

Dural sinusのarterial territories

大分大学 放射線科

清末一路

Dural sinusのarterial supplyに関しては、成書には詳細な記載はなく、また筆者の知りかぎりでは包括的な研究報告も見られない。本抄録の内容は筆者の限られた経験と推測に基づくものであり、すべての記述が正しいとは限らないことを念頭に置いていただきたい。

Dural sinusのarterial supplyはdural sinusとそれに供血しうる動脈との解剖学的位置関係に従い、部位ごとにある程度決まっているが、動脈間の吻合や発達程度などにより各々の症例により少しずつ異なる。これらの基本的な知識はdural sinusおよびその近傍の動静脈シャントや多血性腫瘍の塞栓術の際に供血路の同定やshunted pouchの位置の推定などに有用である。

硬膜および硬膜静脈洞への供血動脈としてはepidural arteryがprimary arteryであり、比較的大きな頭蓋底の孔を通り頭蓋内に入り硬膜に分布する。その主なものは棘孔を通るmiddle meningeal artery (MMA)であり、最も広範囲の硬膜・硬膜静脈洞に供血する。その他のepidural arteryとして後頭蓋窩では、ascending pharyngeal (APA)のjugular branch, hypoglossal branch, occipital artery (OA)のjugular branch、mastoid branch、vertebral arteryのposterior meningeal artery (PMA)などがあり、中頭蓋窩ではaccessory meningeal artery (AMA), artery of foramen rotundum (AFR), artery of superior orbital fissure (ASOF), APAのcarotid branch、ophthalmic artery(OPA)のrecurrent meningeal artery、およびそれらと潜在的な吻合を有するinferolateral trunkの各分枝などが挙げられる。その他頭蓋正中部ではanterior falcine arteryやposterior meningeal arteryが供血する(図1)。またsecondary arteryとして骨や表在軟部組織を栄養するsuperficial arteryも硬膜・硬膜静脈洞に潜在的に供血するが、それらはsuperficial temporal artery (STA)やOA, posterior auricular artery (PAA)などの骨枝から構成される。さらに、頻度は下がるがACAやMCAなどの皮質枝からのdural/meningeal branchも硬膜(静脈洞)への潜在的供血路となり得る。

以下に主な静脈洞とそのarterial territoryについて各々の部位ごとに代表的な症例を提示するとともに概説する。

1. 上矢状静脈洞(superior sagittal sinus: SSS)

SSSは胎生期のanterior dural plexusの前方末梢側が大脳半球の発達に伴い正中部で融合し、かつ一側が消滅することにより形成される。大脳外側および内側面からの皮質静脈がbridging veinを介して流入し、sinus confluenceにて左右の横静脈洞(transverse sinus: TS)に移行する。また脳静脈以外にもfalx内の小静脈(falcine vein, falcine sinus)や骨内のdiploic veinや骨を通過するemissary vein,硬膜外のepidural veinなどとも交通を有する。発達時のplexusの融合・消滅の程度によって、duplicationやfenestration、accessory sinusなどのvariationを示す。

SSSへの動脈分布としてはmiddle meningeal arteryの終末枝でありSSS外側壁に分布するparamedian branchがSSS全体に分布するとともに前方部では篩骨動脈から鶏冠部(crista galli)で起始し前頭骨正中を上行するanterior falcine arteryが、後方部では椎骨動脈より起始するposterior meningeal arteryが分布する(図1-4)。またsecondary arteryとして表層より浅側頭動脈(superficial temporal artery: STA)末梢からの骨枝が骨を貫いて中硬膜動脈末梢枝などと吻合することにより同部の硬膜に供血する(図4)。SSS前方部では眼動脈の終末枝であるfrontal branchや顎動脈終末枝であるmedial sphenopalatine arteryがanterior falcine arteryとの潜在的吻合を介して供血する、また後方部では後頭動脈の末梢枝がSTAと同様に各々

骨を貫き分布する。また、硬膜動静脈瘻や髄膜腫などの病態の場合には前大脳動脈皮質枝からのdural supplyがみられることがあり、潜在的な供血路が存在する。

2. 静脈洞交会 (Sinus confluence)、横静脈洞、S状静脈洞

三叉神経や耳朧の発達に伴い、初期の脳静脈の主還流路であるprimary head sinusが分断されることにより、anterior dural plexusとmiddle dural plexus間の吻合路やmiddle dural plexusとposterior dural plexus間の吻合路が発達する。さらにanterior dural plexusの一部 (primitive marginal sinus) が大脳の発達に伴い尾側にmigrationしanterior とmiddle dural plexus間の吻合路とテント内で融合することにより横静脈洞が形成される。Sigmoid sinusはmiddle dural plexusとposterior dural plexus間の吻合路とposterior dural plexusのstemの連続により比較的早期に形成される。静脈洞交会部は前述のsuperior sagittal sinus尾側と横静脈洞内側およびstraight sinusの尾側部を形成するdural plexusの融合や消褪により形成され、その融合や消褪のパターンにより様々なvariationが見られる。横静脈洞を形成するテント尾側端のdural plexusにはメッシュ状のprimitive tentorial sinusが合流するが、その外側部の遺残がvein of Labbeに代表されるtemporal-occipital cortical veinの流入部であるlateral tentorial sinusとなる。また同primitive tentorial sinusの内側部が遺残した場合は浅中大脳静脈や脳底静脈がsinus confluenceやstraight sinusに還流するvariationとなる。またtent下面では、小脳半球の静脈の横静脈洞への還流部も硬膜を貫き内側に比較的長く走り、横静脈洞前面から下面のテント内に小脳静脈によるtentorial sinusを形成する。脳静脈と交通せずテント部硬膜の還流のみを担うtentorial vein (sinus)も多数存在する。

これらの静脈洞への主な供血動脈は部位により異なる。

a) 静脈洞交会・横静脈洞遠位部

この部への供血動脈としてはmiddle meningeal arteryのposterior convexity branchやmeningohypophyseal trunkからのmedial tentorial arteryが上外側から供血する。また下方からはAPAのhypoglossal branchやjugular branchからのdural branch (posterior meningeal artery)や椎骨動脈からのposterior meningeal artery (falx cerebelli artery)が供血する (図5)。またAPA jugular branchやOA jugular branch, mastoid branchなどから起始しS状静脈洞下背側から横静脈洞下面に沿って静脈洞交会 に向けて走行する静脈洞枝もしばしばみられる。皮質枝からは上小脳動脈(superior cerebellar artery: SCA)からのdural branchが時に静脈洞交会下面や横静脈洞に分布する。またごく稀にMCAなど他の皮質枝からのdural branchが見られることもある。secondary arteryとしては表層よりOA末梢の骨枝が骨を貫いて同部の硬膜に供血する。

b) 横静脈洞近位部

横静脈洞にはMMAからはposterior convexity branch, petrosquamosal branch, petrosal branchなどが供血するが、遠位側はposterior convexity branch, lateral tentorial sinus近傍はpetrosquamosal branch、近位側はpetrosal branchが主な供血路となる。内頸動脈から起始するlateral tentorial arteryも横静脈洞近位側に分布する (図6)。前述のOA mastoid branchは近位側に分布する。その他secondary arteryとして表在動脈であるOAの骨枝やSTA・PAAの骨枝はいずれの部位にも供血しえる。また稀ではあるが硬膜動静脈瘻などの病変では上小脳動脈や中大脳動脈などの皮質枝からの供血も見られることがある (図7)。

c) S状静脈洞

前述のAPA jugular branchやOA jugular branch, mastoid branchなどから起始しS状静脈洞に沿って走行する静脈洞枝がprimary arteryであるが (図6)、その他の分枝として椎骨動脈のanterior meningeal arteryがS状静脈洞近位側に供血する。また、時に内頸動脈MHTからのclival branchがAPAのclival arteryとの吻合を介してS状静脈洞近位部に供血する。Secondary arteryとしては他の部位同様にOAの骨枝が供血するが、その他重要な分枝

としてOAやPAAから起始するstylomastoid branchが挙げられ、骨を貫きS状静脈洞近位部に供血する。(図8)

3. 直静脈洞・下矢状静脈洞

これらの静脈洞は上矢状静脈洞と同様にanterior dural plexusが大腦半球の発達に伴い内側正中で融合することにより形成される。さらに左右のprimitive internal cerebral vein (superior choroidal vein)が合流することによりガレン大静脈から直静脈洞への還流路が形成されていく。下矢状静脈洞は発達の様々であるが、falxの血流のほか前頭葉内側の皮質静脈や深部静脈、脳梁などの血流を受ける。還流直静脈洞には内大脳静脈や脳底静脈などの深部静脈やprecentral cerebellar veinやsuperior vermian veinなどの小脳静脈の血流を受けて静脈洞交会に注ぐ。Falxの小静脈falcine veinは直静脈洞に注ぐものが多く、一部は上矢状静脈洞と連続し、発達が著しい場合はfalcine sinusとして認識される。

直静脈洞への動脈分布に関しては静脈洞交会近傍では前述の静脈洞交会や横静脈洞遠位部への供血路と同様である(図9)。直静脈洞遠位(galen近傍)では前方からはMHTのmedial tentorial artery (marginal tentorial artery)が、上方からはMMAのposterior convexity branchの分枝が、背側下方からはposterior meningeal arteryの分枝が分布する。また後大脳動脈からも約25%の頻度でP2 segmentから硬膜枝(the artery of Davidoff and Schecter)が起始しテントから直静脈洞に分布する(図10)。下矢状静脈洞への動脈分布に関しては、病変も少なく文献的な記述も見られないが、SSS前部とほぼ同様で、anterior falcine arteryとMMAのparamedian branchからのfalxへの小分枝が分布すると考えられる。また他部位と同様に多血性病変においてはACAのpericarosal arteryなどの皮質枝が潜在的に関与するものと思われる。

4. 海綿静脈洞 (Cavernous Sinus: CS)

前述のごとくprimary head sinusが三叉神経や耳胞の発達に伴い分断されるが、その間の残存部はpro-otic sinusと呼ばれ眼窩の静脈(superior ophthalmic vein)を受ける。さらにpro-otic sinus内側にdural plexusが発達し両者によりCSの内側部が形成される。さらに側頭葉の発達に伴い浅中大脳静脈やuncal veinなどの大脳からの血流を受けるprimitive tentorial sinusが外側から正中側にシフトしpro-otic sinusに融合しCS外側部を構成することにより、成人型のCSが形成される。Primitive tentorial sinusとCSの融合の程度により浅中大脳静脈やuncal veinの還流様式には様々なvariationが存在するが、不完全な癒合が起こった場合にはCS外側に硬膜で境界されたlaterocavernous sinusが形成される。下錐体静脈(inferior petrosal sinus: IPS)の近位側はprimary head sinusから形成され、延髄からの静脈還流を受けるmyelencephalic vein-anterior condylar veinが頭側は斜台外側のdural plexusとpro-otic sinus内側下部のdural plexusが発達することにより形成される。またCS内側のdural plexusが両側で吻合しintercavernous sinusやbasilar plexusを形成する。

CS周囲には多数の動脈枝が存在し多数の吻合を有するため、その動脈分布は複雑である。CS側部内側に分布するprimary arteryはAPAのhypoglossal branchからのmedial clival artery、jugular branchからのlateral clival arteryおよびMHTのclival branchおよびmedial tentorial arteryなどであり、APAのcarotid branchも分布する(図11)。Secondary branchとしては顎動脈分枝であるartery of pterygoid canal (vidian artery)からの分枝が蝶形骨を貫いて供血する。CS外側には正円孔を通り頭蓋内に入り外側下方よりCSに分布するartery of foramen rotundumやMMAのanterior branchやcavernous sinus branch、卵円孔を通り頭蓋内に入るaccessory meningeal artery (AMA)のcavernous sinus branch、OPAのrecurrent meningeal arteryなどが分布する(図12)。CS背内側部にはAPAのcarotid branchのほか、artery of pterygoid canalやpharyngeal artery、OPAのposterior ethmoidal arteryからの小

分枝が骨を貫通して分布する。これらの動脈分布の理解は海綿静脈洞部硬膜動静脈瘻におけるシャント部位の推定に役立つ(図13)。

5. 上錐体静脈洞

上錐体静脈洞はpro-otic sinusとmiddle dural plexusのstemの三叉神経の頭側を通る吻合路であり、metencephalic vein (petrosal vein) のpro-otic sinusへ還流路であるvenous plexusとprimitive tentorial sinusが融合することにより形成される。

錐体骨に沿って走行し海綿静脈洞とS状静脈洞を連結するが、その血流は基本的にpetrosal veinから海綿静脈洞方向またはS状静脈洞方向に向かい、正常状態では海綿静脈洞の流出路としては機能していない。

上錐体静脈洞への動脈分布として、主なものはMHTまたはILTのlateral tentorial artery, MMAのpetrosal branch、AMAのposterior branchなどが挙げられるが、anterior inferior cerebellar artery (AICA)のdural branchも関与しえる(図14)(図15)。

参考文献

1. Padget DH. The development of the cranial venous system in man, from the viewpoint of comparative anatomy. Contrib Embryol Carneg Inst Washington . 1957;36:79-140.
2. Lasjaunias P, Berenstein A. Ter Brugge KG. Surgical neuroangiography 2nd edition vol 1. Clinical vascular anatomy and variations. Springer-Verlag Berlin, 2001; 15-87.
3. Djindjian D, Merland JJ. Super-selective arteriography of the external carotid artery. Springer-Verlag, Berlin, 1978; 22-36.

図の説明

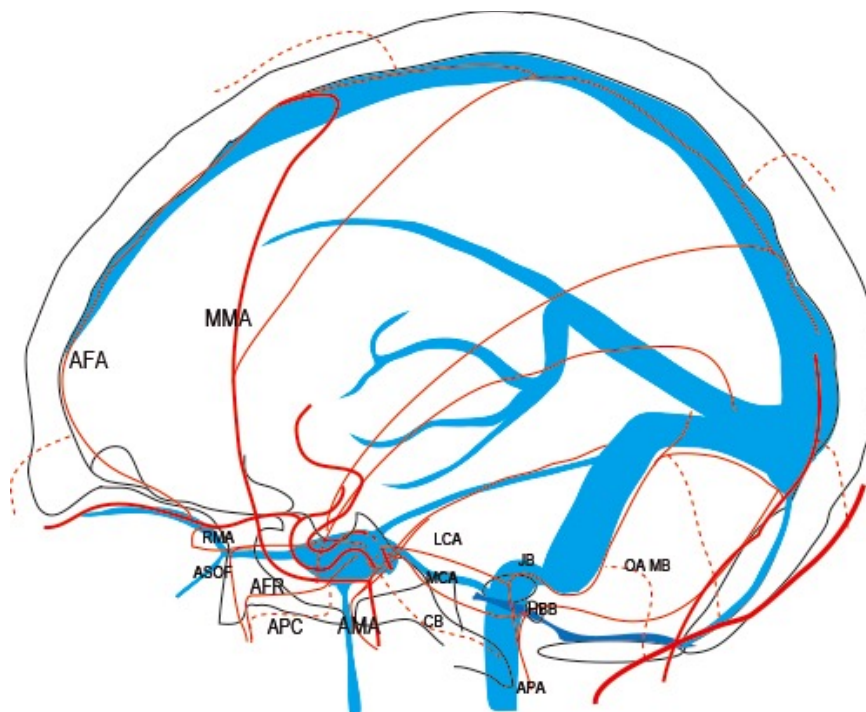
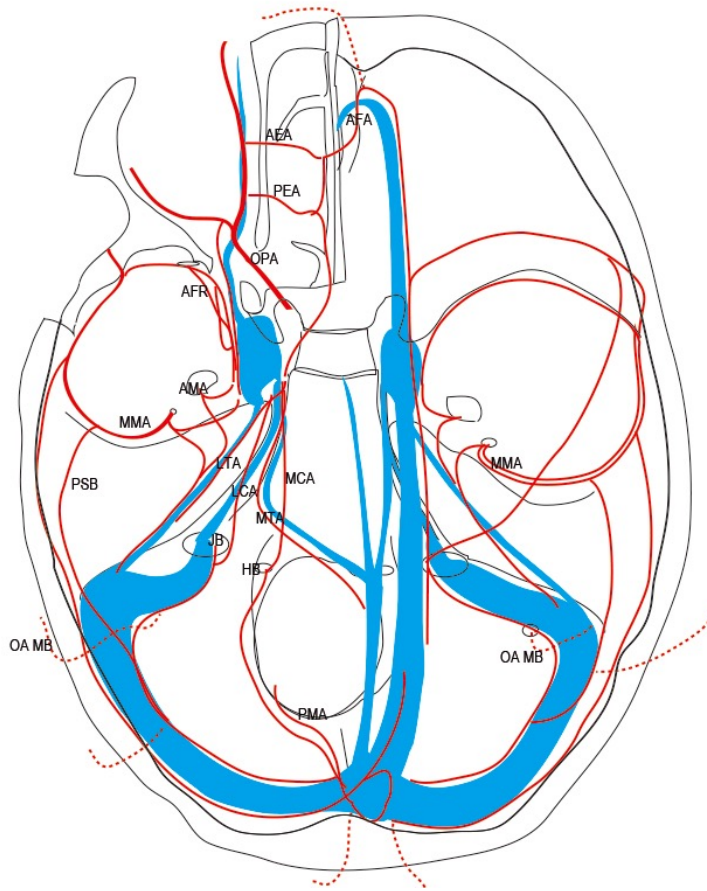


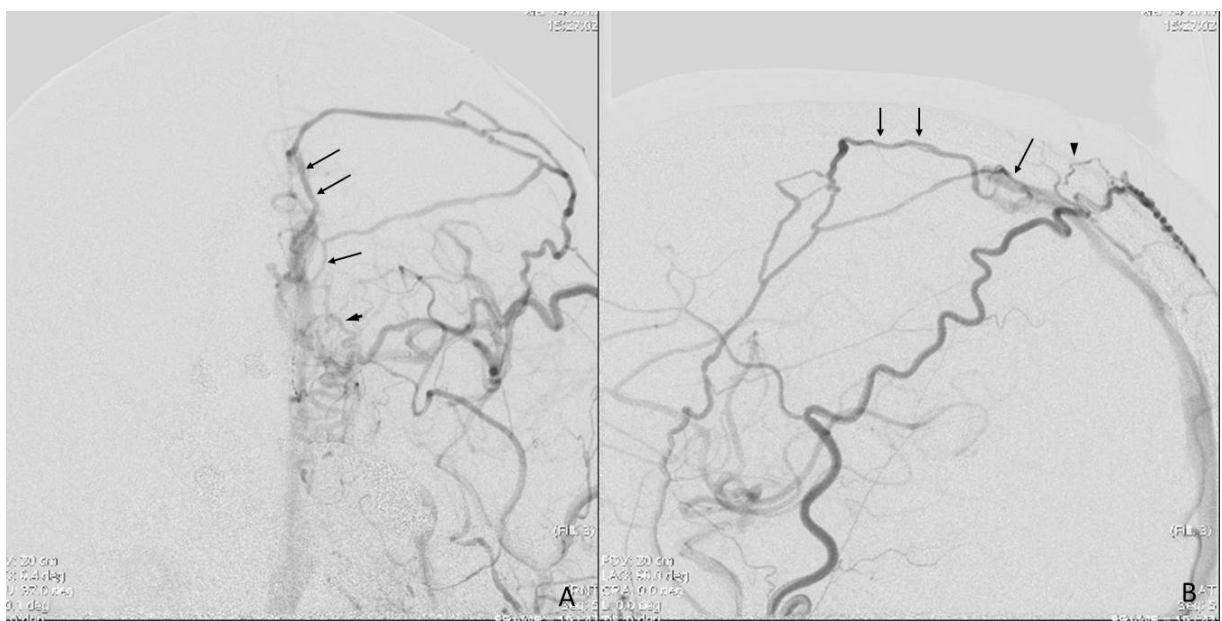
図1 静脈洞に分布する主な動脈分枝 A) 側面像、

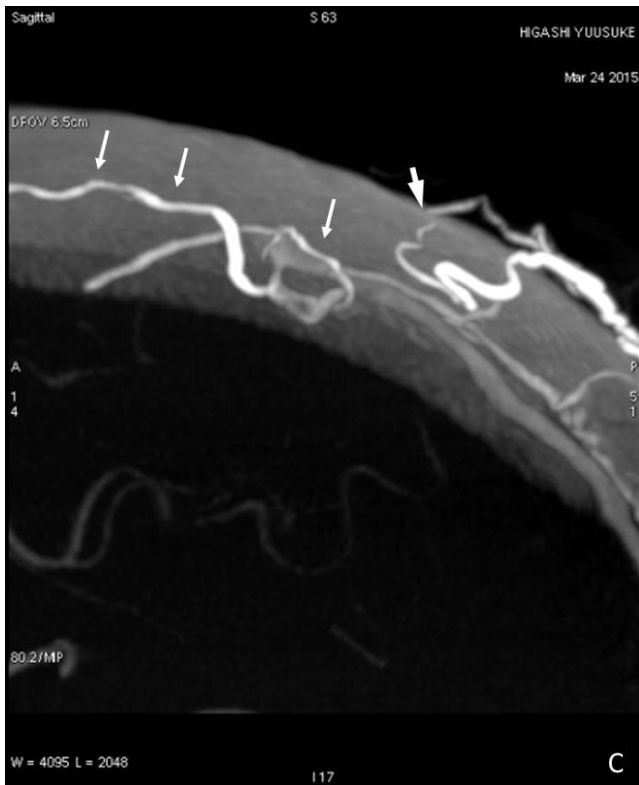
B) 底面像



AFA: anterior falcine artery, MMA: middle meningeal artery, RMA, recurrent meningeal artery, ASOF: artery of superior orbital fissure, AFR: artery of foramen rotundum, APC: artery of pterygoid canal, AMA: accessory meningeal artery, LCA: lateral clival artery, MCA: medial clival artery, CB: carotid branch, JB: jugular branch, HGB: hypoglossal branch, OA MB: occipital artery mastoid branch, AEA: anterior ethmoidal artery, PEA, posterior ethmoidal artery, OPA: ophthalmic artery, LTA: lateral tentorial artery, MTA: medial tentorial artery, PMA: posterior meningeal artery PSB: petrosquamosal branch

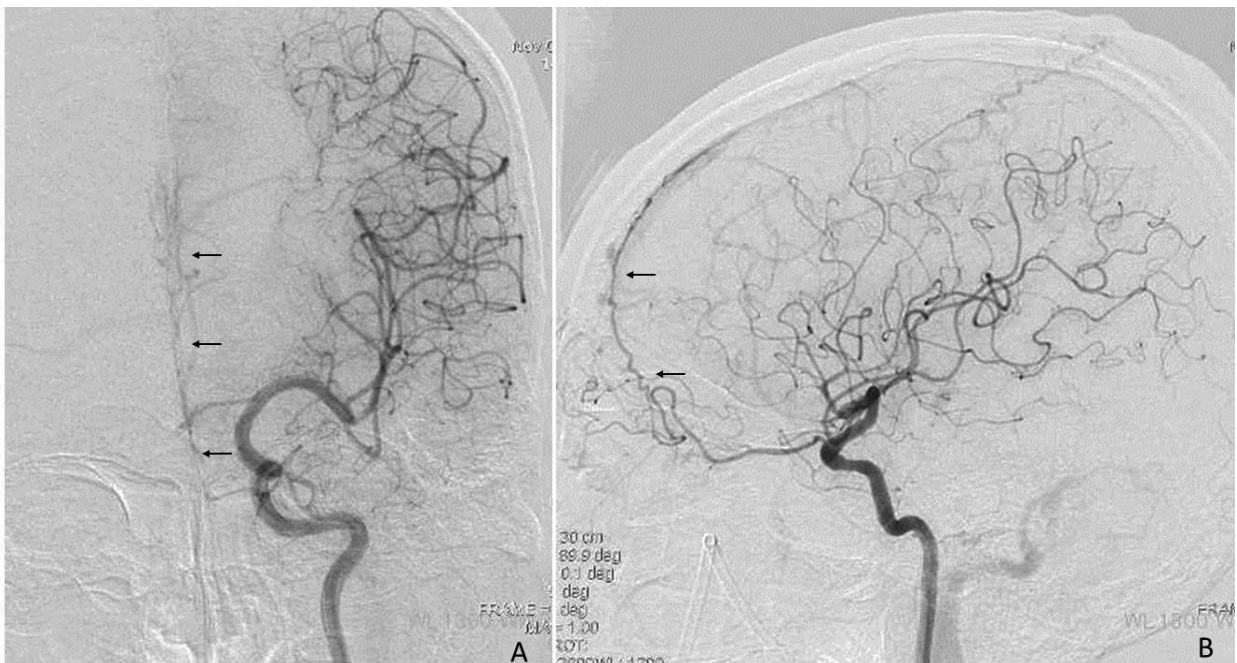
図2 SSSDAVF症例





A)B)C) 左外頸動脈造影 正面像 (A) 側面像 (B) MIP側面像 (C)
 上矢状静脈洞頭頂部に順行性に還流するDAVFを認める。
 DAVF主にMMA 終末枝であるparamedian arteries (矢印) より供血される。またSTA末梢枝は骨を貫いてAVFに供血する (矢頭)

図3 SSSDAVF症例



左内頸動脈造影 正面像 (A) 側面像 (B)
 DAVFはSSS前半部に存在し、左眼動脈 anterior ethmoidal arteryから起始するanterior falcine arteryより供血される。

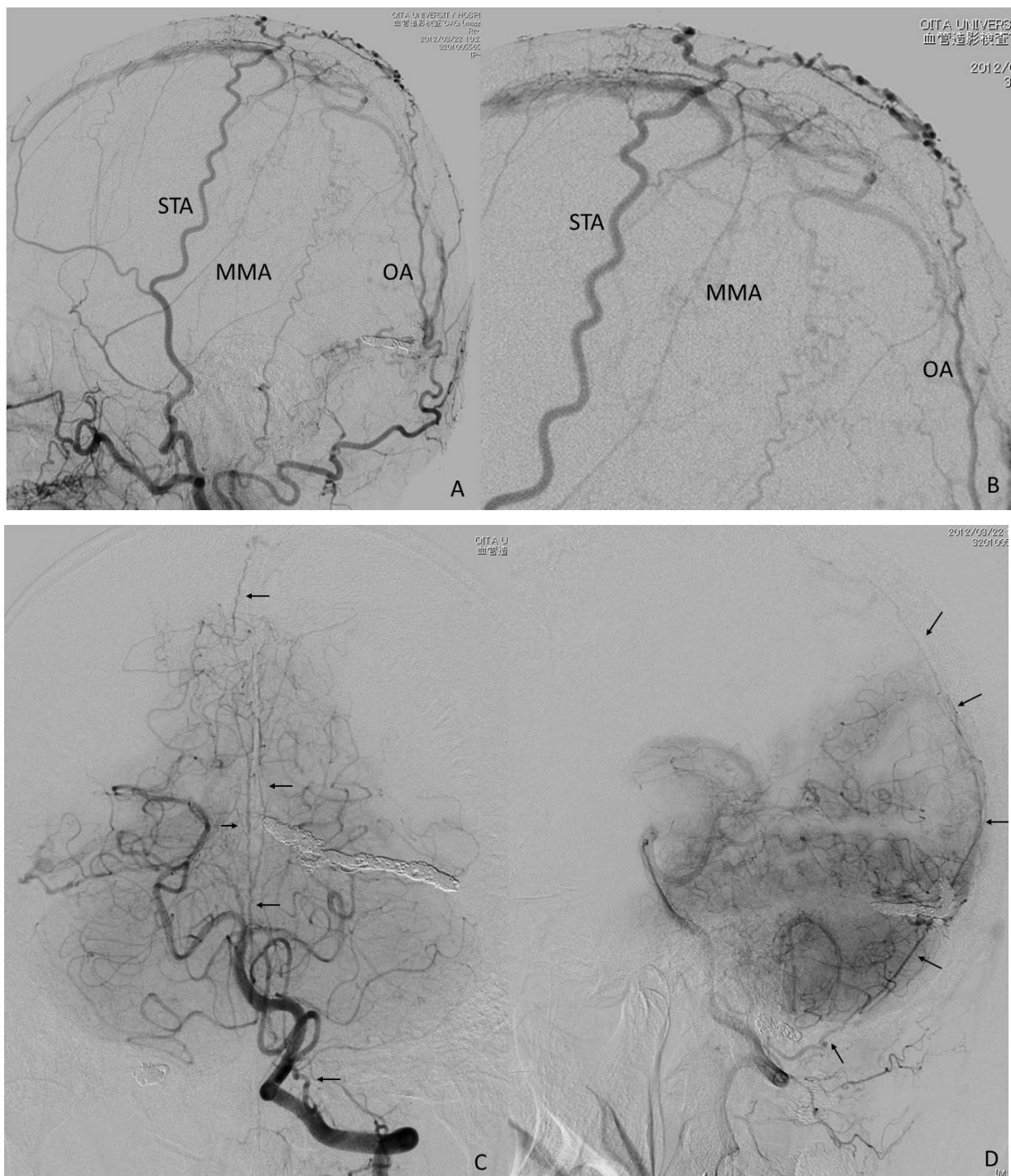


図4 SSSDAVF症例

A)B) 左外頸動脈造影 側面像 (A) 拡大像 (B)

上矢状静脈洞頭頂部にBorden type 3 DAVFを認める。

DAVF主にMMA 終末枝であるparamedian arteries より供血される。またSTA末梢枝および後頭動脈末梢は拡張し骨を貫いてparamedian arteryに吻合する。

C)D) 左椎骨動脈撮影正面像 (C) 側面像 (D)

左椎骨動脈から起始するposterior meningeal arteryが傍正中部を上行しテント状で上矢状静脈洞に沿って上行しAVFに供血する。

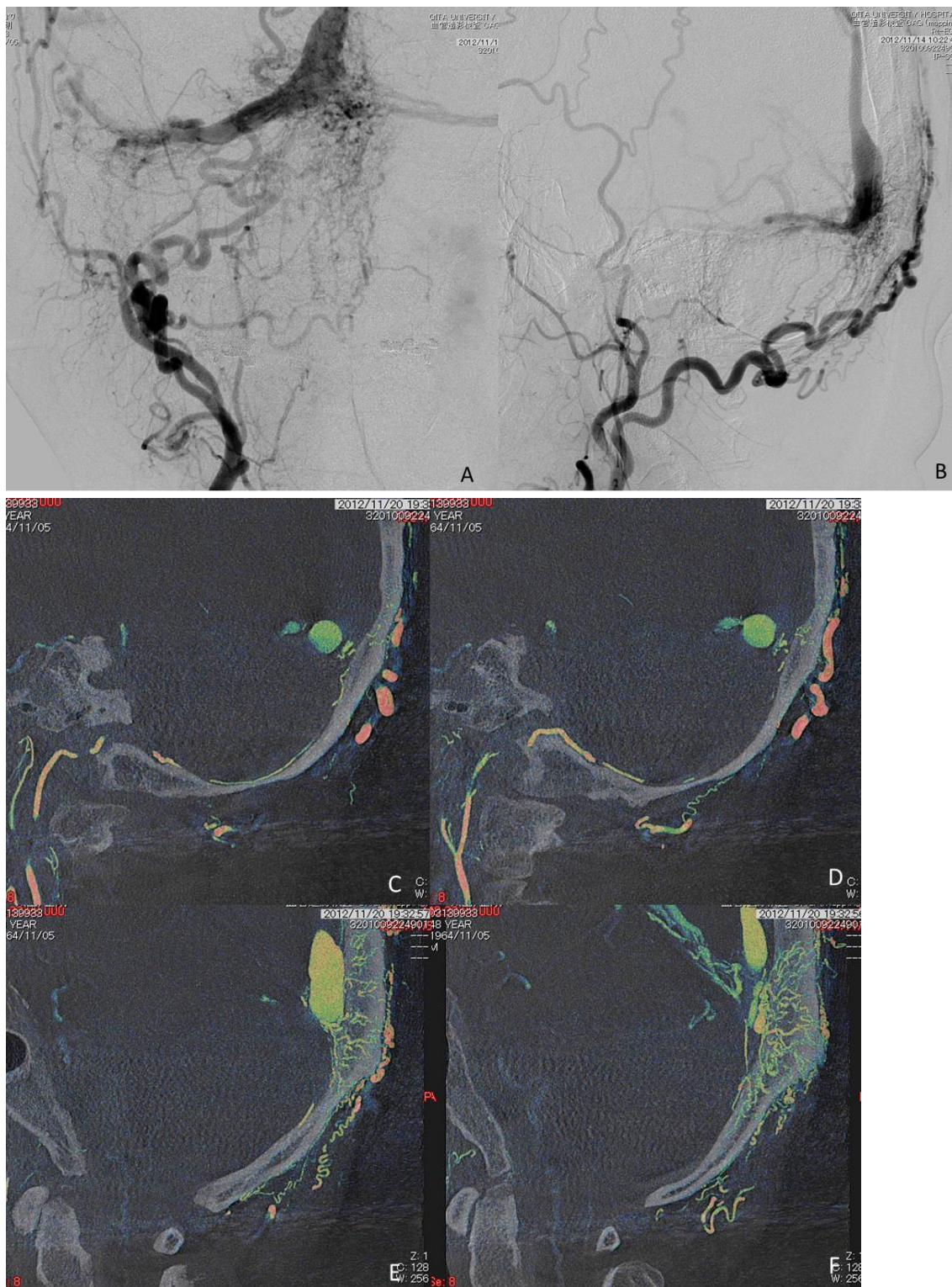


図5 静脈洞交会近傍のDAVF症例

右外頸動脈造影 正面像 (A) 側面像 (B) 静脈洞交会近傍にDAVFを認めSSSおよび皮質静脈に逆流する。AVFは後頭動脈末梢枝および上行咽頭動脈より供血される。

C-F) 右外頸動脈造影3D MPR像 APA jugular branchからのposterior meningeal branchが頭蓋底を走行しAVFに供血する。また後頭動脈末梢から無数の小分枝が骨を貫いてshunt pouchに収束する。



G)H)上行咽頭動脈撮影 正面像 (A) 側面像 (B)

APA jugular branchからの複数のposterior meningeal branchが静脈洞交部のshunted pouchに収束する。また外側に向かいS状静脈洞に沿って走行する静脈洞枝もみられる。Hypoglossal branchも一部前述のfeederを吻合するとともに、対側のAPAと複数の分枝を介して吻合する。

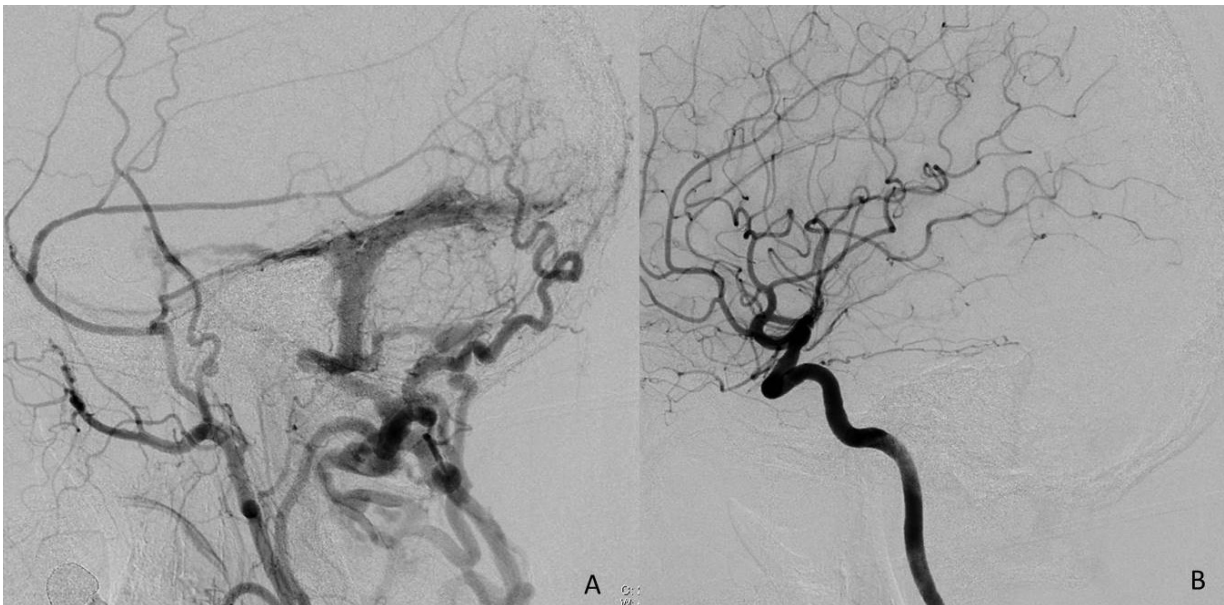
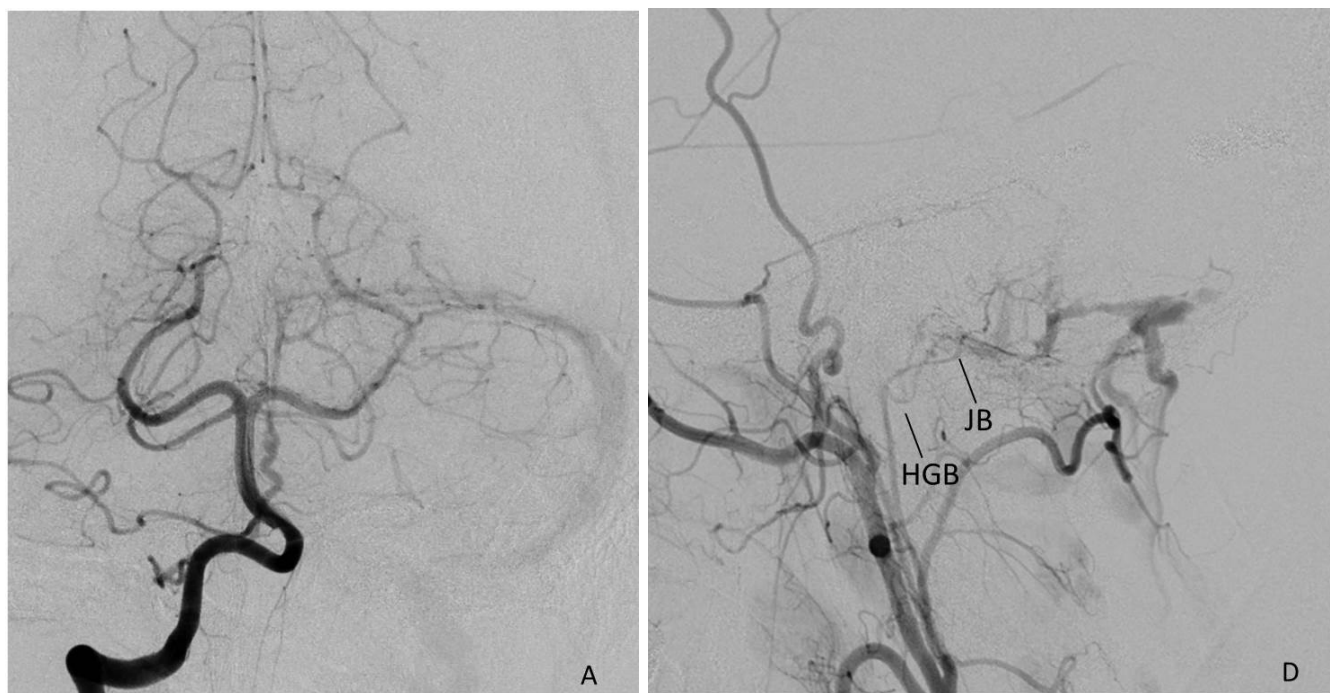


図6 横S状静脈洞部DAVF症例

A)B) 左外頸動脈造影側面像 (A) 左内頸動脈造影側側面像(B) 横S状静脈洞部にDAVFを認める。

AVFは主にMMAから供血されるが、遠位部にはMMA posterior convexity branchおよび後頭動脈末梢のtransosseous branchが供血し、TS 近位部はpetrosquamosal branchおよびpetrosal branch、内頸動脈のMHTからのlateral tentorial arteryから供血される。またAPAの関与もみられる。



C)右椎骨動脈造影正面像

Rt posterior meningeal arteryから横静脈洞遠位側のshunted pouchへの供血を認める。

D) 左外頸動脈造影 選択的塞栓術後

AVFの大部分は消失しAPA Jugular branch (JB)からS状静脈洞背側へのシャント、および hypoglossal branch (HGB)からS状静脈洞近位側へのシャントがわずかに残存している。

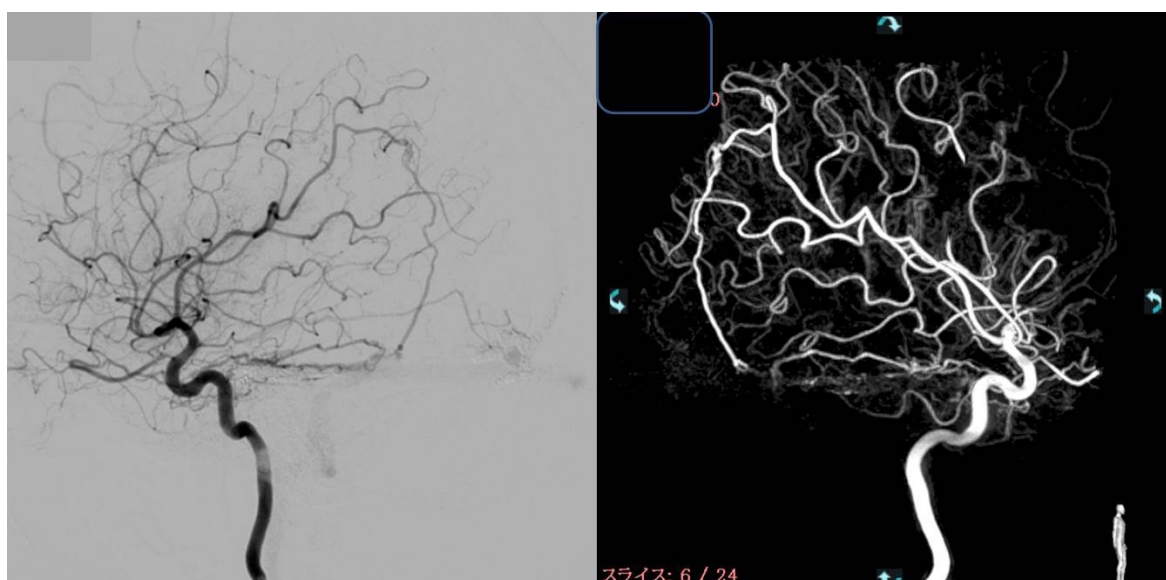
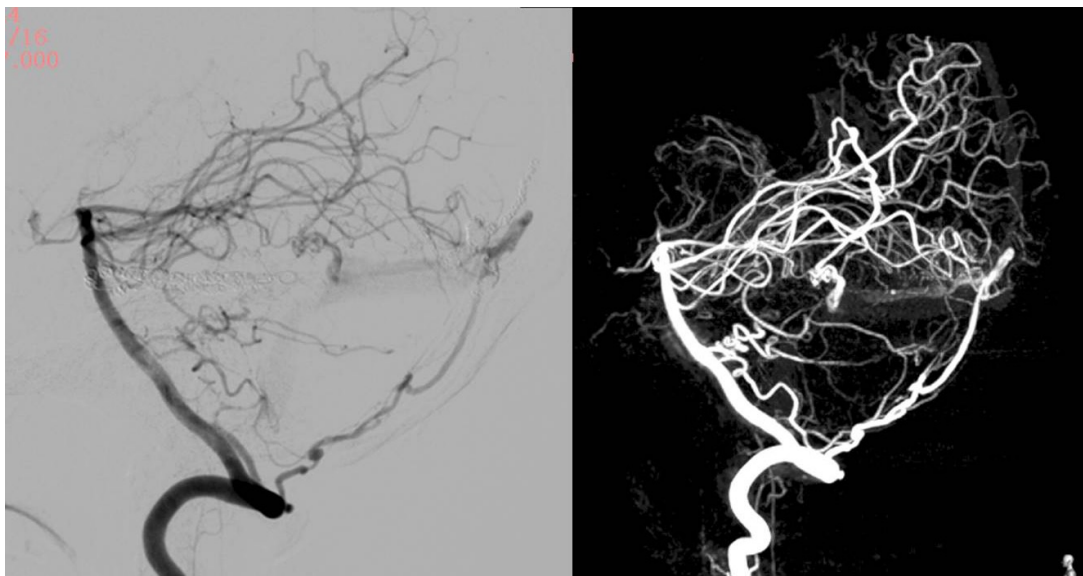


図7 横S状静脈洞部DAVF症例

A)B) 右内頸動脈造影 側面像 (A) 3D像 (B)

右横静脈洞部にDAVFを認める、ILTから起始するlateral tentorial arteryから横静脈洞近位部にshuntを認める。また右MCA皮質枝からdural branchが下行し同様の部位にシャントを形成する。



C)D) 左椎骨動脈動脈造影 側面像 (A) 3D像 (B)
 右横静脈洞遠位部のシャントはposterior meningeal arteryより供血される。後大脳動脈から起始するduraol branchから横静脈洞近位部にshuntを認める。

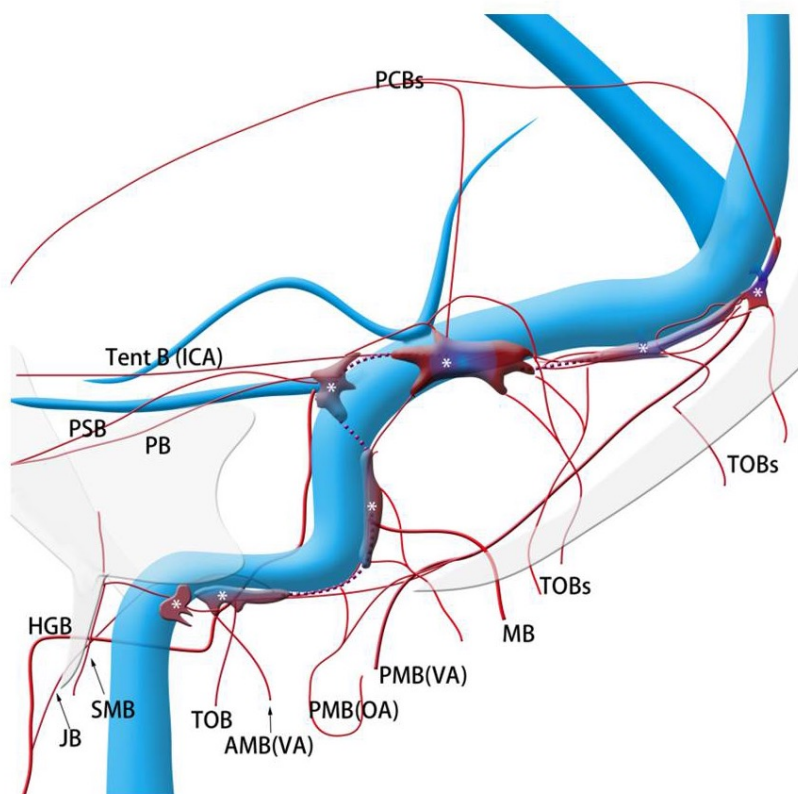


図8 横S静脈洞部に分布する主な動脈枝とDAVFのshunted pouchの部位

APA: ascending pharyngeal artery, OA: occipital artery, MMA: middle meningeal artery, PAA: posterior auricular artery, VA: vertebral artery, SMB: stylomastoid branch of the OA, MB: mastoid branch of OA, TOB: transosseous branches of the OA, JB: jugular branch of the APA, PB: petrosal branch of the MMA, PSB: petrosquamous branch of the MMA, Post B: posterior convexity branch of the MMA, PMA: posterior meningeal artery, AMA: anterior meningeal artery, TentB: tentorial artery from the ICA, SPS: superior petrosal sinus, LTS: lateral tentorial sinus

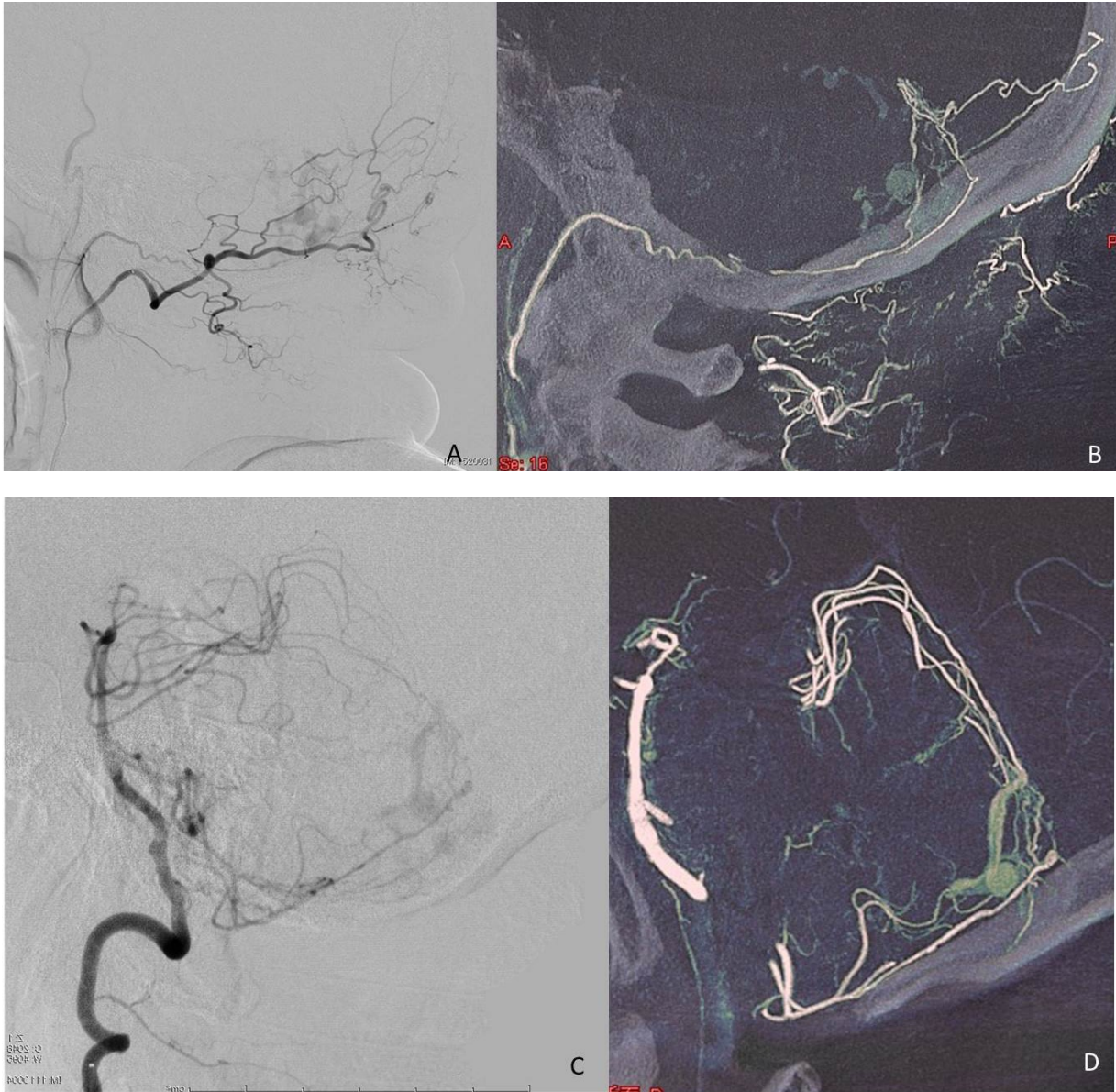


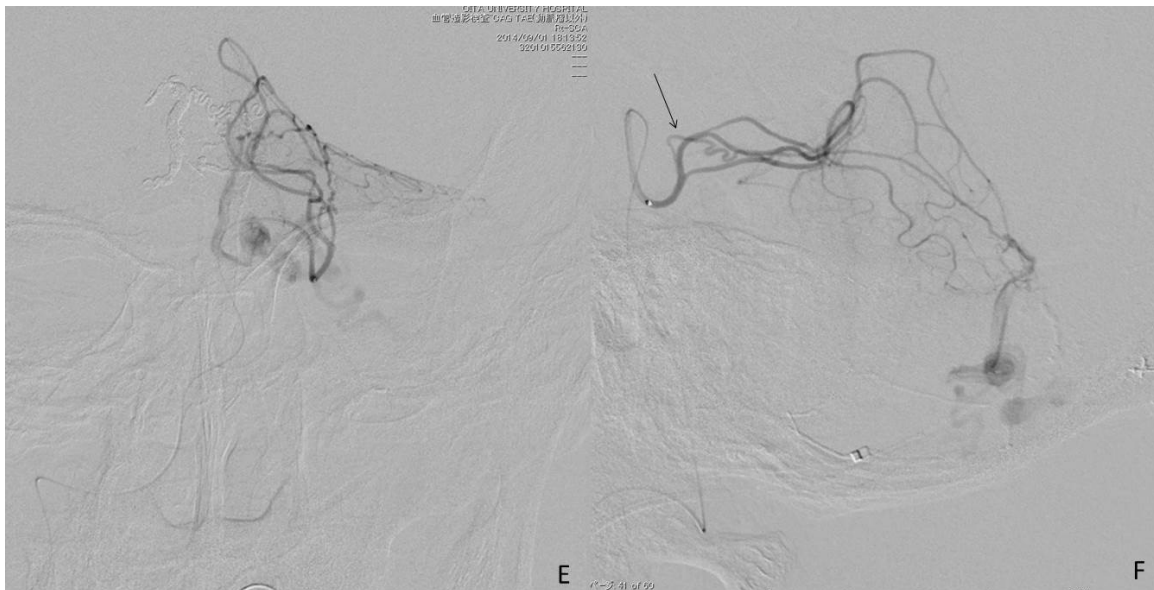
図9 直静脈洞下面近傍のnonsinusal DAVF症例

A)B) 後頭動脈造影 側面像 (A) 3DMPR像 (B)

OA mastoid branchおよびAPA hypoglossal branchが吻合しDAVFに供血する。

C)D) 椎骨動脈造影 側面像 (C) 3DMPR像 (D)

下方からPosterior meningeal arteryおよびSCAのdural branchが直静脈洞下面にshunt pointを有するdAVFに供血する



E)F) 選択的左上小脳動脈造影 正面像 (E) 側面像 (F)
SCA近位部から起始するdural branch (矢印) がテント内を下降しAVFに供血する。

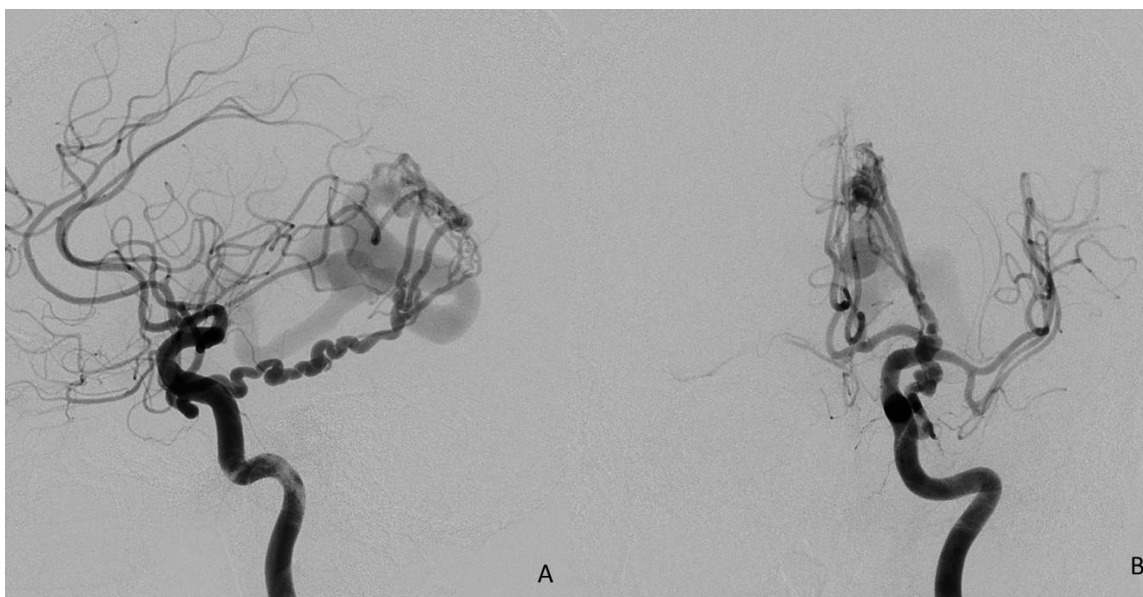
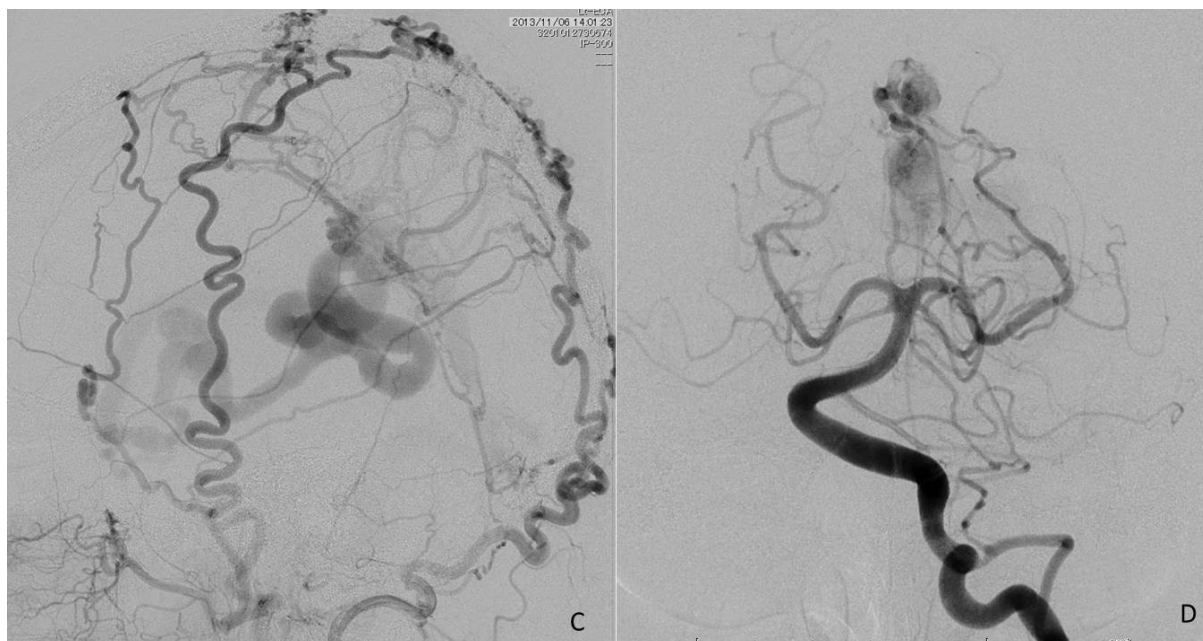


図10 直静脈洞遠位部近傍 (flacotentorial junction)のnonsinusal DAVF
A) B) 内頸動脈造影 正面像 (A) 側面像 (B) ILTからmedial tentorial arteryが著明に拡張し、直静脈洞近位部のDAVFに供血する。



C) 外頸動脈造影側面像 STAやOAが著明に拡張し末梢の小分枝が骨を貫き頭蓋内に入り、MMA末梢のparamedian arteryと吻合しfalx内を走行し直静脈洞前部でシャントを形成する。

D) 左椎骨動脈造影正面像 posterior meningeal arteryが下方から正中を上行しDAVFに供血するとともに、左PCAから硬膜枝 (the artery of Davidoff and Schechter) が起出しAVFに供血する。

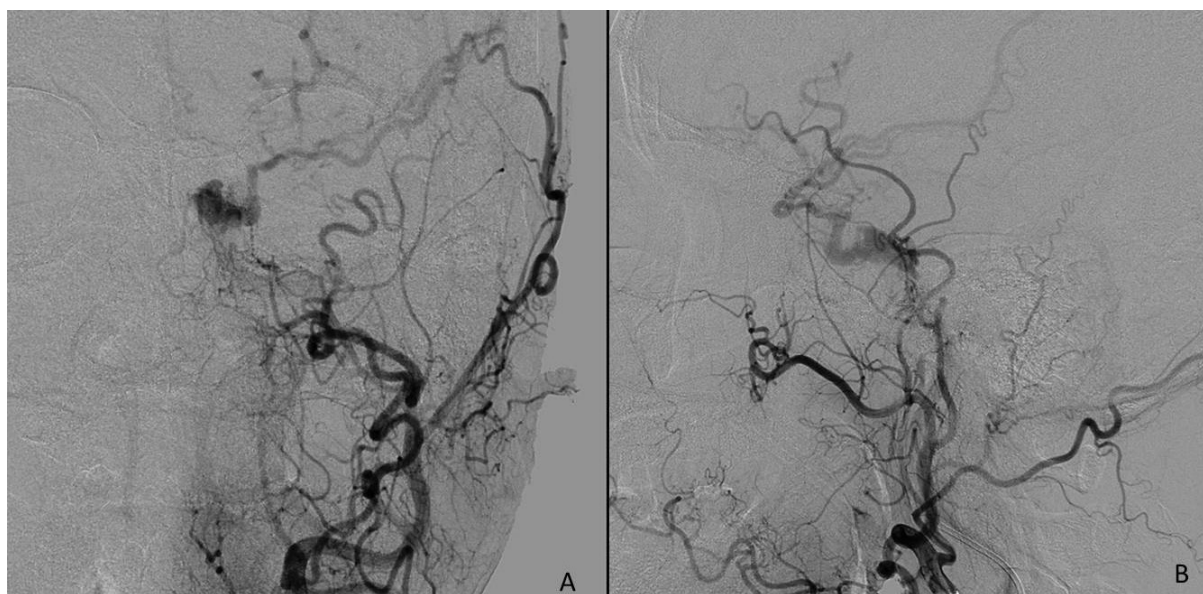
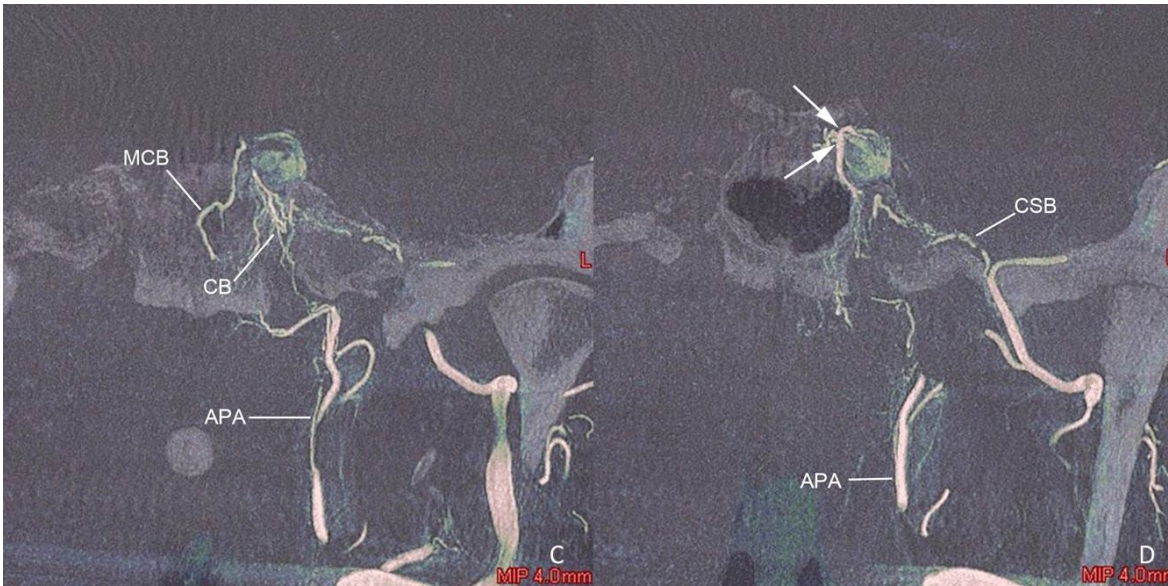


図11 左海綿静脈洞部DAVF

A)B) 左外頸動脈造影にてAPAとMMAから供血されるDAVFを認め、シャントはCS背側に存在する。



C)D) 左外頸動脈3DMIP像 DAVFは主に左APA medial clival brach (MCB)およびcarotid branch (CB)より供血され、CS内背側に限局したshunted pouchを形成する。MMAのcavernous sinus branch(CSB)も同部feederと吻合し供血する。

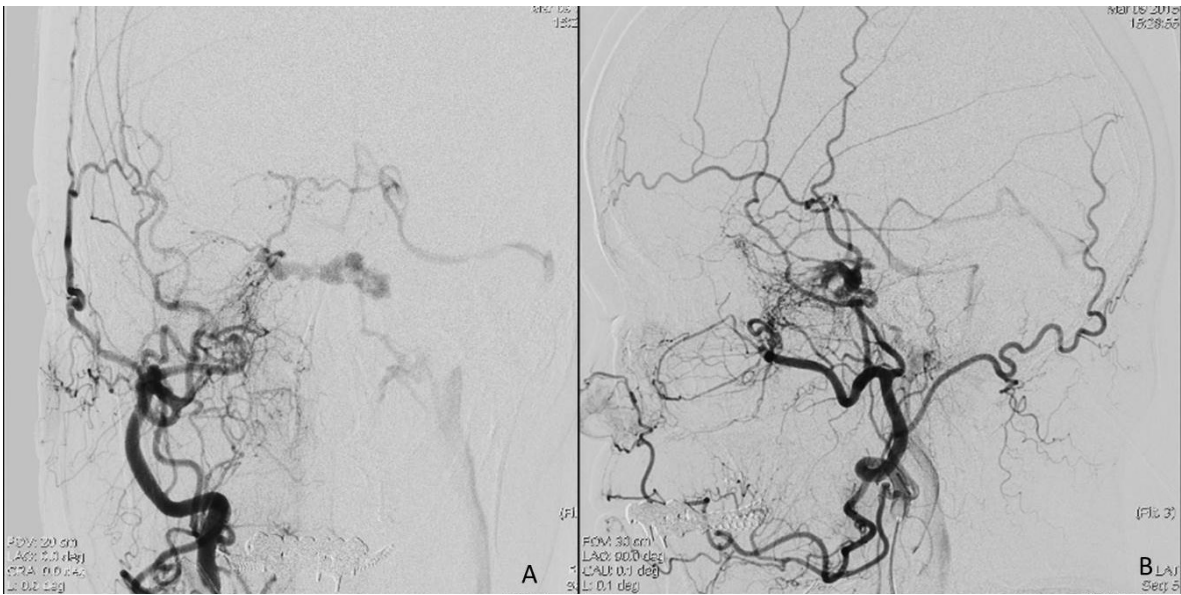
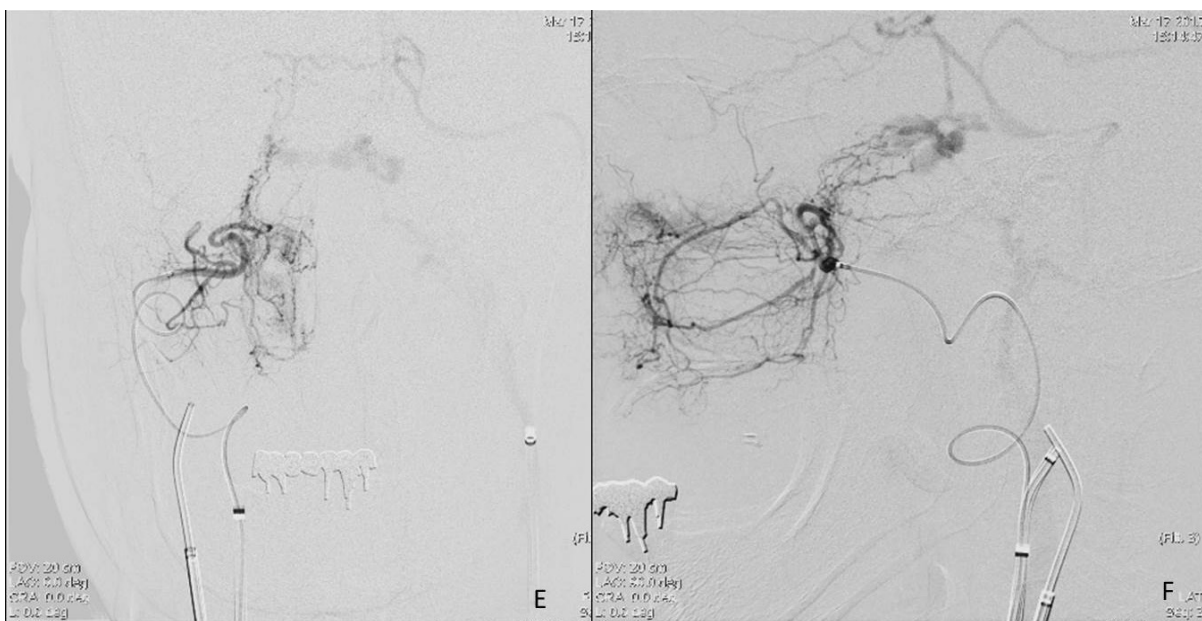
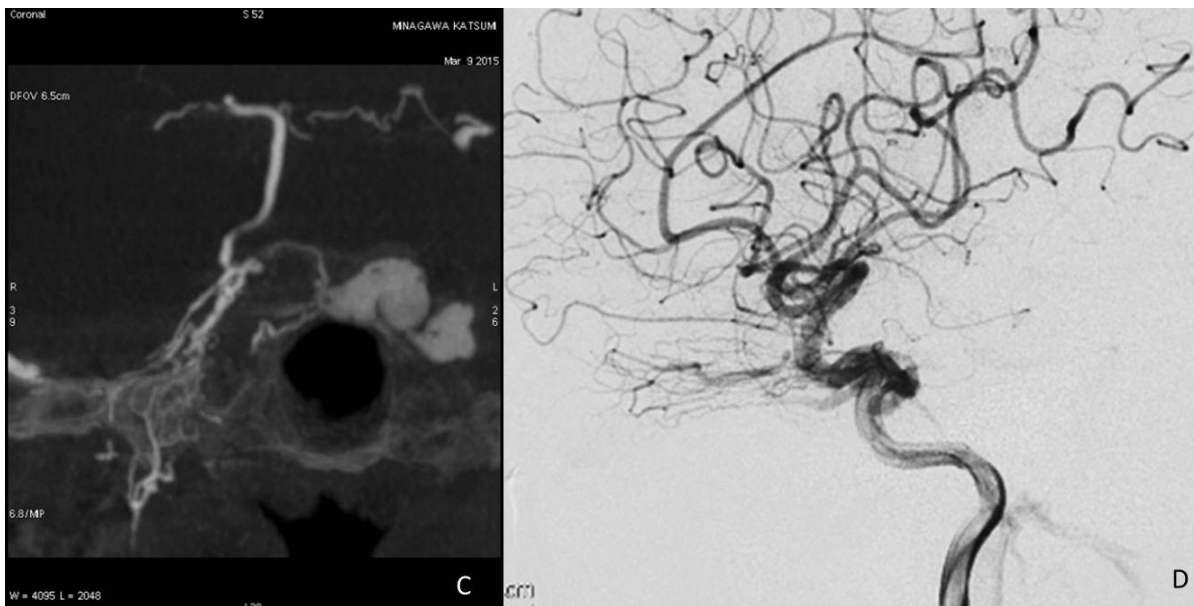


図12 右海綿静脈洞部硬膜動静脈瘻

A) B) C) 右外頸動脈造影 正面像 (A) 側面像 (B) 3DMIP像

右海綿静脈洞部に主に頸動脈分枝より供血されるDAVFを認める、シャント部位は主に海綿静脈洞外側に存在し、対側のCSおよびuncal veinに流出する。Uncal veinはLaterocavernous sinusと連続するがその下端にartery of foramen rotundumなどから供血されるshunt pointが存在する。



D) 右内頸動脈造影

DAVFはrecurrent meningeal arteryからも供血される。

E) F) 右顎動脈選択的造影

Artery of foramen rotundumおよびartery of SOFからのfeederがlaterocavernous sinusにシャントを形成する。

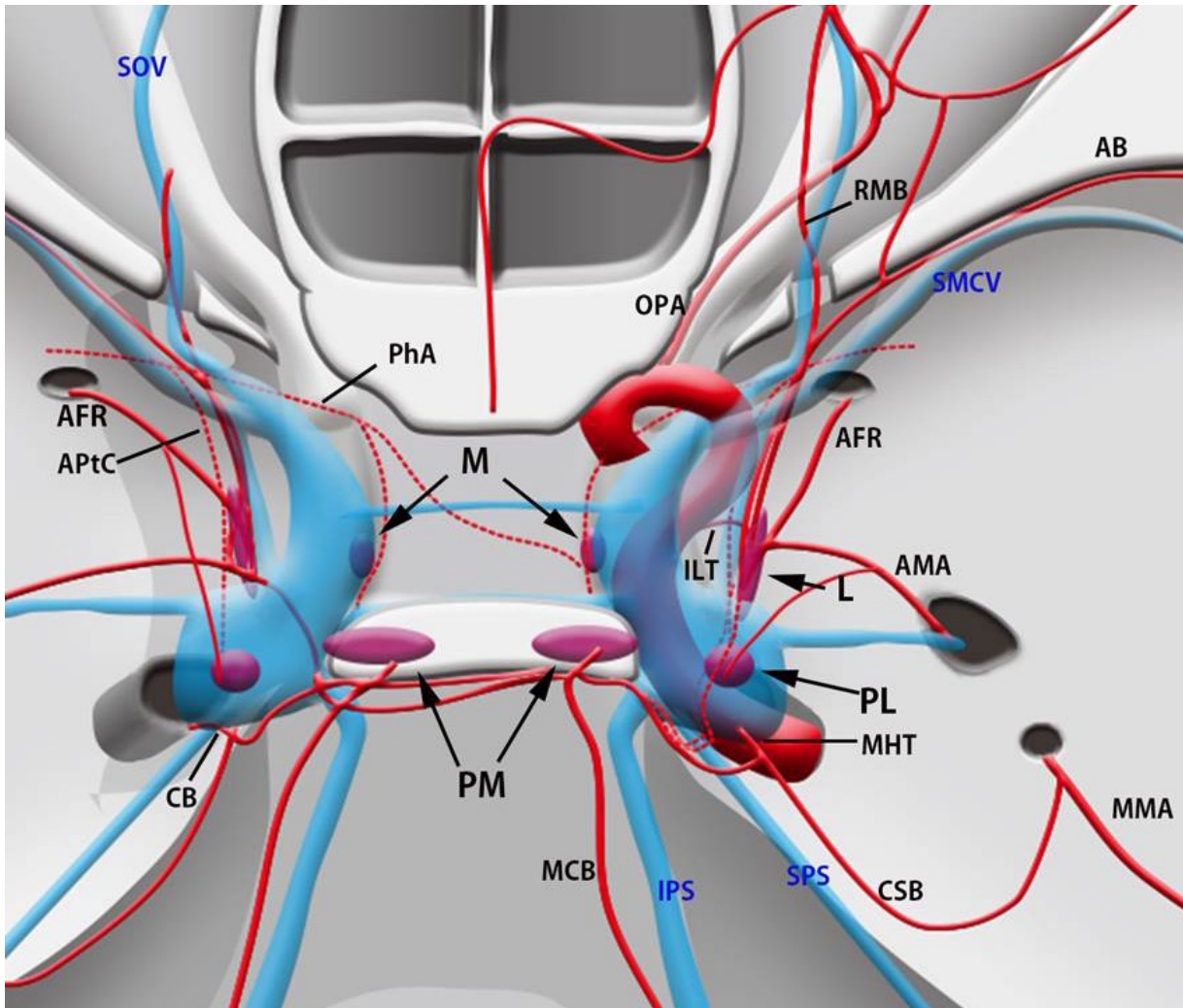
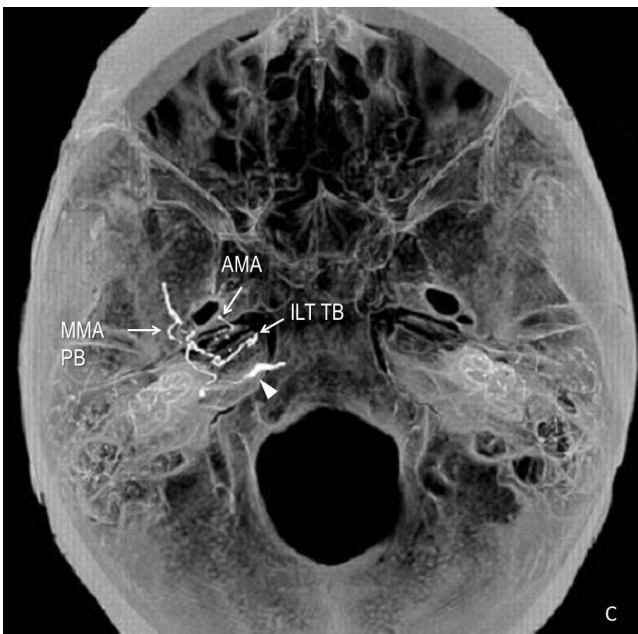


図13 海綿静脈洞への動脈分布とCSDAVFのシャントポーチの模式図

PM, “posteromedial” shunted pouch; PL, “posterolateral” shunted pouch; M, “medial” shunted pouch; L, “lateral” shunted pouch
AFR, artery of foramen rotundum; APtC, artery of pterygoid canal; PhA, pharyngeal artery; MMA, middle meningeal artery; CSB, cavernous sinus branch of the middle meningeal artery; AB, anterior branch of the middle meningeal artery; PCB, posterior cavernous sinus branch of the middle meningeal artery; AMA, accessory meningeal artery; APA ascending pharyngeal artery; CB, carotid branch of the ascending pharyngeal artery; MCB, medial clival branch of the ascending pharyngeal artery; MHT meningohypophyseal trunk; ILT, inferolateral trunk; RMB, recurrent meningeal branch (artery); OPA, ophthalmic artery



図14 上錐体静脈洞近傍nonsinusual DAVF



A)内頸動脈造影側面像 petrosal veinから脳幹静脈に還流するDAVFをみとめる、ILTのlateral tentorial arteryより供血される。
 B)外頸動脈造影側面像 DAVFはMMA petrosal branchおよびAMA posterior branchからも供血される。
 C) NBCAにて塞栓術後CTMIP像 錐体骨にFeederから静脈側(矢頭)にかけてNBCA-lipiodol残留がみられる
 MMA PB: middle meningeal artery petrosal branch, AMA: accessory meningeal artery, ILT TB: inferolateral trunk lateral tentorial artery

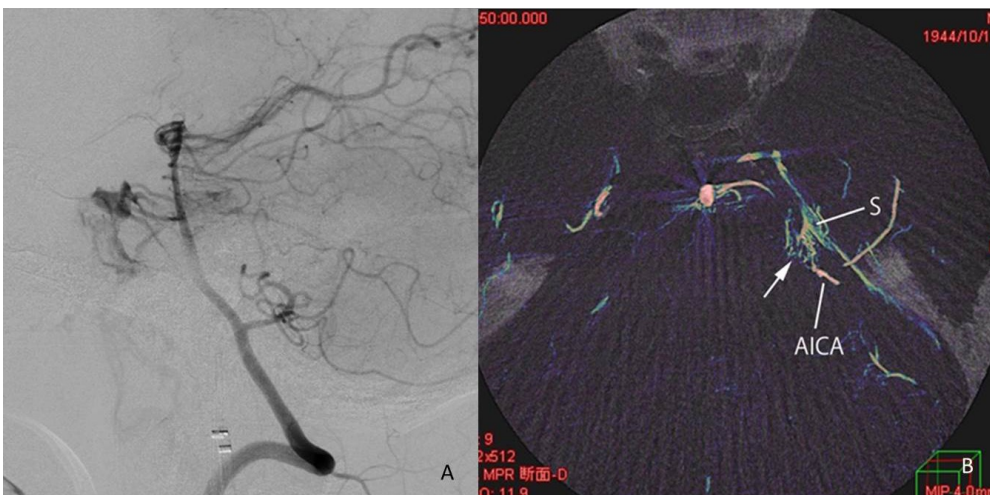


図15 上錐体静脈洞部硬膜動静脈瘻
 A)B) 左椎骨動脈造影 側面像 (A) 3DMPR像 (B) 錐体上部にDAVFを認めCSに還流する。DAVFはAICAからの多数の微細な硬膜枝より供血される。