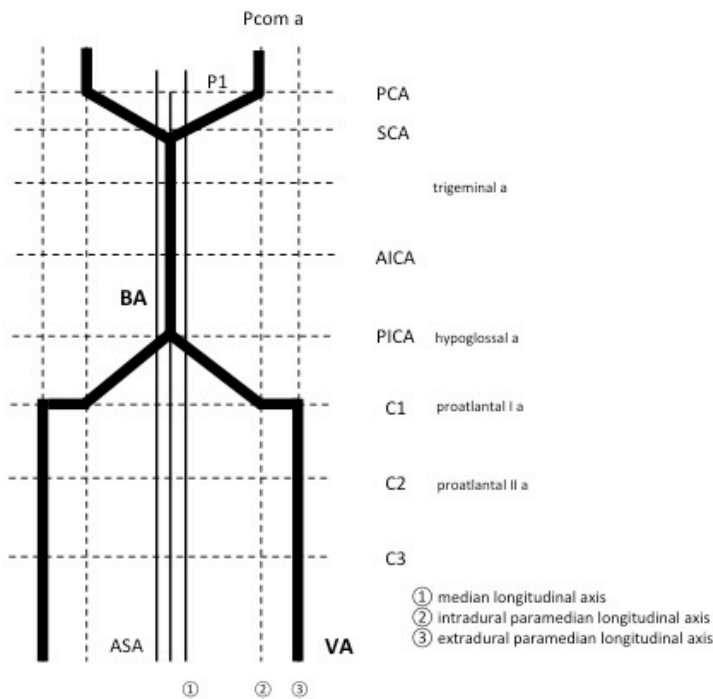


Figure 2 脳底動脈は最も内側にあるmedian longitudinal axisで左右のventral longitudinal artery (縦走神経動脈) が癒合して形成される。硬膜外椎骨動脈は最も外側にあるextradural paramedian longitudinal axisで節間動脈が上下で結合しながら形成される。文献4, Fig.5.2-1を改変

Figure 3

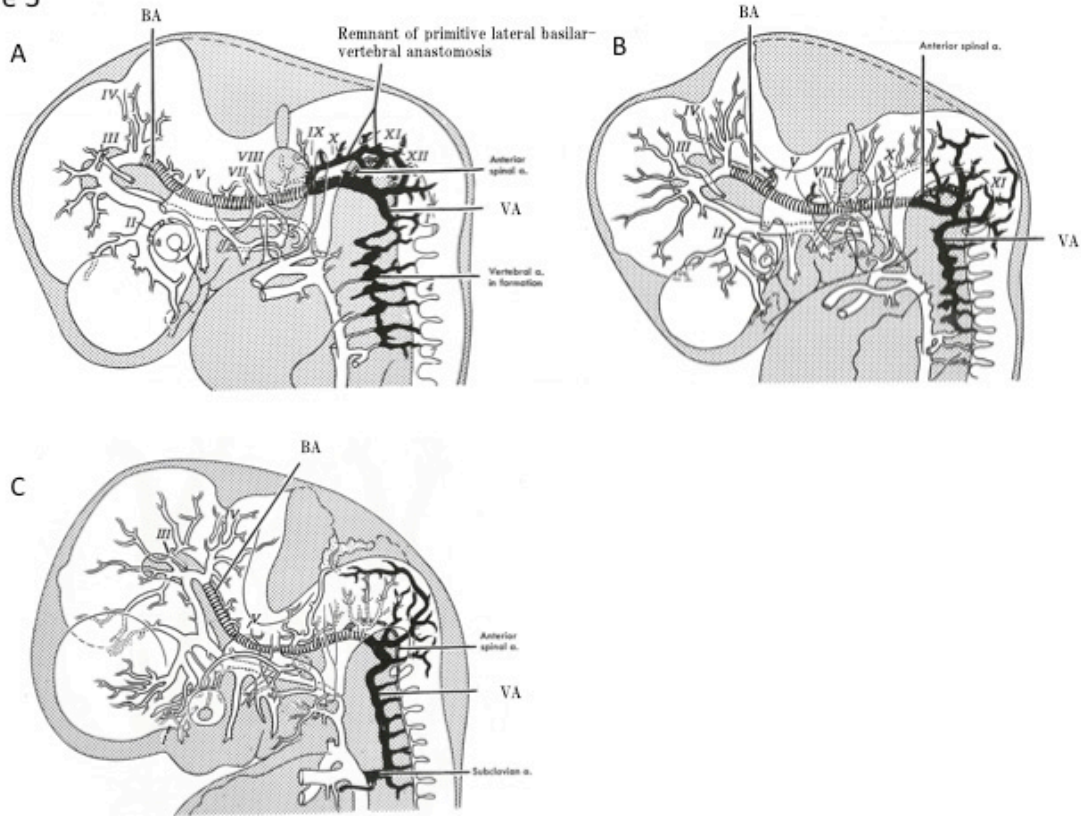


Figure 3 胎児における椎骨動脈の形成 A(9mm)：先に脳底動脈が発達し、椎骨動脈はまだ不明瞭であるが、このころ脳底動脈と椎骨動脈が細い血管で吻合している(primitive lateral basilar-vertebral anastomosis) B(12.5mm): 椎骨動脈が徐々に発達し、anastomosisは消退していく. C (18mm): 椎骨動脈は鎖骨下動脈から順行性の血流が供給される. 文献5, Fig 67-1より

Figure 4

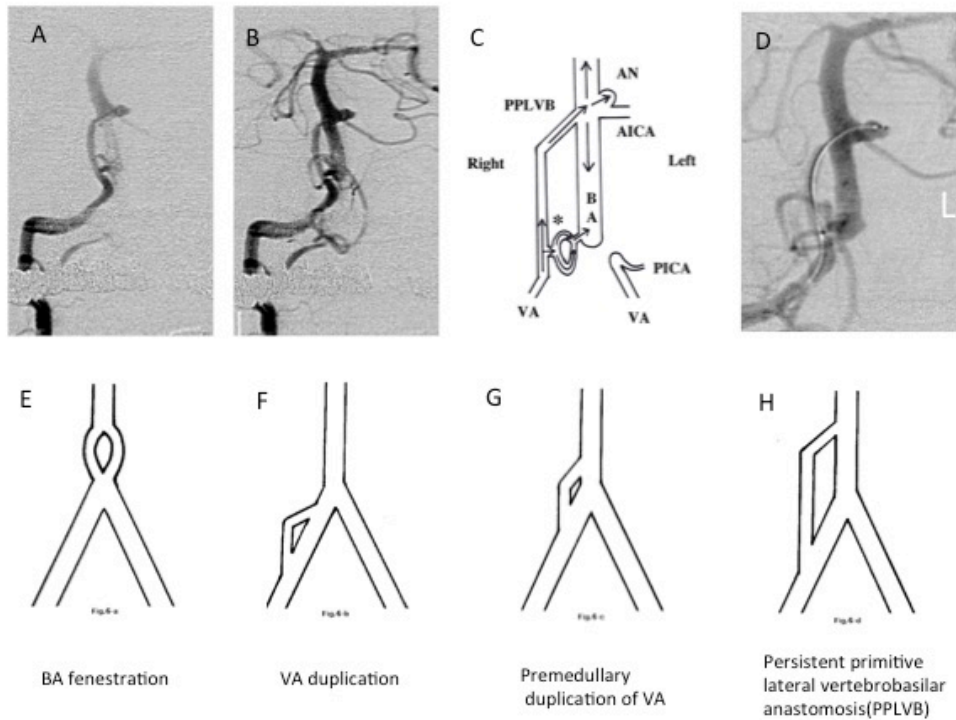


Figure 4 Persistent primitive lateral vertebrobasilar anastomosisの症例、62歳男性、くも膜下出血で発症。A, B: 右VAG正面像で脳底動脈-左AICA分岐部動脈瘤を認めた。右VAからBA結合部は低形成であった。血流は主に脳底動脈の右外側を並行に走行する発達した側副血行路(persistent primitive lateral vertebrobasilar anastomosis: PPLVB)を通っていた。C:本症例のシエマ。左VAはPICA以遠が低形成であった。D: PPLVB経由でマイクロカテーテルを瘤内へ誘導し、コイル塞栓術を施行した。E-H:頭蓋内椎骨脳底動脈系におけるduplicationもしくはfenestration。文献7より

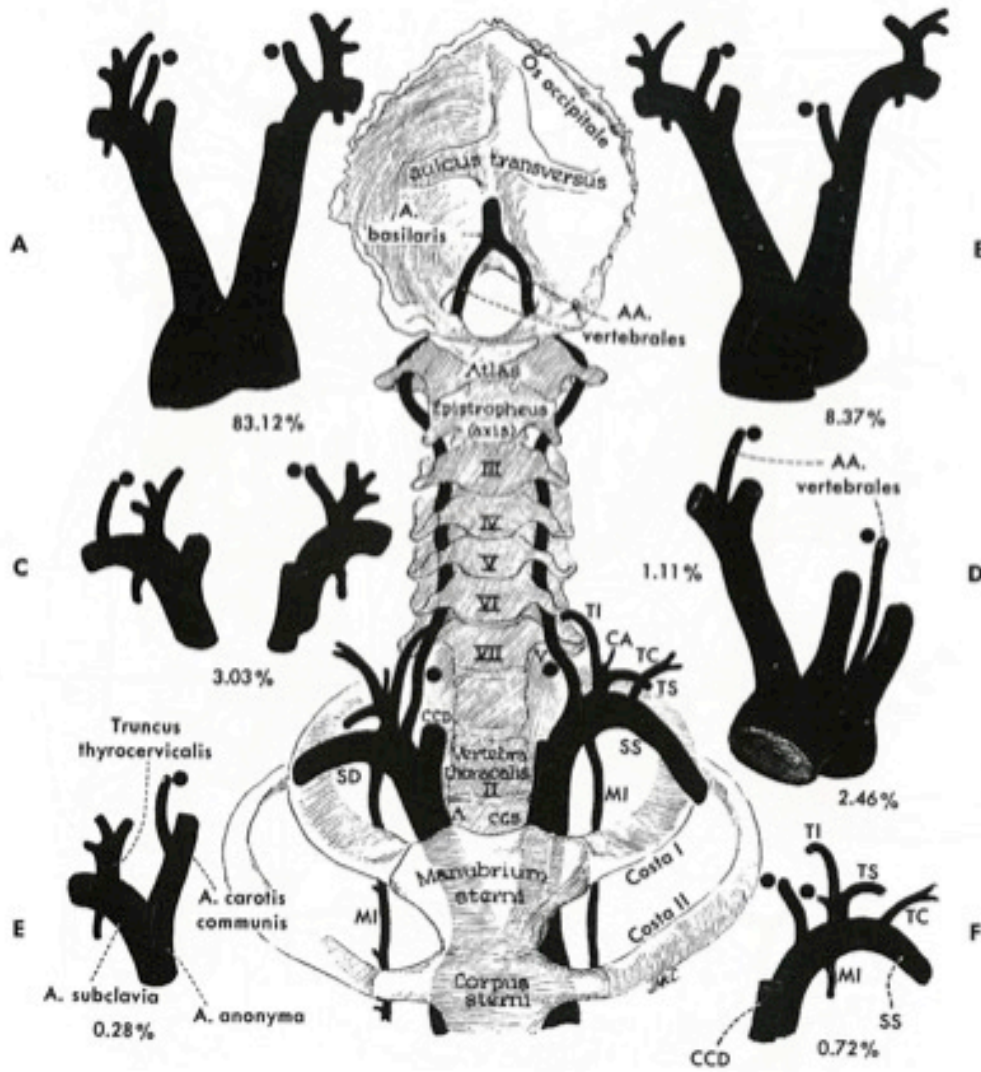


Figure 5 椎骨動脈起始部の正常バリエーション A: thyrocervical trunkから0.5-2cm内側の鎖骨下動脈から分岐 B: thyrocervical trunkから2cm以上内側の鎖骨下動脈から分岐 C: thyrocervical trunkより外側の鎖骨下動脈から、もしくはthyrocervical trunkから直接分岐 D: 左VAは大動脈弓から直接分岐、右VAは無名動脈分岐部から分岐 E: 右VAは右総頸動脈から分岐 F: dual or accessory VA 文献5, Fig 67-2より

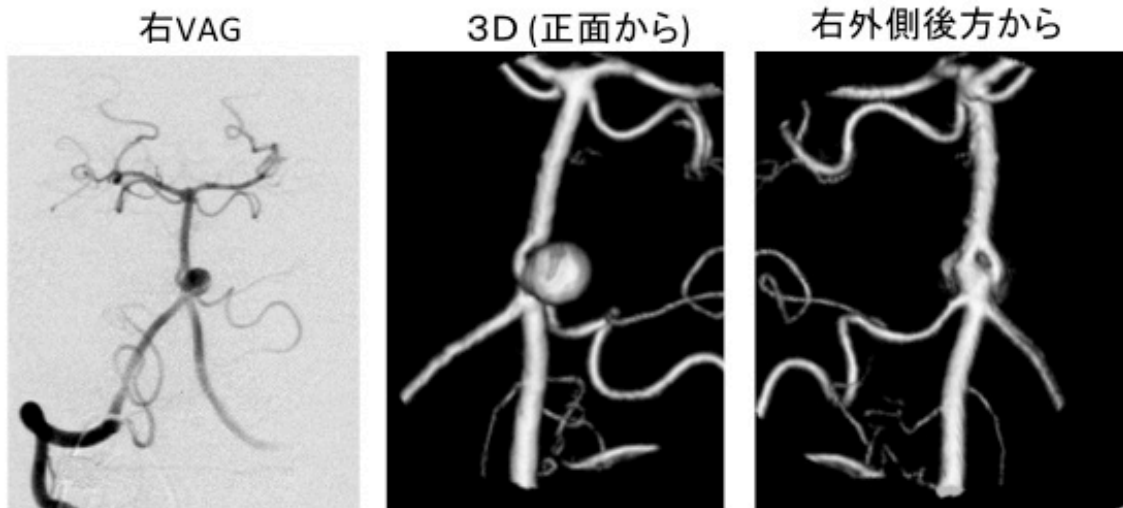


Figure 6 56歳男性、未破裂脳底動脈瘤の症例。右VAGでは脳底動脈近位部に左前向き動脈瘤を認める(A)。3D撮影ではshort segmentでfenestrationが確認され、ネックは左legの5時方向に認められた(B)。右外側後方から見ると窓形成がよく把握できる(C)。

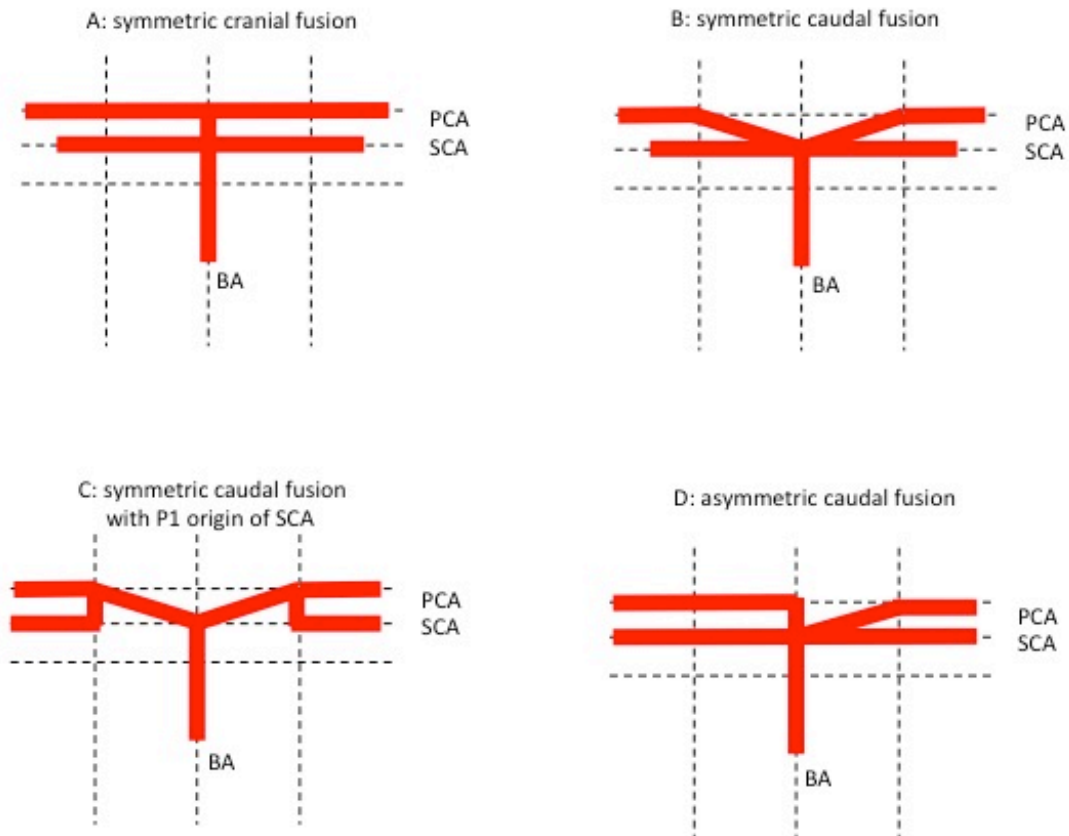


Figure 7 BA bifurcationのバリエーション A: 左右対称的にPCAが分岐し、T字型を呈する B: 左右対称的にPCAが分岐するが、bifurcationがより尾側であるため、Y字型となる。 C: 左右対称的にPCAが分岐しているが、SCAがP1から分岐している。 D: 片側のみcaudal fusionとなっており、左右が非対称のパターン 文献13, Fig 6.19-20を改変